



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA ELMİN İNKİŞAFI FONDU

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin
İnkışafı Fondunun elmi-tədqiqat proqramlarının, layihələrinin
və digər elmi tədbirlərin maliyyələşdirilməsi məqsədi ilə
qrantların verilməsi üzrə 2013-cü il üçün elan edilmiş əsas
qrant müsabiqəsinin (EİF-2013-9(15)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **SmS və (Ni, Zn) – ferritləri əsasında funksional nanoölçülü elektron və maqnit elementləri**

Qrantın məbləği: **80 000 manat**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Mehdiyev Tələt Rzaqulu oğlu**

Layihənin nömrəsi: **EİF-2013-9(15)-46/05/1-M-12**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **21 yanvar 2015-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **18 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 fevral 2015-ci il – 01 avqust 2016-cı il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə yerinə yetirilmiş işlər, istifadə olunmuş üsul və yanaşmalar

(burada doldurmalı)

- I. Səpfil altlıqlı nazik SmS və (Ni,Zn)-ferrit təbəqələrinin sintezi**
- II. Səpfil altlığın səthinin modifikasiyasının və keyfiyyətinin öyrənilməsi**
- III. Səpfil altlığın səthində nanoölçülü təbəqələrin çökdürmə keyfiyyətinin öyrənilməsi**
- IV. AQM texnoloji rejimində relyef nanoelementlərin yaradılma texnologiyasının müəyyən edilməsi**
- V. Yaradılan nanoelementlərin statik, aşağı-, yüksək- və ifratyüksək tezlikli elektrik xəssələri**
- VI. Yaradılan nanoelementlərin statik, aşağı-, yüksək- və ifratyüksək tezlikli maqnit xəssələri**

I. Səpfil altlıq üzərinə nazik SmS və (Ni,Zn)-ferrit təbəqələrinin çökdürülməsi

a. Yüksəktemperaturlu sintez üsulu ilə

1. samarium sulfid
2. $x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritləri alınmışdır.

b. Termovakuum tozlanma üsulu ilə safir (Al_2O_3) altlıq üzərinə aşağıdakı nümunələr çökdürülmüşdür:

1. SmS nazik təbəqələri
2. $x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin nazik təbəqələri

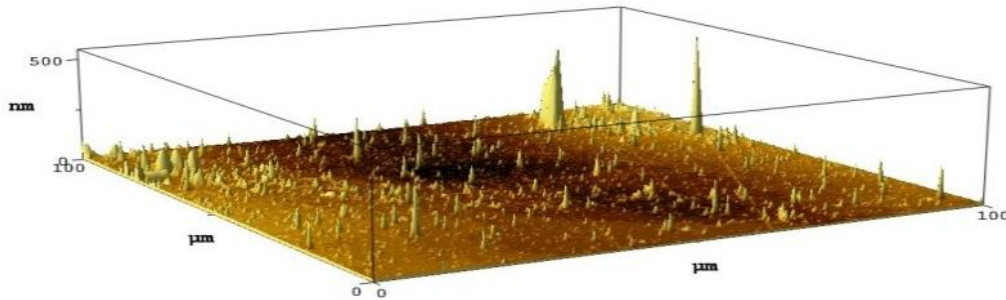
$x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin və SmS mikrotozlarının yüksəktemperaturlu sintezinin, eləcə də $x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin və SmS safir altlıqlarının termovakuumlu sintezinin parametrləri təyin edilmişdir.

Mikrotozların və nazik qatların tablanma parametrləri təyin edilmişdir.

Sintez olunmuş $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4(x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 1)$ ferritləri və SmS mikrotozları, həmçinin bu nümunələrin nazik təbəqələri Rentgen və optik üsullarla tədqiq olunmuşdur. İlk tədqiqatları bu tərkiblərin uyğunluğunu və nazik təbəqələrin alınma keyfiyyətini göstərmişdir.

II. Safir altlığın səthinin modifikasiyasının və keyfiyyətinin öyrənilməsi

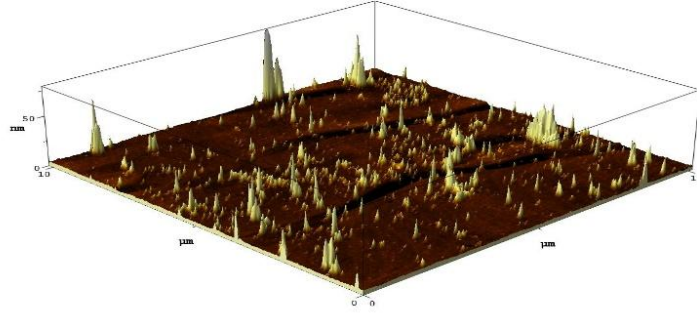
Son illərdə safir altlığın tətbiqi daha aktualdır, bu da safirin unikal xüsusiyyətləri ilə izah olunur. Kvars altlıq kimi, safir altlıqdan da terahers diapazonda istifadə edilir. Qeyd edək ki, nanoölçülü elementlərin yaradılması zamanı əsas həlledici faktor işçi materialın nazik təbəqəsinin çökdürüləcəyi safir altlığın yüksək keyfiyyətliyi. AQM-dən alınmış məlumatlar safir altlığın səthinin qeyri-bircinsliyini yəni, səthdə xaotik yerləşmiş, hündürlüyü bəzən 500nm-ə çatan "iynə" tipli çıxıntılarının olduğunu göstərir. Nazik təbəqələr üçün altlıq kimi istifadə olunmuş safir lövhənin səthinin deffektlik dərəcəsi AIST-NT ölçü başlıqlı və almaz iynəli atom qüvvə mikroskopda təyin edilmişdir. Şəkil 1-dən dislokasiyaların sıxlığı və uyğun olaraq, safir altlığında daxili mexaniki gərginlik müşahidə olunur.



Şəkil 1 Safir altlığın səthinin 3D təsviri.

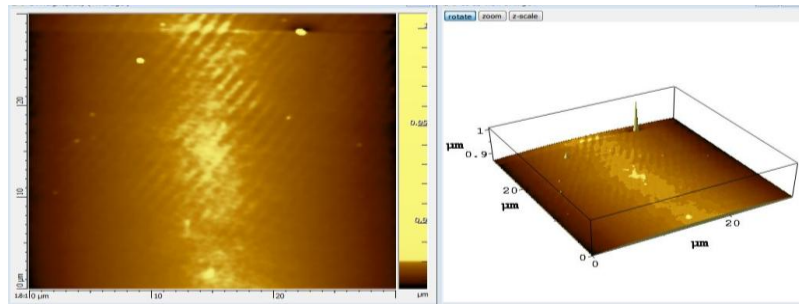
[1,2]- işlərində hamarlanmış toz mikro hissəciklərinin səthinin işlənməsi və termik metoddla yüksək hamar səthli safir lövhələrin alınma üsulları, həmçinin [4] işində safir lövhənin səthindəki kələ-kötürlüyün lazer və elektron işlənməsi ilə aradan qaldırılmasının mümkünlüyü göstərilmişdi.

safir altlığın səthindəki kələ-kötürlüyün hündürlüyünü kiçiltmək üçün müxtəlif "tökmə" üsullarından istifadə olunmuşdur. Belə ki, safir altlığın səthinə nazik İTO təbəqəsi çəkilmişdir (Şək.2), altlıq qızdırılmış (Şək.3) və müxtəlif bucaqlardan ion şüalandırmasının təsirindən (Şək.5) istifadə olunmuşdur (Şək.4). Şəkil 2-də İTO çəkilmiş və "ucluğun" hündürlüyü kiçilərək təxminən 50 nm olan safir altlığın 3D AQM təsvirləri göstərilmişdi.

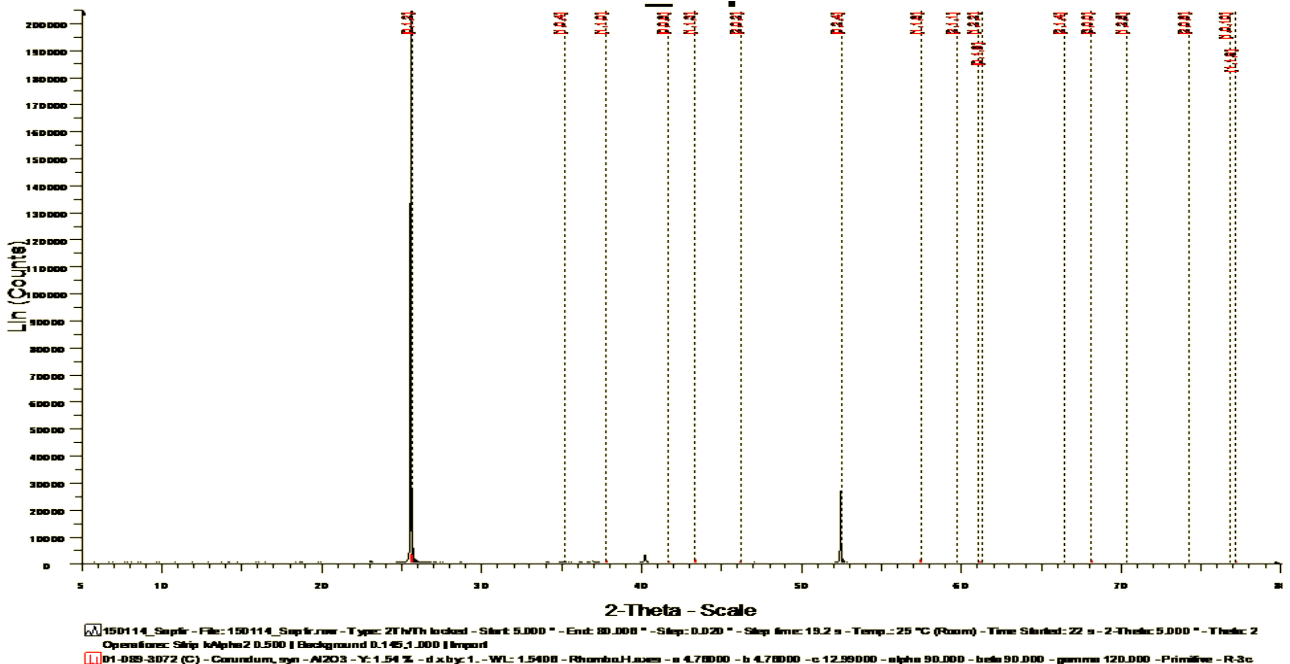


Şəkil 2. İTO “doldurulmuş” leykosapfir altlığın səthinin 3D ACM təsviri.

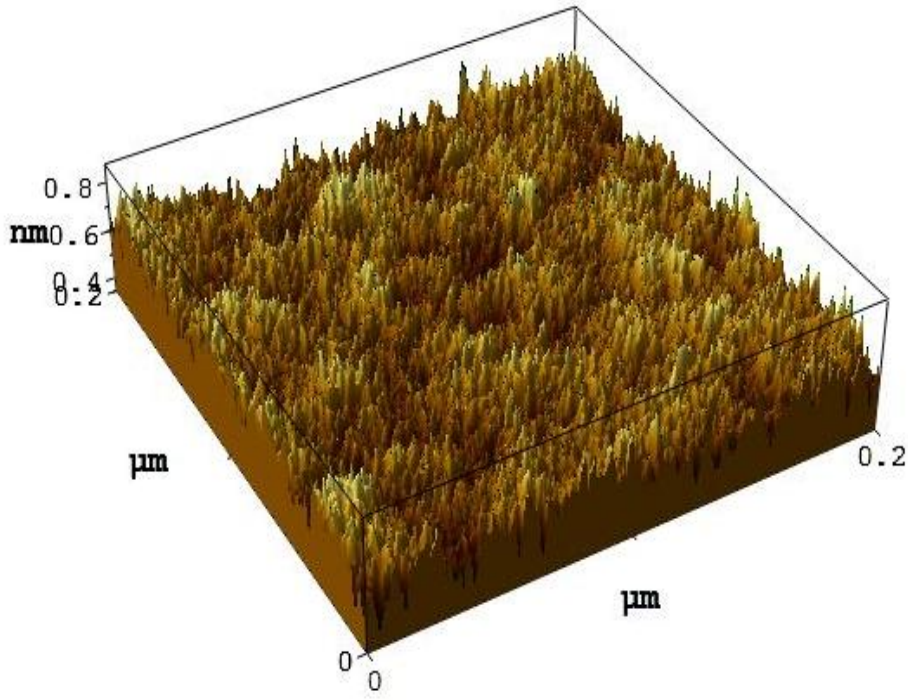
Saphir altlıq üzərində müşahidə olunan “iynə”nin hündürlüyünü kiçiltmək üçün daha effektiv variant altlıq səthinin təxminən 1500C temperaturlarda termik emal etməklə modifikasiyasıdır. Həqiqətən də, yüksək temperaturlarda termik emal nəticəsində “iynə”nin hündürlüyü kifayət qədər kiçilir (“iynə”nin orta hündürlüyü 10nm-ə çatır). Saphir altlığın kristallaşmasının rentgen struktur analiz nəticələri ilə təsdiq edilmişdir (Şək.4). 0° və 45° bucaq altında ion şüalandırılması da altlığın səthinin daha da mükəmməl olmasına təsir edir (Şək.5). Şəkil 5-də 0° bucaq altında ion selinin şüalanmasına məruz qalan leykosapfir altlığın 3D təsviri verilib. İon şüasının düşmə bucağını artırılması, məsələn 45° , defektlərin aradan qaldırılmasına az təsir edir, bəzi hallarda isə hətta altlığın səthinin defektliyinin artmasına səbəb olur.



Şəkil 3 1400°S temperaturda tablanmış leykosapfir altlıq səthinin 2D (solda) və 3D (sağda) təsviri



Şəkil 4 Tablanmış sapfir altlığın rentgenstruktur təhlili



Şəkil 5 0° bucaq altında ion şüalanmasına məruz qalmış leykosapfir altlıqların 3D təsviri

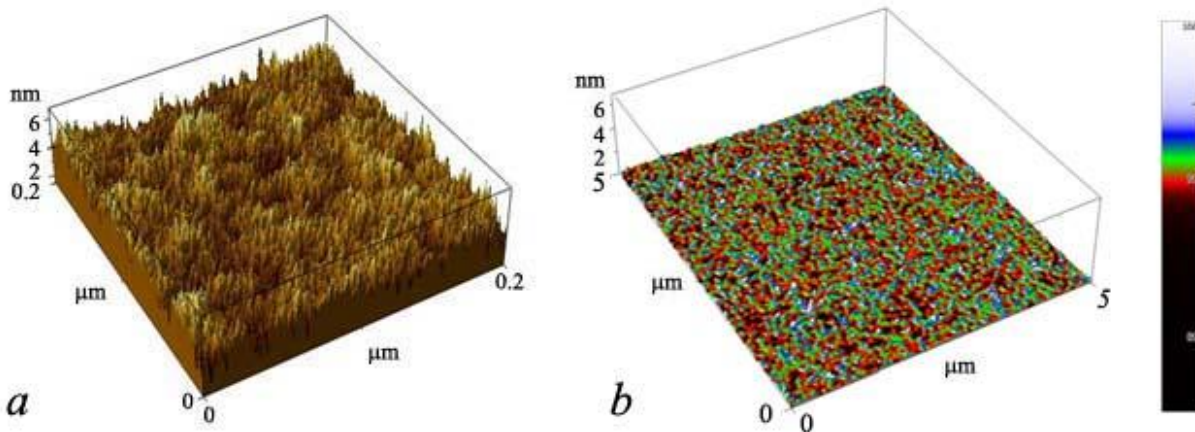
III. Sapfir altlığın səthinə nanoölçülü təbəqələrin çökdürmə keyfiyyətinin öyrənilməsi

SmS

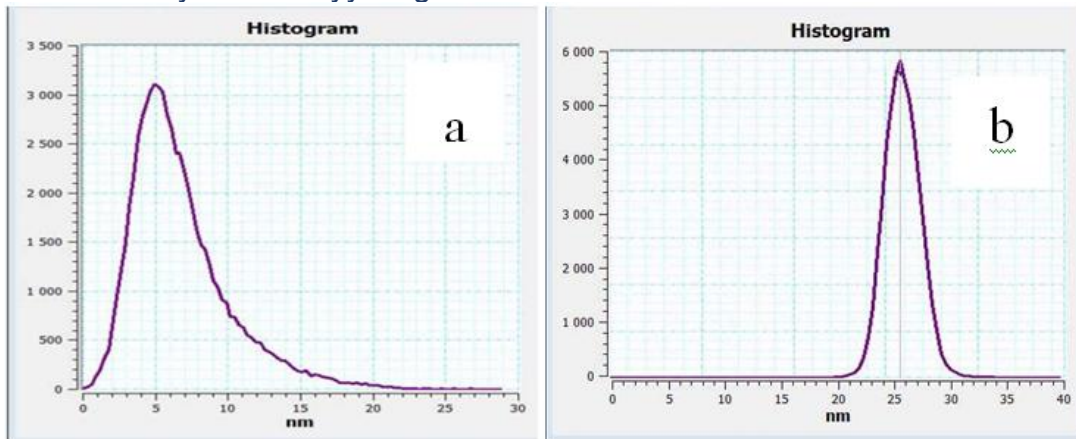
[3] işində nanoölçülü qalınlığa malik SmS təbəqəsinin termovakuum çökdürmə metodu ilə sintez texnologiyası göstərilmişdir. Bizim işimizdə altlığın termik emal temperaturu 600°C, buxarlanma temperaturu isə 2500-2700°C -dir. Sintez prosesində təbəqələrin qalınlığı öncədən kalibrə olunmuş standart pyezolövhəciyin generasiya tezliyinin dəyişməsi ilə nəzarət olunur. Bizim tədqiqatlarımız göstərdi ki, çökdürülmə üçün götürülmüş altlığın seçimi kiçik qalınlıqlı SmS təbəqəsinin formalaşma texnologiyasında kifayət qədər vacib rol oynayır. Belə ki, altlığın seçilməsində əsas kriteriya yalnız SmS və altlığın kristal qəfəs simmetriyalarının və parametrlərinin uyğunluğu deyil, həmçinin təbəqə səthinin defektlik dərəcəsi də mühüm amillərdəndir. Sonuncu tələbin yerinə yetirilməməsi, nanoqalınlıqlı samarium sulfid təbəqəsində mexaniki gərginliyə və bunun nəticəsi olaraq müxtəlif nöqtələrin xassələrinin qeyri-bircins olmasına səbəb olur.

Hazırki işdə samarium sulfid təbəqəsinin altlığı kimi leykosapfirdən istifadə olunub. İlk olaraq altlıq 4 saat müddətində 1500°C temperaturunda tablandırılıb, sonra isə 2 saat müddətində ion şüalandırmasına məruz qalıb. Altlıqlar, kələ-kötürlüyün hündürlüyü 6nm-dən böyük olmamaq şərti ilə emal edilmişdir. (Şək.6,a).

Sapfir altlıq üzərinə sintez olunmuş SmS təbəqəsinin qalınlığı 40 və 100 nm arasında olur. Sintez olunmuş samarium sulfid təbəqəsi əlavə olaraq 600°C temperaturunda tablandırılmışdır. Təbəqələrin mükəmməlliyinə rentgenstruktur və rentgenfaza analizləri (XRD D8 ADVANCE, Bruker, Germany) ilə nəzarət edilib və alınmış nəticələr [3, 4] işlərindəki təcrübə tədqiqatların nəticələri ilə müqayisə olunmuşdur. Şəkil 6,b -də nanoqalınlıqlı SmS təbəqə səthinin topoqrafiyası verilmişdir. Təbəqələrə AIST-NT ölçü başlıqlı AQM SmartSPM™ -da baxılmışdır. İş rejimində almaz iynənin real rezonans tezliyi 305.6kHz-ə bərabərdir. Şəkil 7(a,b) SmS təbəqə səthinin tablandırımadan öncə və sonra topoqrafiyasının histqramması verilmişdir.



Şək.6 Səth topoqrafiyasının 3D təsviri: *a* - “tablandırma – ion şüalanması” prosesindən sonra leykosaphir altlıq. Səthin kələ-kötürlük səviyyəsi~6nm-dir; *b* - “tablandırma–ion şüalanması” prosesindən sonra leykosapfir altlığın səthinə çökdürülmüş SmS təbəqəsi. Səthin kələ-kötürlük səviyyəsi~3 nm-dir. Yaşıl rəng sıfır səviyyəsini, qırmızı- səthdən “aşağı” səviyyəni, mavi rəng isə səthdən yuxarı səviyyəni göstərir.



Şək.7 SmS təbəqəsinin səth topoqrafiyasının histogramması: *a*-tablandırmaya qədər; *b* – 600°C temperaturunda tablandırmadan sonra

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$, ($x=0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75$) ferritlərinin nazik təbəqələri öncədən modifikasiya olunmuş saphir altlığın səthinə termovakuum çökdürmə yolu ilə sintez olunmuşdur. Alınmış təbəqələrə 20x, 50x, 100x böyütməklə 3D Laser Raman Microspectroscopy Nanofinder 30 (Tokyo Instruments, Japan) konfokal ölçü başlıqlı Raman spektrometrində və AIST-NT (Tokyo Instruments, Japan) ölçü başlıqlı SmartSPM™ atom qüvvə mikroskopunda baxılmışdır. Müxtəlif böyütmə başlıqlarından istifadə etməyimizin məqsədi təbəqənin baxılan sahəsinin ölçüsünün dəyişməsi, həmçinin təbəqənin səthinə çökdürülmüş struktura nəzarətdir. Təbəqələrin kristallıq dərəcəsi isə rentgen metodu ilə D8 ADVANCE və D2 PHASER (Bruker, Germany) difraktometrində qiymətləndirilmişdir.

[3] işində ion şüa çökdürmə metodu ilə MgO , $MgAl_2O_4$, $SrTiO_3$ altlıqlarında $CoFe_2O_4$ və $NiFe_2O_4$ təbəqələrini almışlar. Müəlliflər təbəqənin keyfiyyətinə və xüsusən də təbəqə/altlıq interfeysinə diqqət yetirmişlər. Təbəqələrin sintezi 175°C temperaturundan başlayaraq geniş temperatur diapazonunda aparılmışdır ki, bu da interfeysdə qarşılıqlı diffuziyayı müəyyənləşdirməyə imkan verirdi. Lakin müəlliflər qeyd edirlər ki, Fe_3O_4 -dən fərqli olaraq, $CoFe_2O_4$ və $NiFe_2O_4$ -ün kristal fazalarının sintezi üçün ferritlər 600°C temperaturundan yuxarı temperaturlarda tablandırılmalıdır.

Qeyd edək ki, $NiFe_2O_4$ təbəqələrinin maqnit xassələrinin müşahidə olunan anomaliyaları fazalar

arası sərhəd boyunca müşahidə olunan modifikasiya olunmuş mübadilə qarşılıqlı təsiri nöqtəyi nəzərdən interpretasiya oluna bilməz. 400–700°C temperaturlarda tablandırma hətta 5Tl maqnit sahəsində də doyma maqnitlənməsini almağa imkan vermədi. Lakin 600°C-dən yuxarı temperaturlarda tablandırma təbəqələrin doyma maqnitlənməsinə formalaşdırdı və hətta onun qiyməti massiv ferritə yaxındır. NiFe_2O_4 -də Ni^{2+} ionları Fe_2O_3 -dəki Fe^{2+} ionları kimi asanlıqla oksidləşmədiyindən Fe_3O_4 təbəqələrində müşahidə olunan digər fazalar NiFe_2O_4 təbəqələrində müşahidə edilmir. Müəyyənləşdirilmişdir ki, təbəqələrin kristallaşması qisməndir. Uyğun olaraq, təbəqənin maqnitlənməsinin anomal xassələrini kristal və amorf oblastlar arasındakı qarşılıqlı təsirlə izah etmək olar.

Müxtəlif qalınlıqlı (200 nm və daha çox) təbəqələrin morfolojiyalarının analizi göstərdi ki, təbəqənin böyüməsi altlıqdan asılı deyil. Bu faktın izahı aşağı təzyiqlik və temperaturlarda atomların nisbətən daha kiçik kinetik enerjiyə sahib olduğu və buna görə də onların kristallaşmasının altlığın yaxın nöqtələrində baş tutduğu fərziyyəsi ilə mümkündür. Müəlliflər bu hadisəni spinellərin xüsusi şəraitdə lay üzrə böyümə mexanizmini praktikada reallaşdırmağa imkan verən unikal kristal quruluşu ilə izah etdilər [1]. Sintez temperaturu 690°C–ə qədər artdıqda hətta təcrübə olaraq da adacıqlı böyümə müşahidə olunmuşdur. Ədəbiyyatlarda da göstərilən kimi, əksər hallarda spinel təbəqələrinin sintezi kristal parametrlərin uyğun olduğu altlıqlarda həyata keçirilir.

İşdə ferritlərin nazik təbəqələri 0.6mm qalınlıqlı və 8mm diametrli standart saphir altlığın səthində sintez olunmuşdur. Son illərdə saphir altlığın tətbiqi daha aktualdır, bu da saphirin unikal xüsusiyyətləri ilə izah olunur. Kvars altlığı kimi, saphir altlıqdan da terahers diapazonunda istifadə edilir. Qeyd edək ki, nanoölçülü elementlərin yaradılması zamanı əsas həlledici faktor işçi materialın nazik təbəqəsinin çökdürüləcəyi saphir altlığın yüksək keyfiyyətliliyidir. Şəkil 8-də 12 mm diametrli ilkin saphir altlığın səthinin 3D təsvirləri göstərilmişdir. Burada tədqiq olunan saphir altlığın səthinin daha az defektli sahəsi göstərilmişdir.

AFM-dən alınmış məlumatlar səthin qeyri-bircinsliyini yəni, səthdə xaoslu yerləşmiş, hündürlüyü bəzən 500nm-ə çatan “iyne” tipli çıxıntılardan olduğunu göstərir. Nazik təbəqələr üçün altlıq kimi istifadə olunmuş saphir lövhənin səthinin defektlik dərəcəsi AIST-NT ölçü başlıqlı və almaz iynəli atom güclü mikroskopda təyin edilmişdir.

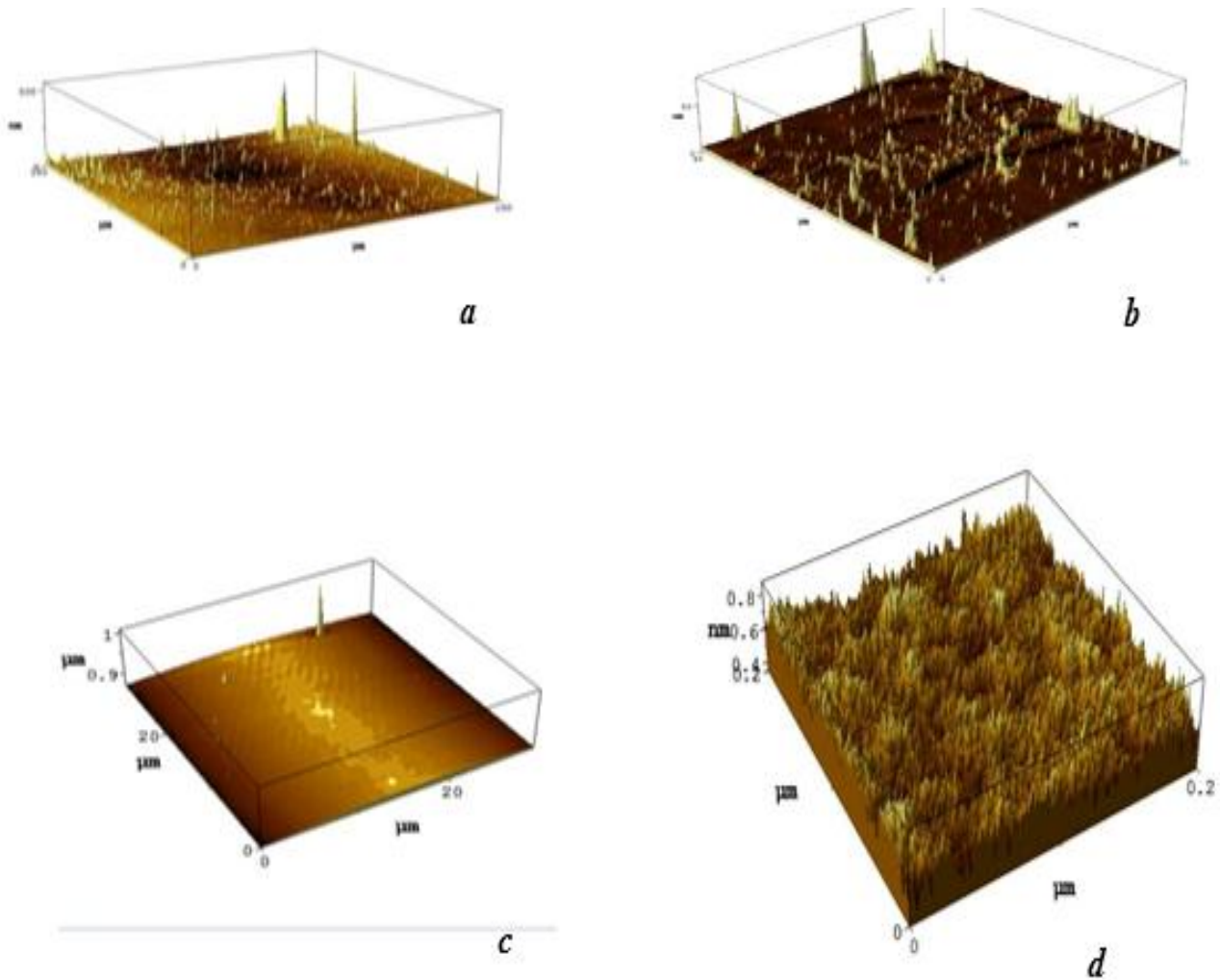
Şəkil 8-dən dislokasiyaların sıxlığı və nəticə etibarlılığı ilə saphir altlıqda daxili mexaniki gərginlik müşahidə olunur. [3-5] işlərində hamarlanmış tox mikrohissəciklərinin səthinin işlənməsi və termik metodla yüksək hamar səthli saphir lövhələrin alınma üsulları, həmçinin saphir lövhənin səthindəki kələ-kötürlüyün lazer və elektron işlənməsi ilə aradan qaldırılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

Altlığa sintez olunmuş təbəqənin davamlılığının və etibarlılığının müəyyən edən əsas faktorlardan biri adqəziyədir, yəni, təbəqə ilə çökdürülmüş material arasındakı əlaqənin gücüdür. Aydın ki, bu kriteriya sintez olunmuş təbəqənin “mükəmməl” qalınlığına hədd qoyur. Atom qüvvə mikroskopu ilə tədqiqatlardan görüldüyü kimi, 200nm-dən böyük qalınlıqlı təbəqələrin səthləri daha mükəmməl olur. Saphir lövhə üzərinə çökdürülmüş $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x=0; 0.25; 0.4; 0.5; 0.6; 0.75$) ferrit təbəqələrinin səthləri 20x, 50x, 100x böyütməklə konfokal mikroskopda tədqiq olunmuşdur və çəkilən şəkillər şəkil 9- də göstərilmişdir. Şəkil 9- də $\text{Ni}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ təbəqə səthinin üzərində 2μ və 0.5μ ölçülü ştrixlər göstərilmişdir. 50x böyütmə təbəqənin səthində seçilmiş oblastın ölçüsünün 20μ olduğunu göstərir. Ferrit təbəqələrinin səthlərinin topoqrafiyası isə AIST-NT registrasiya bloklu atom qüvvə mikroskopunda tədqiq olunmuşdur (Şəkil 10). Bütün hallarda skan olunmuş səthin ölçüsü $(1 \times 1)\mu^2$ -dir. Tədqiq olunmuş təbəqələrin tərkibindən asılı olaraq nanoölçülü adacıqların strukturunun səth topoqrafiyasının dəyişməsi Cədvəl 1-də göstərilmişdir. Alınmış nəticələr təbəqələrin maqnit xassələrinin ferritlərin tərkibindən asılılığını

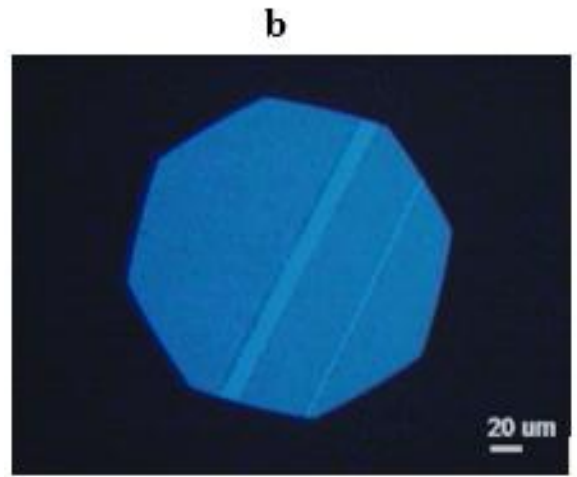
qurmağa imkan verir. Ferritlərin qalıq maqnitlənməsinin FeFe_2O_4 – ZnFe_2O_4 – NiFe_2O_4 – FeFe_2O_4 tərkibləri üzrə dəyişməsi şəkil 11-də göstərilmişdir. Qeyd edək ki, minimal ölçülü adacıqlar $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ tərkibində müşahidə olunur. Böyük ölçülü adacıqlar qalıq maqnitlənmənin maksimal qiymətinə uyğun olan $\text{Ni}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ tərkibində müşahidə olunur. Bu fakt $\text{NiO-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ sisteminin başlanğıc maqnit nüfuzluğunun tərkibdən asılılığının məlum təcrübi nəticələrinə uyğun gəlir 1380°C [6]. Görülmüş işlərin nəticələri məqalələrdə çap edilmişdir.

Cədvəl 1. Müxtəlif tərkibli ferritlər üçün adacıqların diametri və qalıq maqnitlənmənin qiyməti

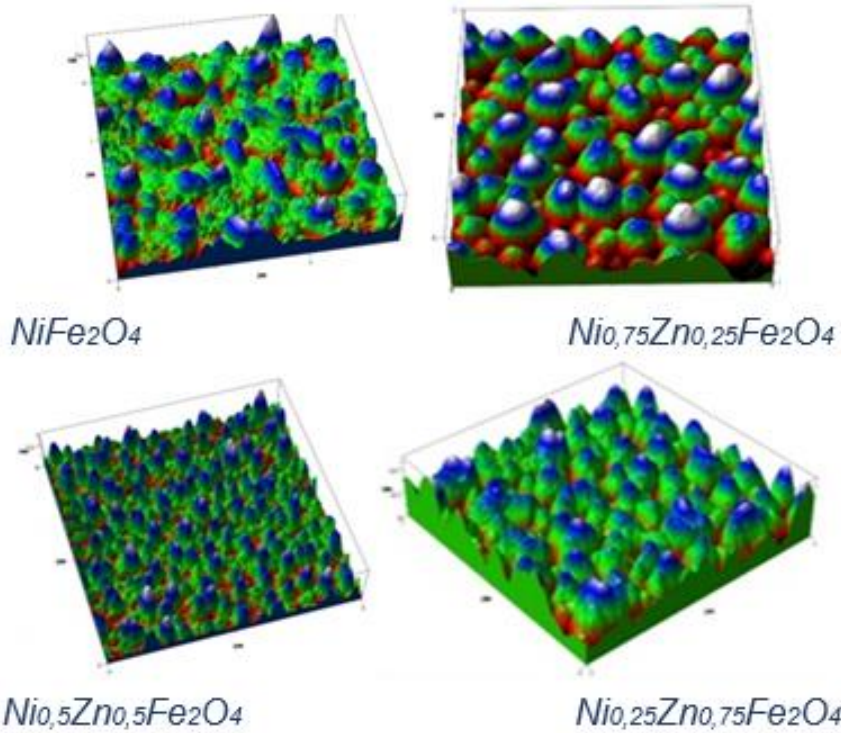
Tərkib	Adacıqların diametri, nm	Qalıq maqnitlənmə
NiFe_2O_4	13	2,3
$\text{Ni}_{0,75}\text{Zn}_{0,25}\text{Fe}_2\text{O}_4$	26	3,5
$\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	3	~5
$\text{Ni}_{0,25}\text{Zn}_{0,75}\text{Fe}_2\text{O}_4$	26	3,5



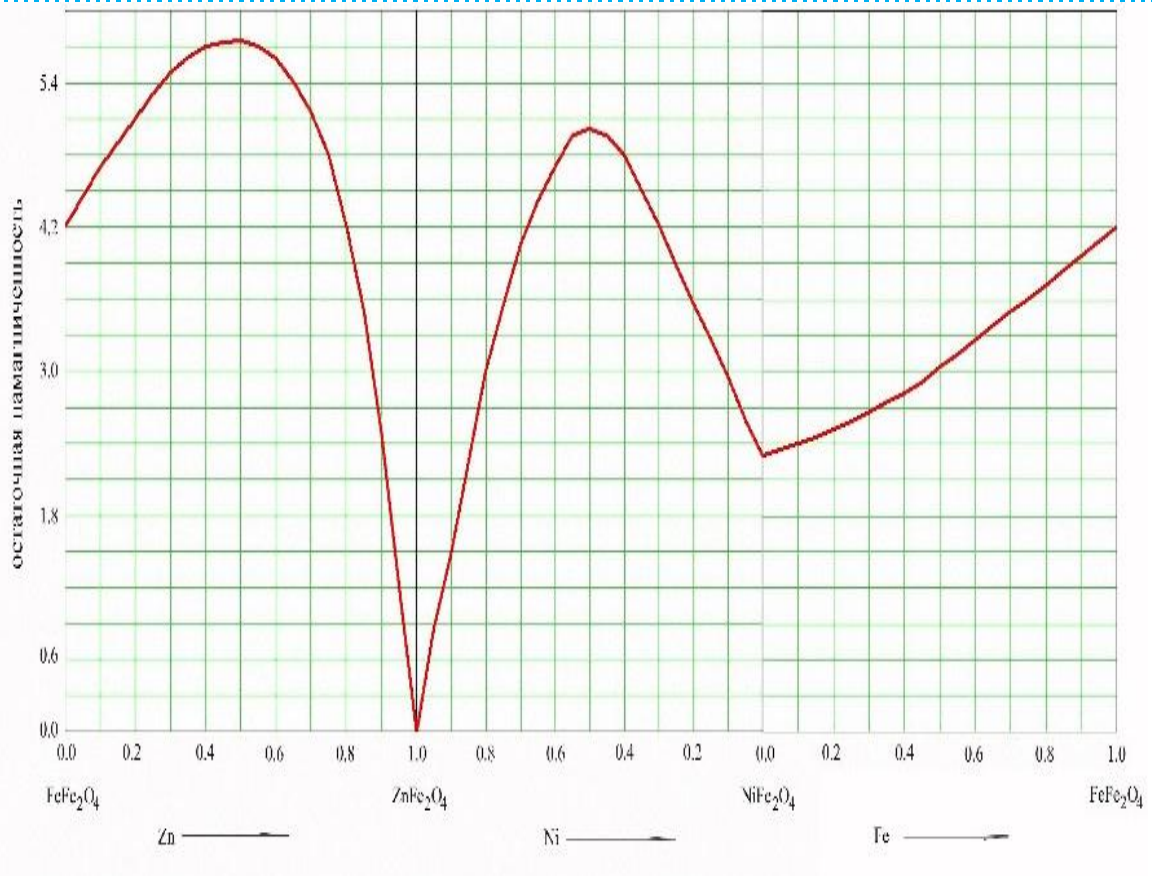
Şəkil 8. Safhir altlığın səthinin 3D təsvirləri: a. başlanğıc safhir; b. ITO "tökülmüş" safhir altlığı; c. 1400°C temperaturunda tablandırılmış safhir altlığın səthi; d. 0° bucaq altında ion selinin şüalanmasına məruz qalan leykosafhir altlığın 3D təsvirləri



Şəkil 9 a. Safhir lövhənin üzərinə çökdürülmüş $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75$) təbəqəsinin 20x, 50x, 100x böyütməklə konfokal mikroskopda çəkilmiş səthinin təsviri. ; b. $Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ təbəqəsinin səthinə çəkilmiş ştrixlərin ölçüsü 2μ və 0.5μ -dir. 50x böyütməklə, təbəqə səthinin seçilmiş oblastı 20μ .



Şəkil 10. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ təbəqələrinin səthlərinin topoqrafiyaları



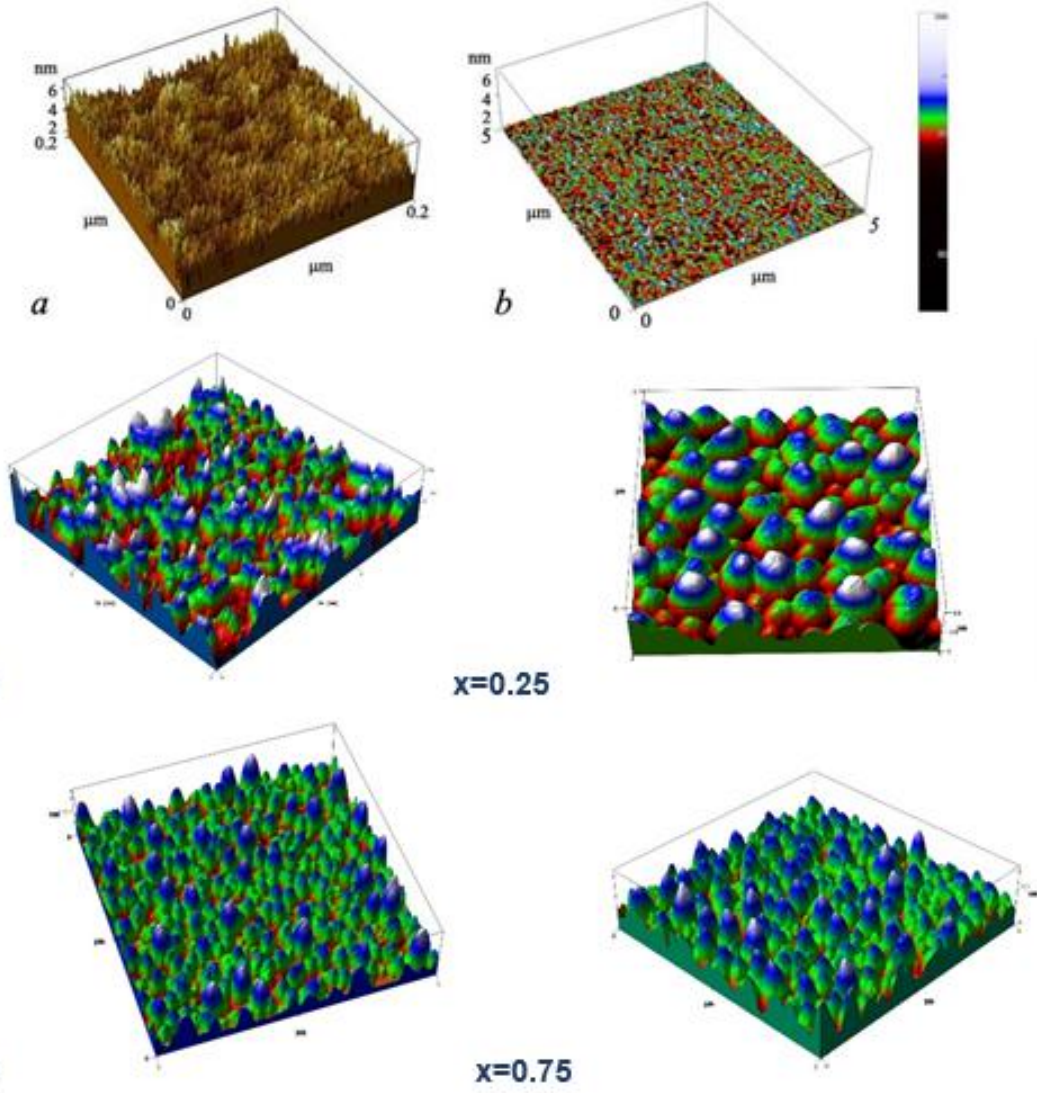
Şəkil 11. Qalıq maqnitlənmənin $FeFe_2O_4-ZnFe_2O_4-NiFe_2O_4-FeFe_2O_4$ tərkiblərindən asılılığı

IV. AQM texnoloji rejimində relyef nanoelementlərin yaradılma texnologiyasının müəyyən edilməsi

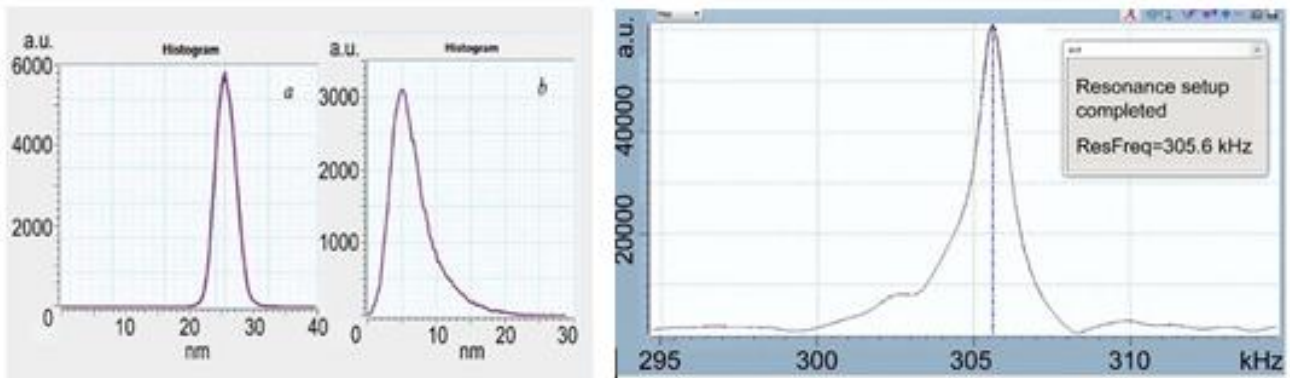
Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, saphir altlıq üzərinə sintez olunmuş SmS və $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75$) ferrit təbəqələrinin qalınlığı 40 və 100 nm arasında olur. Sintez olunmuş SmS və $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$, ($x=0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75$) təbəqələri əlavə olaraq 800°C və 600°C temperaturunda tablandırılmışdır. SmS –dən fərqli olaraq, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$, ($x=0, 0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75$) nazik təbəqələri daha möhkəm struktura malikdir. Belə ki, bu təbəqələrdə maqnit domenlərinin nizamlı düzülüşü müşahidə olunur. Dənəciklərin ölçüsü domenlərin birdomenli struktura aid olmasını göstərir. Şəkil 12(c)-dən görüldüyü kimi tərkibdən asılı olaraq dənəciklərin ölçüsü strukturu dəyişir, belə ki, bu asılılıq mürəkkəb quruluşa malikdir. Nümunə üçün şəkil 12(c)-də $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$, ($x=0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75$) nazik təbəqəsinin səthləri göstərilmişdir.

Təbəqələrin mükəmməlliyinə rentgenstruktur və rentgenfaza analizləri (XRD D8 ADVANCE, Bruker, Germany) ilə nəzarət edilib və alınmış nəticələr [1, 2] işlərindəki təcrübə tədqiqatların nəticələri ilə müqayisə olunmuşdur. Şəkil 12,b -də nanoqalınlıqlı SmS təbəqə səthinin topoqrafiyası verilmişdir. Təbəqələrə AIST-NT ölçü başlıqlı AQM SmartSPM™ -da baxılmışdır. İş rejimində almaz iynənin real rezonans tezliyi 305.6kHz-ə bərabərdir. Şəkil 13(a,b) SmS təbəqə səthinin tablandırımadan öncə və sonra topoqrafiyasının histogramması verilmişdir.

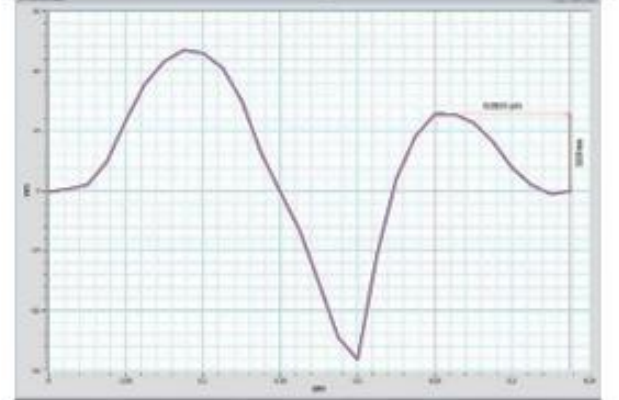
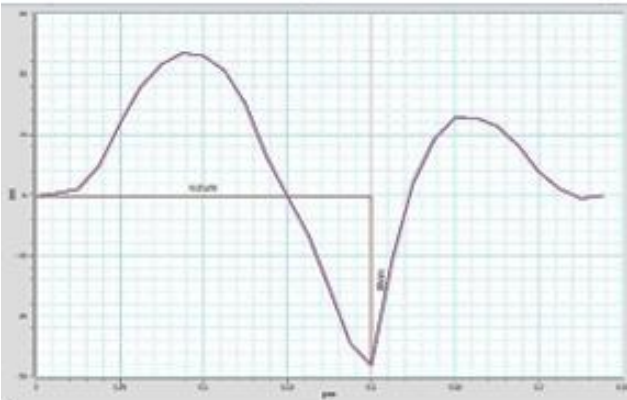
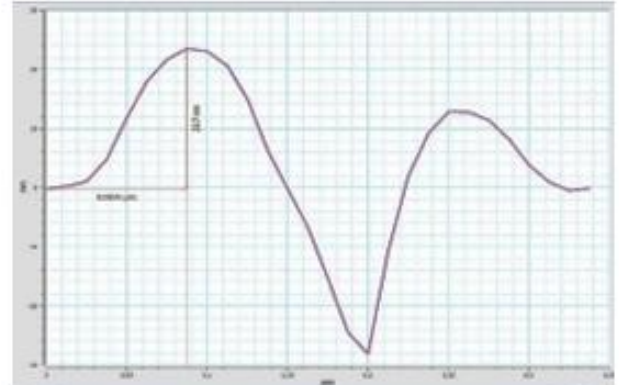
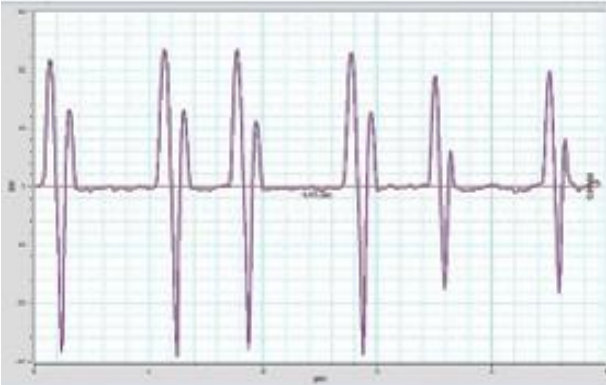
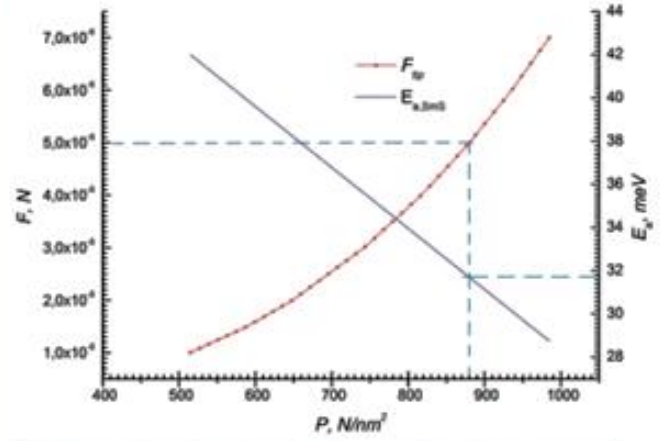
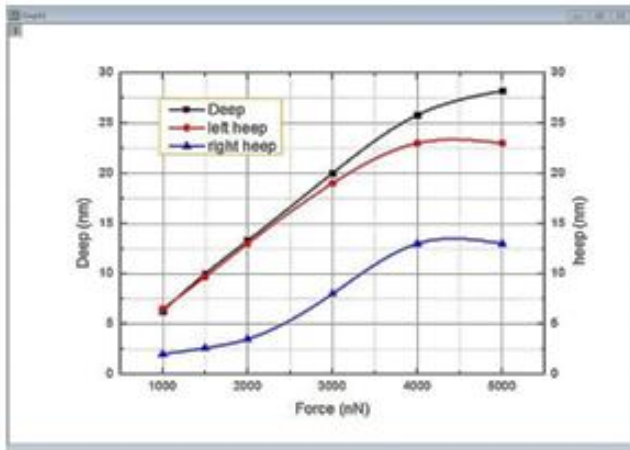
AIST-NT ölçü başlıqlı AQM SmartSPM™ vasitəsilə sintez olunmuş samarium sulfid nazik təbəqəsinin səthində cızma metodu ilə “difraksiya qəfəsi” kimi çoxfunksiyalı, nanoölçülü element formalaşdırılmışdır.



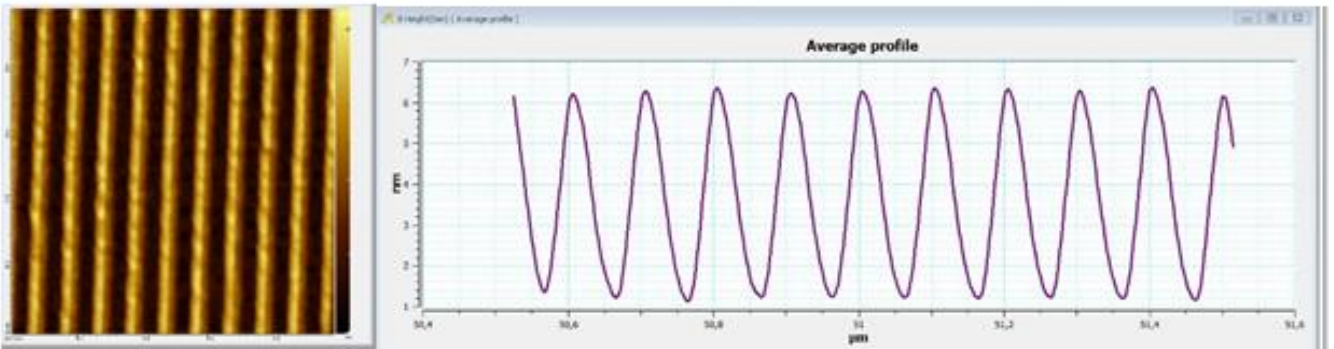
Şəkil 12 Səth topoqrafiyasının 3D təsviri: a - “tablandırma – ion şüalanması” prosesindən sonra leykosapfir altlıq. Səthin kələ-kötürlük səviyyəsi~6nm-dir; b - “tablandırma–ion şüalanması” prosesindən sonra leykosapfir altlığın səthində sintez olunmuş SmS təbəqəsi; c - $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$, ($x=0,0.25,0.5,0.75$) təbəqə səthlərinin kələ-kötürlük səviyyəsi~3 nm-dir. Yaşıl rəng sıfır səviyyəsini, qırmızı- səthdən “aşağı” səviyyəni, mavi rəng isə səthdən yuxarı səviyyəni göstərir.



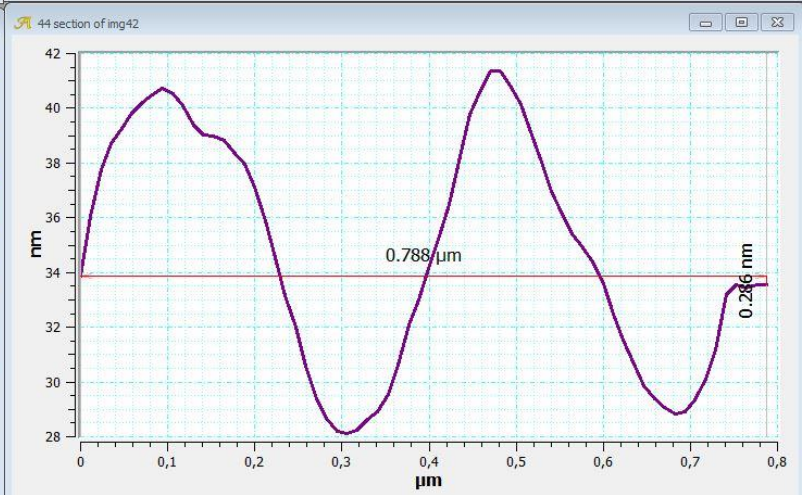
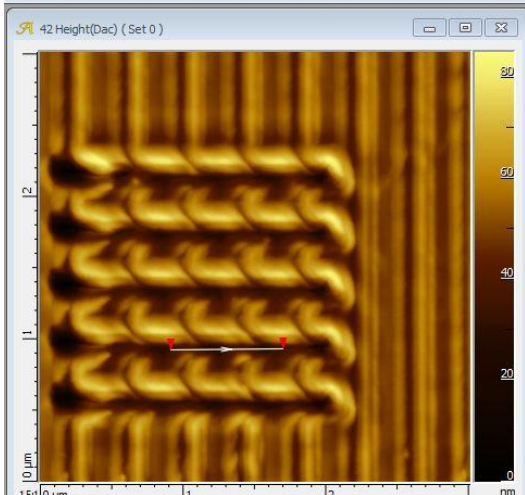
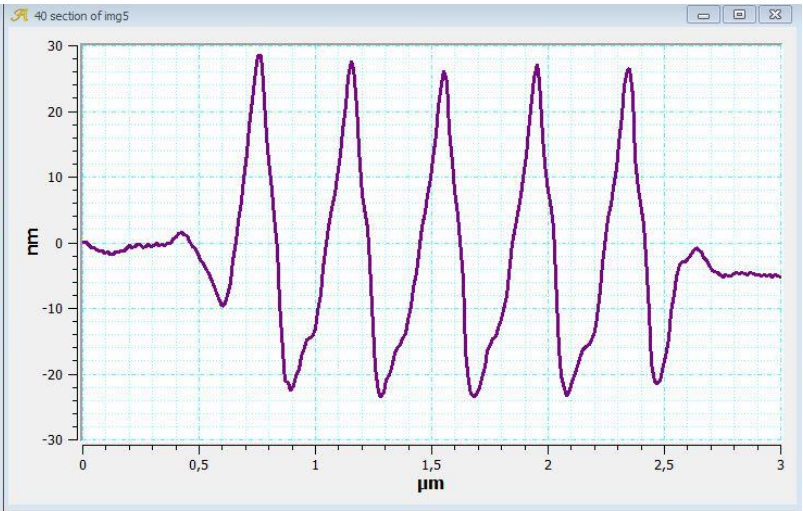
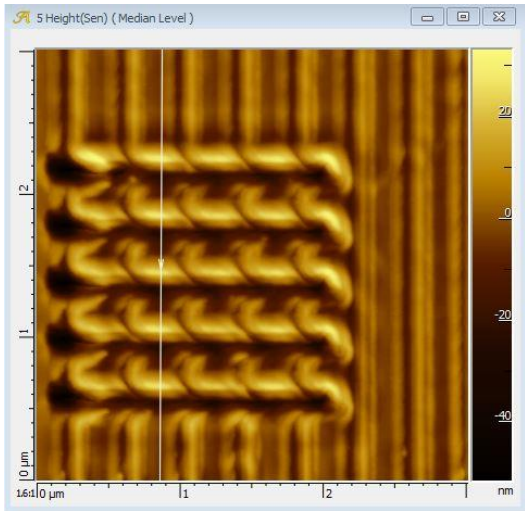
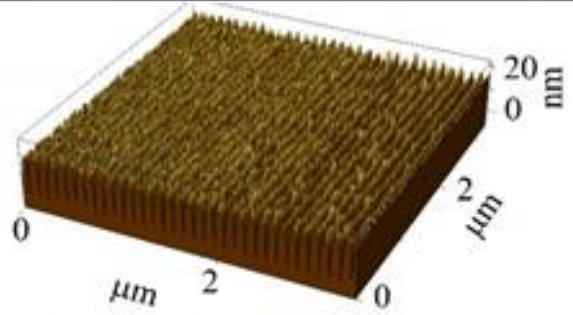
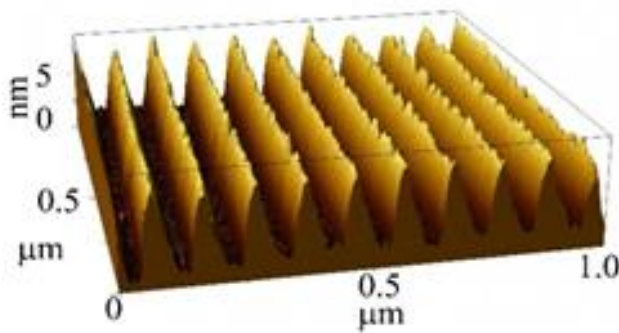
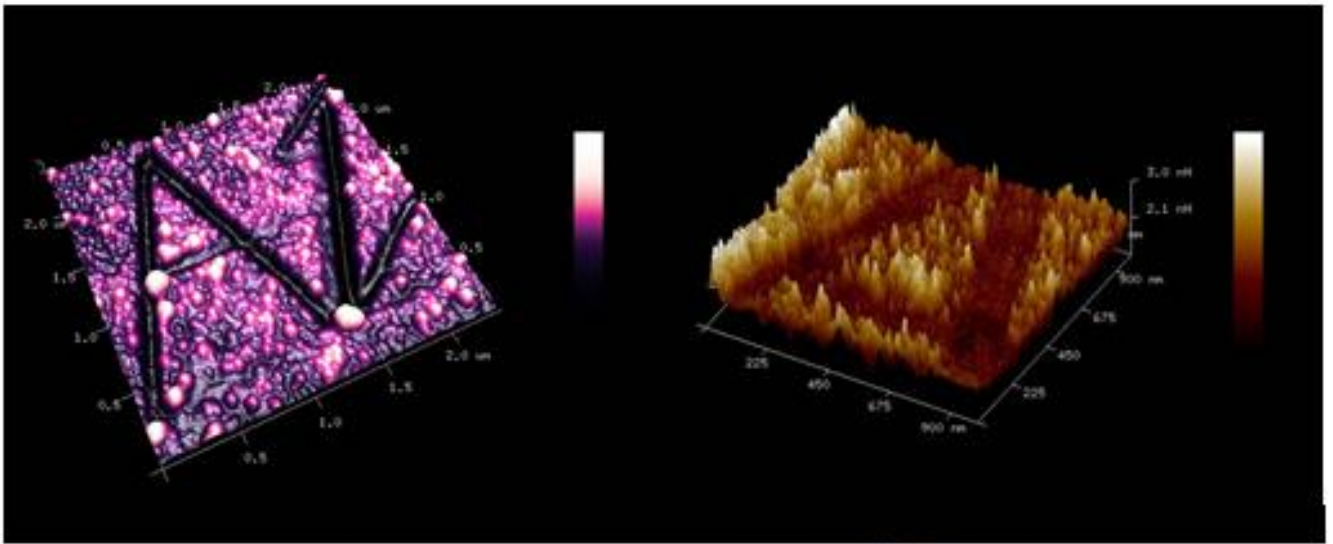
Şəkil 13 SmS və $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$, ($x=0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75$) təbəqəsinin səth topoqrafiyasının histogramması: a- tablandırmaya qədər; b – 600°C temperaturunda tablandırmadan sonra, c – təbəqə səthinin topoqrafiyası çəkilməmişdən öncə AQM –nun iynəsinin köklənməsi

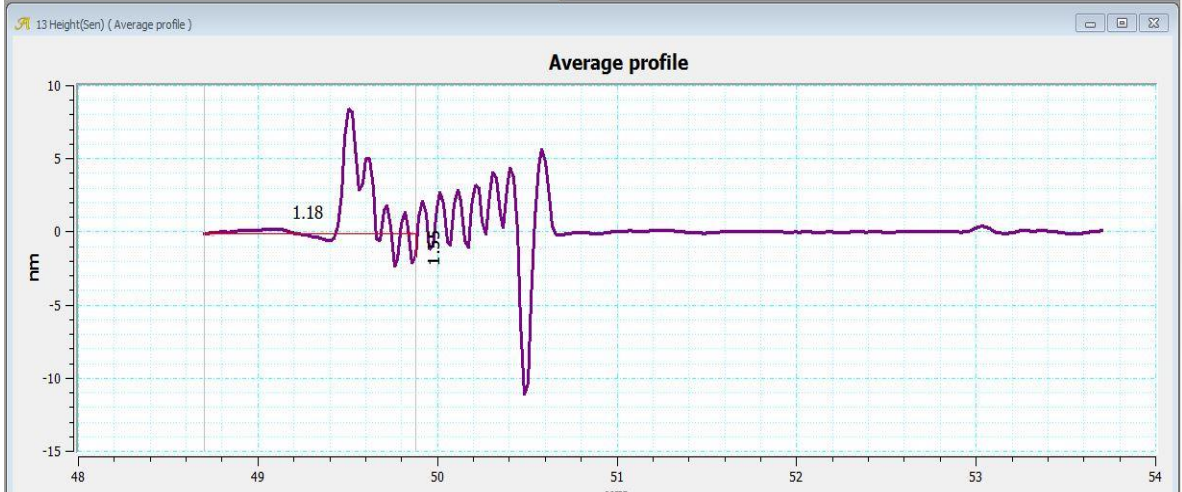
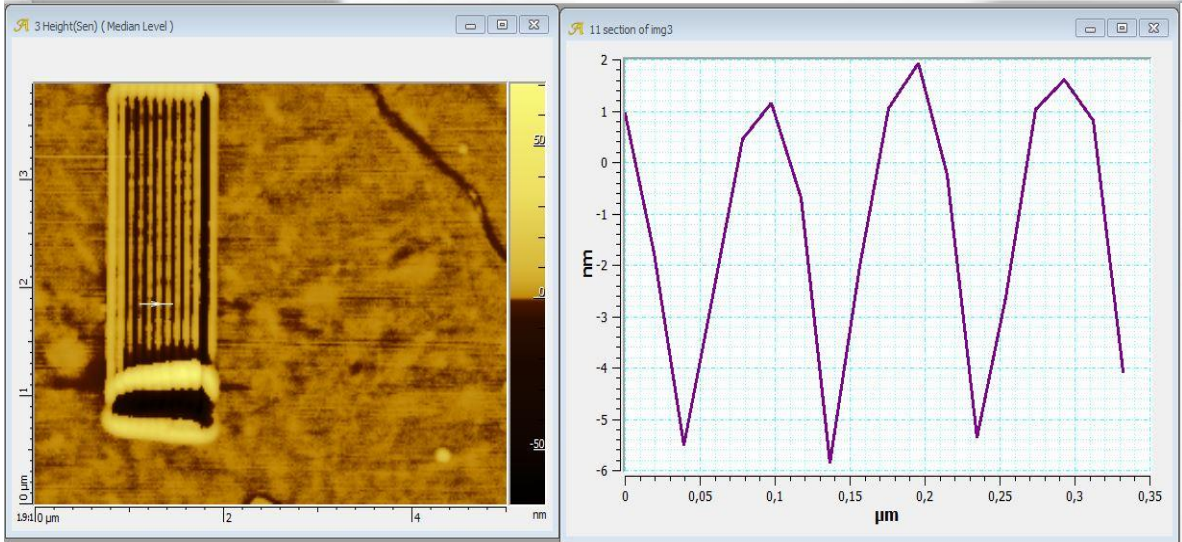
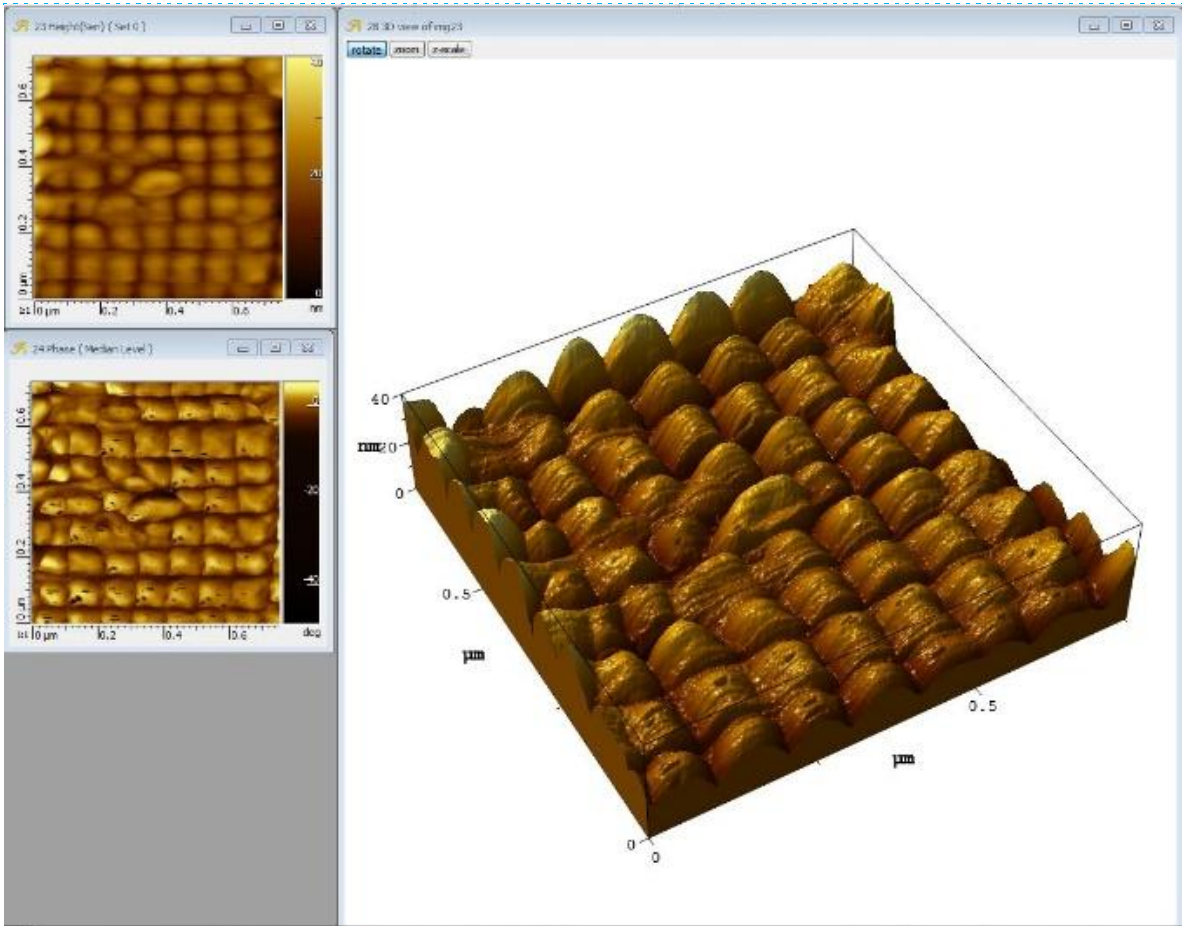


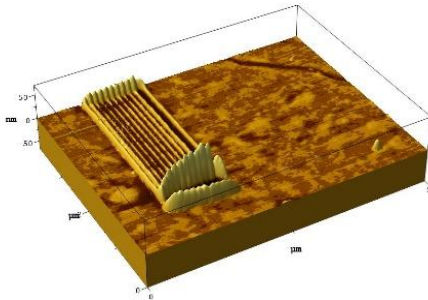
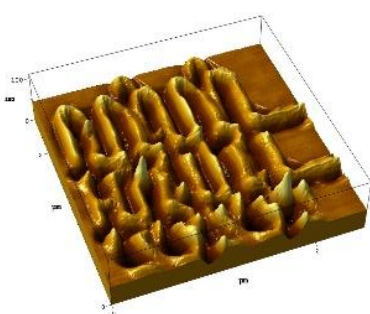
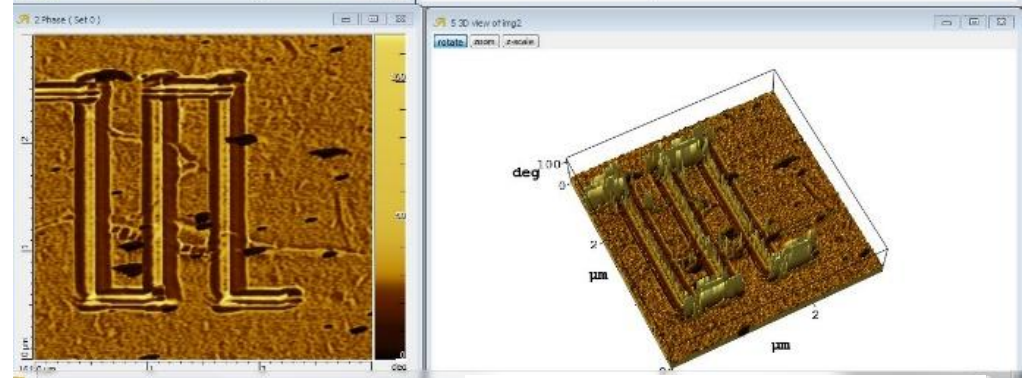
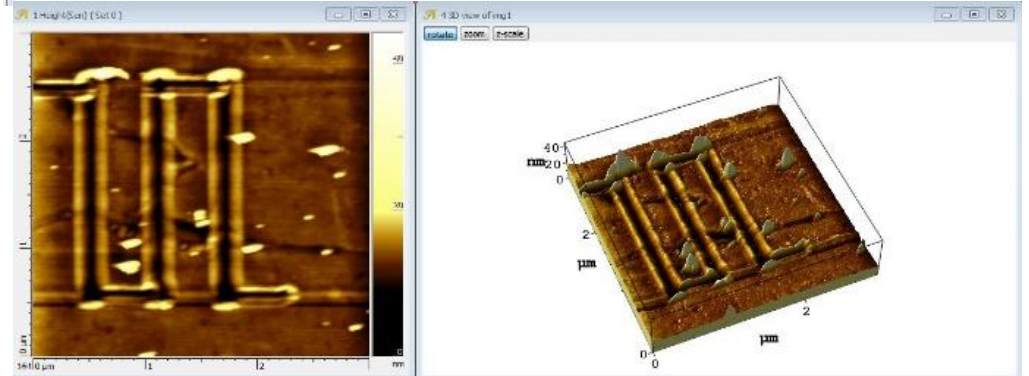
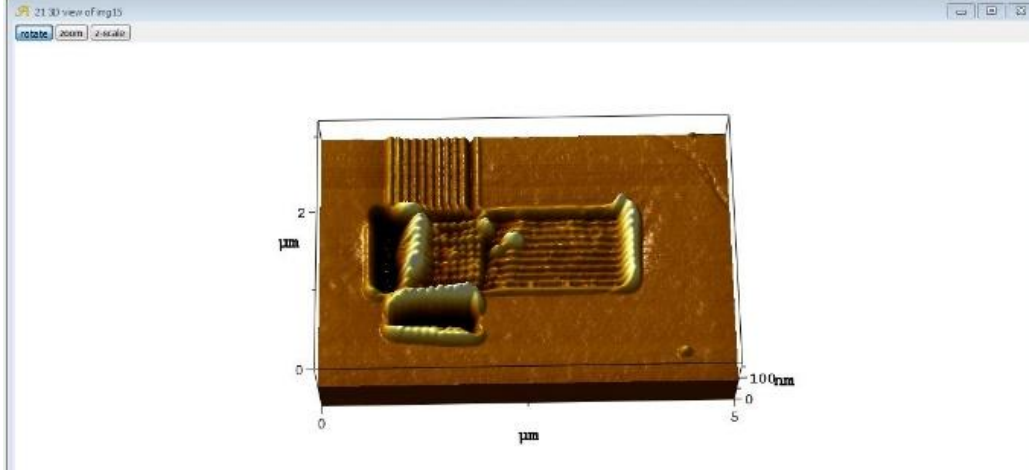
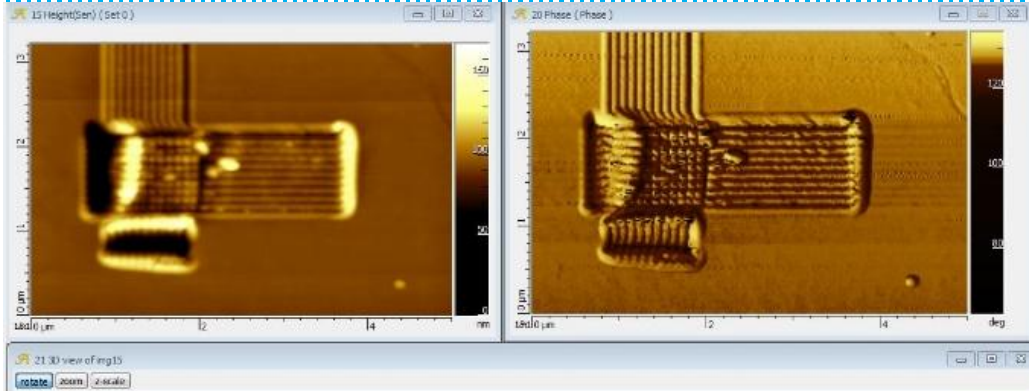
Şəkil 14 “Almaz” ucluğu üçün cızma parametrlərinin tətbiq gücündən asılılığı, burada E_c -SmS üçün aktivləşmə enerjisidir.



Şək.15 Nazik təbəqənin səthində cızılmış cızıqların keyfiyyəti







Şek.16 Nazik tēbeqenin səthində cızılmış müxtəlif tipli profillər

Şəkil 14-də nanoelementlərin nazik təbəqəsi üzərində cızıqlar çəkmək üçün rejim parametrləri (zərbənin gücü, cızığın dərinliyi və s.) verilmişdir. Hündürlüyə görə qeyri-xəttilik 2nm-dən böyük olmur. Çəkilməmiş cızıqların keyfiyyətini şəkil 15-dən yaxşı görmək olar. Bu rejimlərin istifadəsi zamanı cızmaların profilinə uyğun cızıqlar yaxud digər şəkillər formasında, yarımkeçirici SmS nazik təbəqəsinin səthində metal halının yaranma effekti əldə edilir. Əldə edilmiş profillərdən nümunələr şəkil 16-də göstərilmişdir.

Texnoloji rejimlərin analizi göstərdi ki, nazik təbəqənin səthinə çəkilə bilən cızıqların məhdud sayı cızma zamanı bu materialın kənara çıxdığı və hündürlüyü cızıqların dərinliyi ilə təsbit edilən “qırıqlar”ın böyüklüyü ilə təyin edilir. SmS nazik təbəqəsi üçün metal fazasının yaranması cızmanın gücü ilə, belə ki, ucluğun nazik təbəqənin səthinə göstərdiyi təzyiq ilə təyin edilir. Bu şərtlərdə SmS nazik təbəqəsinin səthinə cızılmış cızıqlarda koherent səpilmə oblastlarının pozulması baş verir. (Ni-Zn) ferrit nazik təbəqələrində isə cızma iri maqnit domenlərinin parçalanmasına və uyğun olaraq, maqnit nüfuzluğunun artmasına səbəb olur. Cızıqların profili əsasən kəsici ucluğun parametrləri və bucaq ilə təyin edilir. Qəfəsin difraksiya parametrləri Breqq bucağı ilə təyin edilir. Şəkil 15-də göstərilən (cızıqlar arası məsafə 100nm-dir) qəfəs halında isə qəfəsdən əks olunan elektromaqnit şüalanmasının dalğa uzunluğu 0-200nm arası olur. Cəmi 1sm-də 10000 cızıq yerləşir və bu da ən yaxşı qəfəs standartlarına uyğundur (İddia sənədinin nömrəsi **a 2014 0055**).

V. Yaradılan nanoelementlərin statik, aşağı-, yüksək- və ifratyüksək tezlikli elektrik xəssələri

50Hz-50MHz tezlik intervalında $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin elektromaqnit şüalarını udma qabiliyyəti böyük maraq kəsb edir. Belə ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritləri, onlardan keçən dəyişən elektrik cərəyanının təyin edilmiş tezlik oblastlarında tezliklərin aşağı salınması yaxud seçilməsi kimi üstünlüklərə malik yeni nəsil nanoelementlərin yaradılmasını mümkün edir.

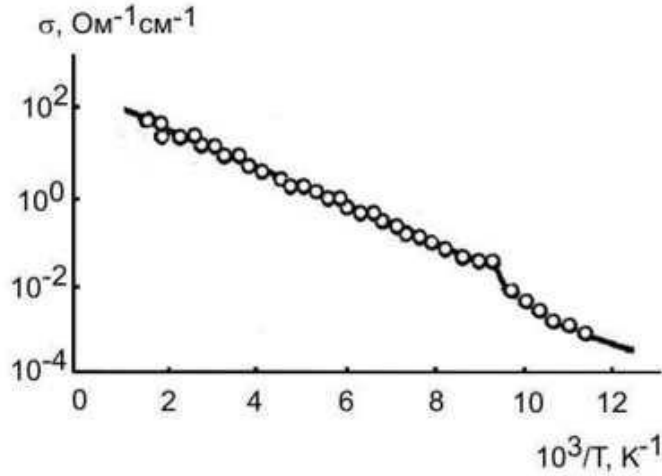
Elektrik keçiricilik

Yarımkeçirici keçid elementlərinin (Fe, Ni və b.) elektrik keçiricilik mexanizmi dəyişkən valentli ionlar arasında elektron mübadilə prosesi (“sıçrayış mexanizmi”) ilə şərtlənir. Belə ki, kristal qəfəsin ekvivalent yerlərində eyni elementin müxtəlif yükə malik ionları yerləşməlidir. Nikel-sink ferritləri çevrilmiş spinellərdir və özlərini iki sadə- $NiFe_2O_4$ və $ZnFe_2O_4$ ferritlərindən əmələ gələn bərk məhlul qarışığı kimi göstərir.

Bərk məhlulun kationlarının oksigen düyünləri arasında paylanması nəzərə alınmaqla, bu ferritlərin tərkibi $(Zn_x^{2+}Fe_{1-x}^{3+})[Ni_{1-x}^{2+}Fe_{1+x}^{3+}]O_4$ formulu ilə xarakterizə olunur. Fe^{2+} ionları asanlıqla Ni^{2+} və Zn^{2+} ionları ilə əvəz edilir. Bu hal oktaedrik boşluqlarda ionlarının statik paylanmasını və bu birləşmələrin elektrik keçiriciliyini izah edir. Müxtəlif valentli kationlar qəfəsdə kristalloqrafik və energetik ekvivalent mövqeləri tuturlar. Bu isə elektron mübadilə reaksiyalarının təqribən 0.05 eV olan kiçik aktivləşmə enerjisi (ΔE) ilə getməsinə səbəb olur. Sinkin kristal qəfəşə daxil olması oktaedrik pozisiyalarda dəmirin çıxışdırılıb çıxarılması ilə müşayiət edilir. Uyğun olaraq tetraedrik altqəfəsin (A) maqnitlənməsi və müxtəlif altqəfəslərdə (A və B) yerləşən kationların maqnit momentlərinin kompensasiyası azalır. Nəticədə sinkin konsentrasiyasının artması bərk məhlulun doyma maqnitlənməsini artmasına, A-O-B tipli mübadilə qarşılıqlı təsirin zəifləməsinə səbəb olur ki, bu da özünü Küri temperaturunun (T_K) monoton azalması ilə biruzə verir. Artıq $x > 0,5$ oblastında tetraedrik altqəfəsdə ionların maqnit momenti B-altqəfəşində yerləşən kationların maqnit momentləri ilə antiparalel istiqamətlənmirlər. Bu da doyma induksiyasının sürətlə azalmasına, kristal anizotropiyasının zəifləməsinə, ferritin ilkin maqnit nüfuzluğunun artmasına səbəb olur.

Şəkil 17-də $(Zn_{0,6}^{2+}Fe_{0,4}^{3+})[Ni_{0,4}^{2+}Fe_{1,6}^{3+}]O_4$ ferritinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı göstərilmişdir. Alınmış nəticələrin interpretasiyası qəfəs simmetriyası dəyişmədən aktivləşmə enerjisinin sərf olunması ilə, $Fe^{2+} + Fe^{3+} \rightarrow Fe^{3+} + Fe^{2+}$ tipli elektron və $Ni^{3+} + Ni^{2+} \rightarrow Ni^{2+} + Ni^{3+}$ tipli dəşik keçiriciliklərin mövcud olması ilə interpretasiya olunur. Ni^{2+} -dən Fe^{3+} -ə keçid

enerji itgisidir və ehtimalı az olur.



Şək.17 $(\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_{0.4})_2[\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_{1.6}]_2\text{O}_4$ ferritinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı

Mübadilədə iştirak edən elektronlara konsentrasiyası temperaturdan asılı olmayan yük daşıyıcılar kimi baxmaq olar. Lakin, temperaturun artması ilə dəyişkən valentli ionlar arasındakı keçid ehtimalı artırır və ferritlərin xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığını kifayət qədər dəqiqliklə

$\rho = \rho_{\infty} \cdot \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$ ifadə etmək olar, burada k – Bolsman sabiti, T - temperatur, E_a –aktivləşmə

enerjisidir. Axırını şək.17-də göstərilmiş, elektrikkeçiriciliyinin temperatur asılılığının tədqiqinin nəticələri də təsdiq edir. İkivalentli nikel ionlarının konsentrasiyasının artması ilə ferritin keçiriciliyi xətti olaraq böyüyür, aktivləşmə enerjisi isə azalır. Buradan görünür ki, dəyişkən valentli ionların yaxınlaşması ilə elektronların qonşu ionların arasından keçməklə aşdıqları energetik baryerlərin hündürlükləri azalır. Məsələn, nikel-sink ferritlərinin elektrikkeçiriciliyinin aktivləşmə enerjisi 0.5-dən 0.1 eV-a qədər azalır. Məlumdur ki, zərrəciklərin bircinsli maqnitlənmənin saxlanıldığı limit radiuslarının qiyməti bu ifadə ilə təyin olunur

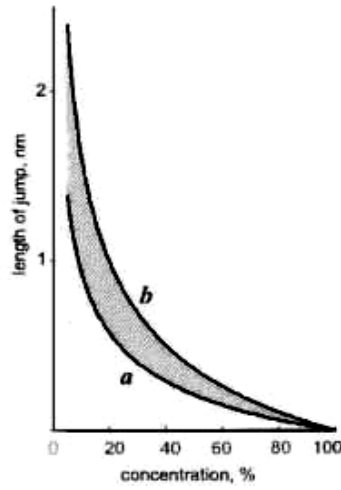
$$R_c \approx \frac{0.95}{J_s} (10A)^{\frac{1}{2}} \left(Q - \frac{2K}{J_s^2} - \frac{H}{J_s} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Burada J_s –doyma maqnitlənməsi; A -mübadilə enerjisinin parametri; K – anizotropiya sabiti; Q – maqnitsizləşmə faktoru; H – sahənin gərginliyidir. Qeyd edək ki, verilən tənliyi sahənin bütün

$H > -\frac{2K}{J_s}$ qiymətlərində ödəyən radiuslu zərrəcik birdomenli qalır. Atom momentləri kimi

zərrəciklərin radiuslarının sonrakı kiçilməsi də mübadilə qüvvələrini və bircinsli maqnitlənməni saxlayır. Onda zərrəciklər sistemində yekun maqnit momenti vektorunun broun hərəkətinin ehtimalı artır. Bu prosesin ehtimalı $\exp(E/k_B T)$ ilə mütənəsbdir, burada E -anizotropiya sabitindən və zərrəciklərin həcmindən asılıdır, həmçinin maqnit momentinin fırlanmasına səbəb olan istilik fluktasiyasını dəf etdikdə energetik baryer mənasını daşıyır. Kritik radiusdan kiçik radiusa malik zərrəciklər sistemi özlərini böyük maqnit momentinə malik paramaqnit atomlardan ibarət ansambl kimi aparır. Diametrləri təxminən 30nm olan zərrəciklər üçün $T=300\text{K}$ -də relaksasiya müddətinin təqribi qiyməti 10^{-6} s –dir. Təbii ki, energetik baryerin qiyməti və nəticə etibarlı ilə relaksasiya müddəti xarici maqnit sahəsinin gərginliyindən asılıdır.

Maqnit tozunun yekun maqnit momenti $J = J_s V_0 \int_0^{\infty} \left(\text{cth} \frac{J_s W H}{k_B T} - \frac{k_B T}{J_s W H} \right) f(W) dW$ ifadəsi ilə təyin olunur. Burada $f(W)$ – ölçülərinə görə zərrəciklərin paylanma funksiyalarıdır.

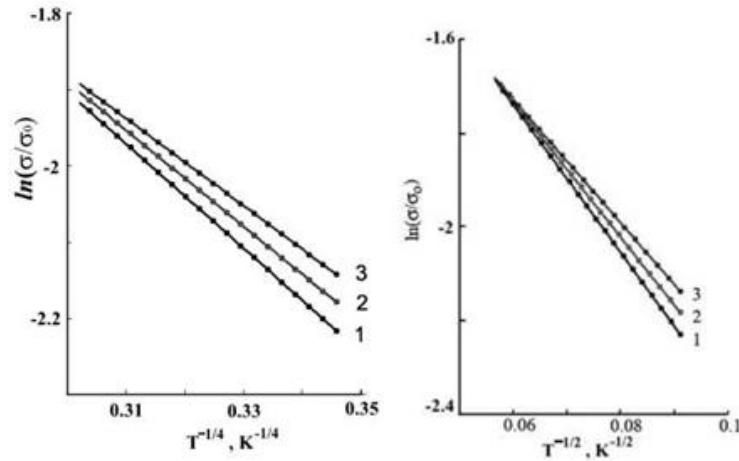


Şək. 18 Sıçrayışın uzunluğunun PVX dielektriki ilə bərkidilmiş ferrit mikro hissəciklərinin konsentrasiyasından asılılığı

Şəkil 18-də sıçrayışın uzunluğunun PVX dielektriki ilə bərkidilmiş ferrit mikro hissəciklərinin konsentrasiyasından asılılığı göstərilmişdir. Analizin göstərdiyi kimi, sıçrayışın uzunluğuna aid bütün təcrübi məlumatlar “a” və “b” əyriləri ilə məhdudlaşmış ştrixlənmiş oblasta aiddir. Bu oblast verilmiş konsentrasiyada və ferrit zərrəciklərinin həcm üzrə bərabər paylanması halında, iki zərrəcik arasında maksimal və minimal məsafəyə uyğundur. Yük daşıyıcının sıçrayışının

uzunluğu $l(T) = \frac{3}{8} a \left(\frac{B}{T} \right)^{\frac{1}{4}}$ ifadəsi ilə qiymətləndirilir. Burada “B” elektrik keçiriciliyə aid

təcrübələrdən təyin olunur. Təcrübələrdən əldə edilmiş sıçrayış uzunluğunun paylanmasının temperatur asılılığı sıçrayışlı keçiriciliyin iki mexanizminin mövcud olmasını göstərdi. Bu mexanizmlərdən biri mikrotozun zərrəcikləri arasında sıçrayışlı mexanizmi və digəri isə ferrit-dielektrik-ferrit strukturunda sıçrayışlı mexanizmdir



Şək.19 Ferrit mikro hissəciklərinin 70 –120K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı. Burada 1-25%; 2 – 45%; 3-65% qarışıqda ferrit mikro hissəciklərinin konsentrasiyasıdır.

70-120K temperatur intervalında ferrit-PVX-ferrit strukturunun elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı, ferrit mikro hissəciklərinin üç konsentrasiyası (1- 25%; 2 – 45%; 3-65%) üçün lokallaşmış vəziyyətlər üzrə sıçrayışın uzunluğunun dəyişdiyi sıçrayışlı keçiricilik mexanizminin üstünlük təşkil etdiyini göstərir. Sıçrayış mexanizminin müşahidə olunan temperatur asılılığı amorf mühit üçün xarakterikdir. Buna görə də lokallaşmış vəziyyət aşqarlarla bağlı deyil, belə hal dielektrik matrisanın struktur defektləri və dielektrik matrisa-ferrit hissəciklərin ayrıcı

sərhəddinin varlığı ilə bağlıdır. Belə interpretasiya daha doğrudur, çünki, lokallaşmış halın sıxlığı ferrit mikrotozunun konsentrasiyadan asılı olaraq böyük qiymətlər ($10^{21} - 10^{22} \text{ eV}^{-1} \text{sm}^{-3}$ aralığında) alır. 120-300K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyin dəyişməsinin xarakteri $T^{1/2}$ asılılığa malikdir (Şək.19b). Bu da fonon proseslərin yük daşıyıcılarına təsirinin nəticəsidir.

Onda $\sigma \sim \exp\left[-\left(\frac{B_1}{T}\right)^2\right]$, $B_1 = \frac{2.8e^2}{k\epsilon a}$ asılılığının yaranma səbəbi Fermi səviyyəsi ətrafı hallar

sıxlığında kulon yarığının yaranmasıdır ki, bu da adətən halın radiusu və dielektrik nüfuzluğunun anomal böyük olduğu metal–dielektrik keçidi ətraflarında müşahidə olunur. Burada a–halın radiusudur. Ferrit zərrəciklər arasında maqnit olmayan dielektrik layının qalınlığı tunel cərəyanının yaranma şərtinə uyğun gəlir. Bu tunel cərəyanda elektronların spinləri iki mümkün orientasiyaya malikdirlər. Elektronlar tunelləşərək yalnız eyni spin polarizasiyalı vakansiyaları tuturlar. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, iki ferromaqnitin spinləri eyni istiqamətdə orientasiya etdikdə, ferrit-dielektrik-ferrit strukturu ən kiçik müqavimətə, spinlərin əks orientasiyası zamanı isə ən böyük müqavimətə malik olurlar. Əgər ferrit dənəciklərinin eyni parametr və ölçüyə malik olmasını hesab etsək, onda onların paylanması həcmdə spinə görə xotik xarakter daşıyır. Onda yekun tunel cərəyan sıfıra bərabər olmalıdır. Ferromaqnit–dielektrik-ferromaqnit strukturunda spin asılı yük daşıma modelinə əsasən tunel cərəyanının qiymətini Tsu-İsaki ifadəsindən istifadə edərək tapmaq olar:

$$I = \frac{2\pi e}{\hbar^3} m_{j\sigma}^* \iint T(E_z, E_{\parallel})(f_1 - f_3) dE_z dE_{\parallel}$$

$$T = \frac{k_{col} m_{em}^*}{k_{em} m_{col}^* |t_{ii}|^2}; \quad t_{ii} = \left(\prod_i t_i \right); \quad t_i = \begin{pmatrix} e^{ik_i z_i} + e^{-ik_i z_i} \\ \frac{ik_i}{m_i^*} e^{ik_i z_i} - \frac{ik_i}{m_i^*} e^{-ik_i z_i} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} e^{ik_{i+1} z_i} + e^{-ik_{i+1} z_i} \\ \frac{ik_{i+1}}{m_{i+1}^*} e^{ik_{i+1} z_i} - \frac{ik_{i+1}}{m_{i+1}^*} e^{-ik_{i+1} z_i} \end{pmatrix};$$

$$k_{col} = \frac{\sqrt{2m_{col}^* \left(E_z \pm \frac{h_0}{2} + eV \right)}}{\hbar}; \quad k_{em} = \frac{\sqrt{2m_{em}^* \left(E_z \pm \frac{h_0}{2} \right)}}{\hbar};$$

$$k_i = \frac{\sqrt{2m_d^* \left(E_z - U_0 + \frac{1}{n} eV - eV_s \delta(z - z_1)(z - z_2) + e\varphi_i \frac{n^2}{i(n-i+1)} - \left(1 - \frac{m_d^*}{m_{cm}^*} \right) E_{\parallel} \right)}}{\hbar};$$

$i = 1, 2, \dots, n$

Burada: I-tunel cərəyanı; f_1 və f_3 – emitter və kolektor oblastlarında Fermi-Dirak funksiyası; T – dalğanın yayılma əmsalı; k_i və m_i^* - i-ci barier oblastının dalğa vektoru və effektiv kütləsi; z_i – i və (i+1)-manəə oblastının koordinatı; m_{em}^* , m_{col}^* , m_d^* - emitter, kollektor və dielektrikdə effektiv kütlə; E_z, E_{\parallel} - elektronun uzununa və eninə enerji komponentləri; V – struktura tətbiq olunan gərginlik; t_{ii} – ötürücü matrisanın elementi; a – barrierin qalınlığı; U_0 – potensial barrierin hündürlüyü; V_s – səpilmə potensialı; φ_i – i-ci oblastda təsvir qüvvəsinin potensialı; \hbar – Plank sabiti; h_0 – dielektrik daxilində molekulyar sahə. Elektronların potensial barierdən keçərək tunelləşdiyi zaman, enerjinin eninə komponenti sabit olur, $k_{\parallel} = \text{const}$.

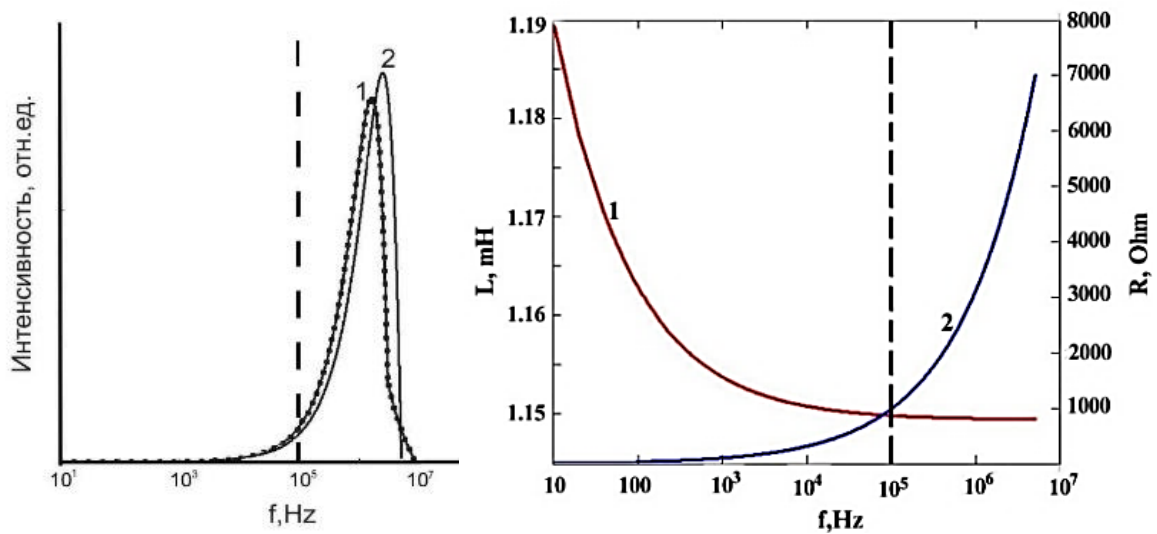
Hesablamalar üçün parametrlər kimi: potensial barrierin hündürlüyü – 2.0 eV; potensial barrierin eni – 1-2 nm; yuxarı və aşağı istiqamətlənmiş spinə malik elektronların və barierdəki elektronların effektiv kütlələri uyğun olaraq $1.27m_0$, $1.36m_0$ и $0.4 m_0$; molekulyar sahə – 1.9eV; potensial səpilmə – 0-0.2eV qəbul edilmişdir. Hesablamalar zamanı cərəyanın ferrit və dielektrik qarışıqından axma tezliyi, skin effekt nəzərə alınmışdır. Əgər ferrit və polimer dielektrik strukturuna perkolyasiya sistemi kimi baxılırsa, skin effekti nəzərə alındıqda, cərəyanın axması qarışıq keçiriciliyin miqyası ilə müəyyən olunur. Skin effektin dərinliyi qarışıq keçiriciliyin miqyasından kiçik olduqda strukturda cərəyan ikili xarakter, böyük olduqda isə üçölçülü xarakter daşıyır. Aşağı tezliklər oblastında əsasən “yaxşı” naqilin keçiriciliyi və bu keçiriciliyin

dəyişməsi təyin olunur. Bu oblastlarda qarışıq keçiriciliyin sərhədlərinin vəziyyəti dəyişmir. Sıçrayışlı mexaniz zamanı dəyişən elektrik sahəsində keçiricilik tezlikdən asılı olur:

$$\sigma(\omega) \approx \omega \left[\ln \left(\frac{\omega_{ph}}{\omega} \right) \right]^4,$$

burada ω_{ph} - fonon tezlik təxminən 10^{12} s^{-1} -ə bərabərdir.

Şək.20-də ferrit-dielektriklərdə $10 - 10^7 \text{ Hz}$ tezlik oblastında yüksək tezlikli maneyənin təcrübi və nəzəri udulma spektrləri göstərilmişdir. 1000 V gərginlik və 10A cərəyana qədər udma spektrində heç bir dəyişiklik müşahidə olunmur. Maksimumların mövcud olması ferritin maqnit nüfuzluğunun tezlik asılılığı, ferrit-polimer dielektrik qarışığının induktivliyinin tezlik asılılığı, cərəyanın üçölçülü xarakterdən ikiölçülü xarakterə keçidi ilə və həmçinin spinləri aşağı və spinləri yuxarı istiqamətlənmiş spin cərəyanlarının fərqi ilə də şərtlənir.



Şək.20.

a. $10 - 10^7 \text{ Hz}$ tezlik oblastında yüksək tezlikli maneyənin təcrübi (1) və nəzəri (2) udulma spektrləri.

b. İnduktivliyin (1) və müqavimətin (2) tezlik asılılığı; qırıq xəttin vəziyyəti cərəyanın axmasının üçölçülü xarakterdən ikiölçülü xarakterə keçid sərhəddini göstərir.

“DİFRAKSİYA QƏFƏSİ” tipli relyefə malik nazik təbəqələr

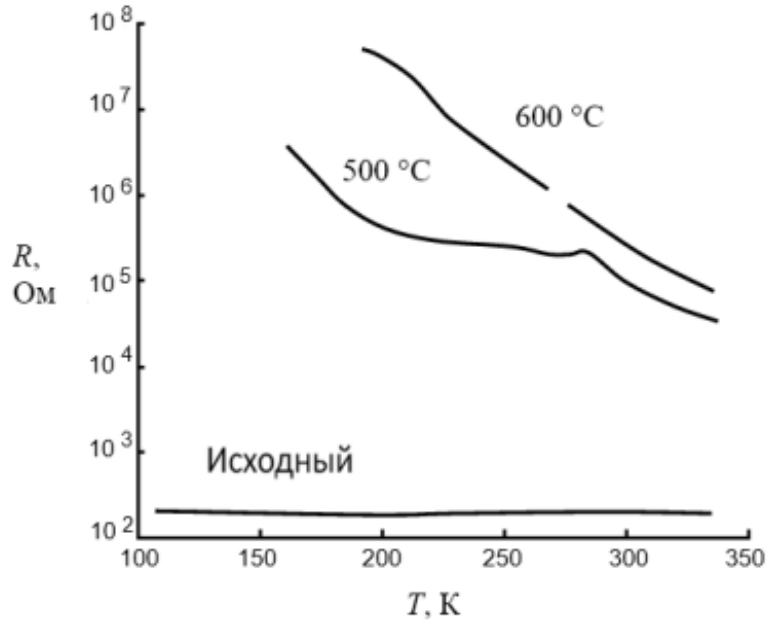
“Difraksiya qəfəsi” tipli relyefin yaradılması üçün istifadə olunan nanoqalınlıqlı $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ təbəqələrində dəyişən elektrik cərəyanı həmişə ikiölçülü xarakter daşıyır və qəfəs ilə cərəyanın kəsişməsinə perpendikulyar və paralel istiqamətlənməklə bir-birindən fərqlənirlər. Cərəyanın axmasının adi modelində cərəyan ştrixlər boyunca istiqamətlənir. Ştrixlərə perpendikulyar istiqamətlənmədə isə Tsu-İsak bərabərliyi ilə təsvir olunan və sıçrayışlı tunel xarakterin nəzərə alındığı elektronların daşınmasının spin asılılıq modeli əsas rol oynayır. “B” temperaturdan xətti

asılıdır və $B_1 = \left(\frac{8}{3 \cdot a} I(T) \right)^4 T$ ifadəsi ilə təyin olunur. Bu ifadədən görmək olar ki, nanoelementin fiksə olunmuş hissəsində elektrik keçiricilik yalnız I -dən asılıdır. Beləliklə, nanoelementin səthinə ştrixlərin cızılması Fermi səviyyəsi ətrafında kulon yarığının temperaturdan asılılığına səbəb olur.

SmS

Elektrik müqavimətinin temperaturdan asılılığına aid tədqiqatlar qalınlığı 430 \AA olan, üç eyni SmS nümunəsində (30 dəq müddətində, vakuumda 500 və $600 \text{ }^\circ\text{C}$ temperaturlarında tablandırılmış ilkin və iki nümunədə) 4-kontaktlı metod vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Əldə olunmuş nəticə şək.21-də göstərilmişdir. Tablandırma elektrik müqavimətinin otaq

temperaturunda üç tərtib böyüməsinə səbəb olur ki, bu da elektrik müqavimətinin temperatur asılılığının görünüşündə dəyişiklik yaradır. Əldə olunmuş təcrübi nəticələr nəşr olunmuş nəticələrə uyğundur.



Şək.21 Müxtəlif temperaturlarda tablandırılmış SmS təbəqələri üçün elektrik müqavimətinin temperatur asılılıqları

Amplitud-faza kontrastının EFM topoqrafiyası təsdiq etdi ki, cızma nəticəsində təbəqənin səthində defektlərin konsentrasiyasının və nəticə etibarlı ilə, yüklü zərrəciklərin konsentrasiyalarının dəyişməsinə uyğun olaraq, elektrik sahəsinin ştrixlər üzrə nizamlı paylanması baş verir. Məlumdur ki, SmS nümunəsinin səthində təzyiğin təsiri ilə samarium ionlarının $Sm^{2+} \rightarrow Sm^{3+}$ dəyişməsi ilə müşahidə olunan faza keçidi baş verir. Polikristal SmS təbəqələrinin xassələri klasterlərin ölçülərindən asılıdır. Klasterlərin ölçüləri rentgen şüalanmasının koherent səpilmə oblastına görə qiymətləndirilmişdir. 20nm-dən böyük ölçülü klasterlərdə yarımkəçirici tipli, 20nm-dən kiçik ölçülü klasterlərdə isə metal tipli keçiricilik üstünlük təşkil edir. ÖKP xarakter ölçüsü SmS təbəqəsinin texnoloji böyümə parametrlərindən asılı olaraq dəyişə bilər. Təbəqənin cızılması zamanı uzunluğu 3000nm olan bir ştrix üçün pozulmuş layın həcmnin qiyməti təxminən $4.952 \cdot 10^3 \text{ nm}^3$ təşkil edir (ştrixin uzunluğu 1nm-dir). Ni-in konsentrasiyasının pozulmuş layın həcmə mütənasib olması nəzərdə tutularaq, 1nm uzunluqlu ştrixdə üçvalentli samarium ionlarının konsentrasiyası $N_i \cong N_f V = 1.8 \cdot 10^{22} * 4.952 \cdot 10^{-21} = 89.136 \text{ cm}^{-3}$ hesablanmışdır. Keçirici zond konus formasında olarsa, zondun vahid səthə təsir göstərən qüvvənin qiyməti elektrostatik potensial və Van-der-Vaals qarşılıqlı təsirinə qiymətləri ilə təyin olunur. h hündürlüklü, θ bucağa malik, başlığının radiusu r olan, səthdən z məsafədə yerləşən konus formalı zond üçün lokal bircins sahədə təsir qüvvəsinin analitik ifadəsi təxminən bu şəkildə olur:

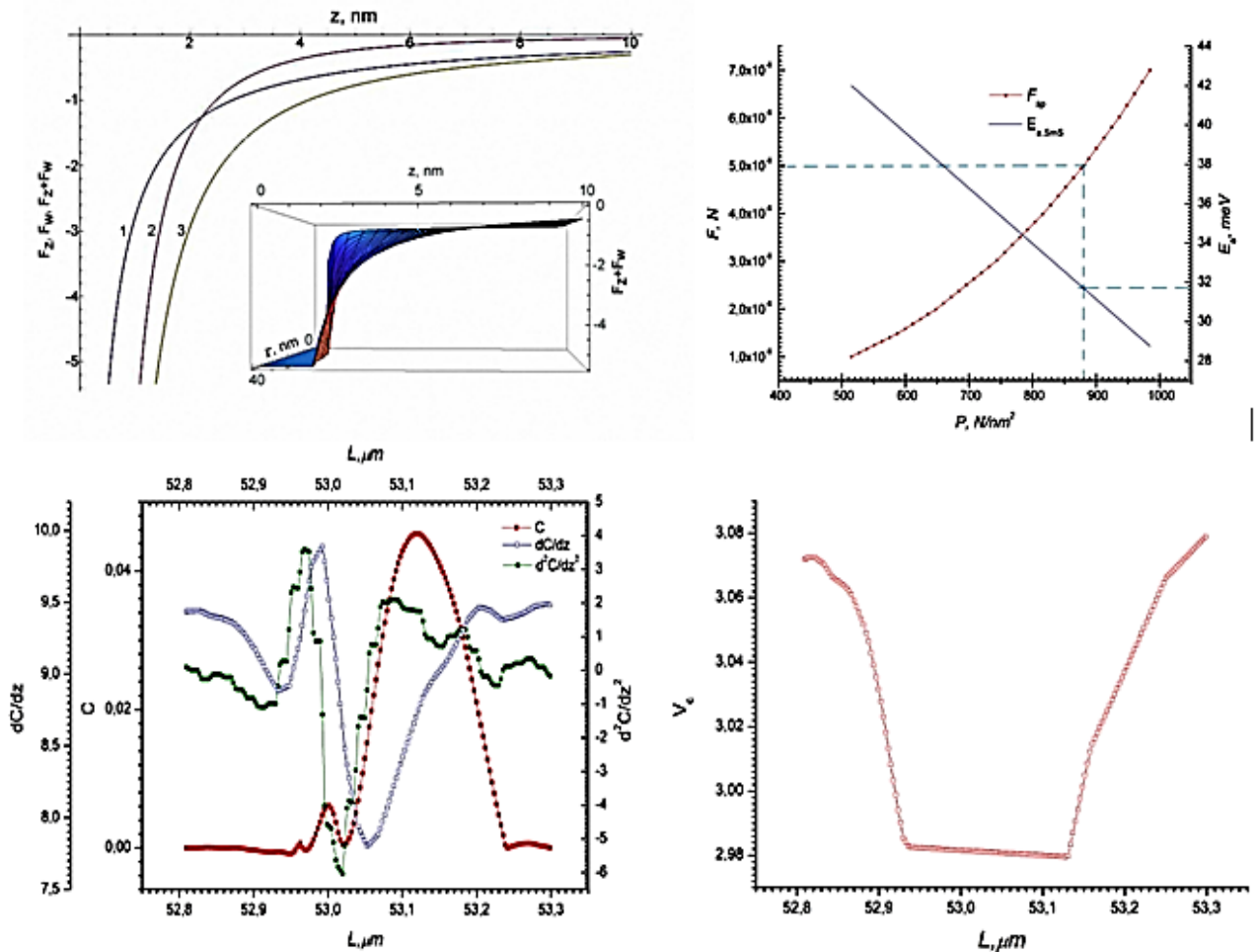
$$F = F_z + F_w$$

$$F_z = -\pi\epsilon_0(V - V_c)^2 \left\{ \frac{1}{\ln^2(\text{tg} \frac{\theta}{2})} \left[\ln \left(\frac{h}{z+r(1-\sin \theta)} \right) + \frac{r \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} \right)}{z+r(1-\sin \theta)} - 1 \right] + \frac{r^2(1-\sin \theta)}{z(z+r(1-\sin \theta))} \right\} \quad (4)$$

$$F_w = -\frac{A}{6} \left[\frac{r}{z^2} + \frac{\text{tg}^2 \theta}{z+r(1-\sin \theta)} - \frac{r(1-\sin \theta)}{z(z+r(1-\sin \theta))} \right]$$

Burada A – Hamaker sabiti, V_c – potensialların kontakt fərqi. Qeyd edək ki, zond ilə nümunə arasındakı məsafə kiçik olduqda (nanometr tərtibində), van-der-vaals qüvvələri üçün ifadədə mötərizədə olan ikinci və üçüncü hədd, birinci həddən çox kiçik olur. Adətən, zondun tədqiq olunan səthdən olan məsafəsi elə seçilir ki, van –der-vaals qarşılıqlı təsiri nəzərə almamaq mümkün olsun. Buna görə də, zond mikroskoplarında zond və nümunənin səthi arasındakı

məsafə 0.1-10nm tərtibində olur. Həmçinin onu da qeyd edək ki, təsir qüvvəsi üçün ifadədə qarşılıqlı təsir qüvvələri zonasında zondun n_c və nümunənin n_s molekullarının konsentrasiyası nəzərə alınmır. Aydındır ki, kantilever və tədqiq olunan səthin molekulları arasında qarşılıqlı təsir (yalnız cüt qarşılıqlı təsire baxmaqla) nəzərə alındıqda təsir qüvvəsinin qiyməti $F = \int n_c dV_c \int n_s dV_s$ ifadəsi ilə təyin olunur. Konusvari zondun uculuğunun radiusu nümunə səthinə qədər olan məsafədən kiçikdirsə, onda Van-der-Vaals qüvvəsi üçün ifadə $F_W = -(\pi^2 A \cdot \text{tg}^2 \theta) / 6z$ şəklində olar. Şək.22-da istifadə olunan (almaz) iynə ilə SmS təbəqəsi arasında məsafə z olduqda, onlar arasında elektrostatik, van-der-vaals və yekun qüvvələrin qiymətlərinin hesablamalı nəticələri göstərilmişdir. Bu hesablamalardan və polikristal SmS təbəqələri üçün aktivləşmə enerjisinin təcrübi qiymətlərindən istifadə etməklə difraksiya qəfəsinin ştrixlərinin optimal cızma rejimi müəyyən edilmişdir. Hamaker parametrinin nəzəri hesablamalardan və AQM tədqiqatlarından alınmış qiyməti $1.32 \cdot 10^{-3} \text{ nN}\cdot\text{nm}$ -ə bərabərdir. Qeyd edək ki, Kelvin zond metodu ilə potensialların kontakt fərqi müəyyən edilmişdir $V_c = 170.3 \text{ mV}$ (P_t kontaktının orta qiyməti V_c – iynə- SmS nümunəsinin səthi). Standart metodikaya uyğun olaraq, $F_z \equiv 0$ olduqda həyəcanlandırıcı dəyişən gərginliyin birinci harmonikasında gücün qeydə alınması səth potensialının paylanması $\varphi(x,y)$ xəritəsini almağa imkan verir (əgər $V_c = V$ olarsa, modulyasiya signalının istənilən qiymətlərdə tutumun z -ə görə törəməsi). Şək.22-da həmçinin kantilever-SmS təbəqə qarşılıqlı qüvvəsinin üç komponentinin profili və SmS təbəqəsinin səthinə ştrixləri cızıldıqdan sonra V_c profilləri göstərilmişdir. Beləliklə, yaradılmış nanostrukturlu element özündə SmS materialının ikifazlı strukturunu təmsil edir və bu strukturda ştrixlərin səthi metal keçiricilikə, alt hissəsi isə yarımkəçirici xassəyə malik olur.



Şək.22 a - elektrostatik (1), vandervaals (2) və yekun qüvvənin (F_{tot}) SmS təbəqəsinin səthindən olan "z" məsafədən asılılıqları; b – verilmiş cızma rejimində aktivləşmə enerjisinin qiymətinin təyini; c –kantilever-SmS təbəqəsi arasındakı qarşılıqlı təsirin üç komponenti; d- ştrixlərin cızılmasından sonra profil V_c

İfrat yüksək tezliklər: (Ni,Zn) ferritlərinin epr spektrləri

Ferritlərinin EPR tədqiqatlarının nəticələri şəkil 23-27-də verilmişdir. TEM tədqiqatlarına əsasən (Ni-Zn) ferrit dənəciklərinin ölçüsü 20nm ətrafındadır. EPR spektrləri ELEXSYSE500 Bruker (Germany)spektrometrində tədqiq olunmuşdur.

Şək.7-də 300K-dən aşağı temperaturlarda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O$ ($x=0,0.25,0.5,0.75,1.0$) mikrotozlarının EPR spektrləri göstərilmişdir.

NiFe₂O₄

Təqribən 13K temperatur oblastında dənəciklərin ölçüsü ~8,6nm olan NiFe₂O₄ mikrotozları üçün EPR tədqiqlərinin nəticələrinin analizi superparamaqnit zərrəcikləri üçün xarakterik olan xüsusiyyətləri göstərir. NiFe₂O₄ –də: $T_{block} = 60K$; $T_s \approx 70K$; $M_0 = 39.6 \text{ emu} \cdot g^{-1}$. 300K-də Messbauer spektrlərində superparamaqnit dubletin olması NiFe₂O₄ zərrəciklərinin ölçüsünün 10nm-dən böyük olmamasını təsdiq edir, belə ki, superparamaqnit dubletin Messbauer spektrlərinə qatqısı 3% təşkil edir. Məlumdur ki, zərrəciklərin üst qatında spinlər nanozərrəciklərin nüvəsinin yaratdığı yekun maqnit momenti istiqamətinə yönəlirlər. Orta ölçüləri 24 nm olan kristallitlərin EPR spektrlərində incə quruluşun yalnız iki maqnit komponenti müşahidə olunur.

300K-dən aşağı temperatur intervalında NiFe₂O₄ mikrotozlarının EPR spektrlərinin forması temperaturdan zəif asılıdır. Şək.24-dən görüldüyü kimi, temperaturun artması ilə müsbət maksimumun dH qiymətinin azalması müşahidə olunur. Spektrin bu maksimumunun g-faktorunun qiyməti təqribən 2.975, mənfi maksimumun g-faktorunun qiyməti isə təqribən 1.583-ə bərabərdir. g-faktorun $H=2886.90e$ maksimumunda EPR spektrinın inteqralından təyin olunan qiyməti 2.0159-dir. NiFe₂O₄ üçün g-faktorun aldığımız qiymətinin 2.0023 (belə ki, sərbəst elektronun qiyməti) qiymətinə yaxın olması ya spin və orbital momentlər arası zəif əlaqənin olmasını, ya da güclü delokalizə olunmuş molekulyar orbitinin mövcudluğunu göstərir. NiFe₂O₄ –ün differensial EPR spektrlərində “pillə” müşahidə olunur. Mikroalğa signalının zərrəciklərin konsentrasiyasından asılılığı nəticəsində yaranan analoji “pillə” Fe₃O₄ -ün FMR udma spektrlərində də müşahidə olunur. Zərrəciklərin konsentrasiyasının artması “pillə”nin yox olmasına, konsentrasiyanın 0.1%-dək azalması isə mövcud strukturun yaranmasına səbəb oldu. 300K temperaturunda Fe₂O₃-in differensial EPR spektrində “pillə” müşahidə olunmur. Lakin, analoji “pillə” NiO mikrotozunun 293K temperaturundakı differensial EPR spektrində müşahidə olunur. Müşahidə olunan “pillə”nin təbiətinin izahı klasterizasiyaya uyğun olan zərrəciklər arasında qarşılıqlı təsirin böyüməsi modeli əsasında verilmişdir. Lakin, Fe₃O₄-dən fərqli olaraq, NiFe₂O₄-də “pillə” hətta 4,1K temperaturunda da müşahidə olunur(şək 7). Qeyd edək ki, NiFe₂O₄ –ün toz nümunələrindən fərqli olaraq həcmli nümunələrinin differensial EPR spektrlərində “pillə” müşahidə olunmur. Həmçinin həcmli və nanoölçülü NiFe₂O₄-ün messbauer spektrlərinin müqayisəsi zamanı üçüncü sekstet (aşağı ifratnazik sahəli) müşahidə olunur ki, bu da nanoölçülü nümunələrdə səthdə olan Fe⁺³ ionların spinlərinin kəsilməsi ilə interpretasiya olunur. EPR spektrlərində “pillə” nin olması alınmış spektrin asimmetrik formada olmasını təsdiq edir. EPR xətlərindəki assimetriya adətən signala cavabdeh olan molekulların anizotropiyaya malik olmasını göstərir. Maqnit-konsentrasiya sistemlərində EPR xətləri cüzi enlənir və belə sistemlərdə satelit müşahidə etmək olar. Belə ki, təcrübi müşahidə olunan xətlərin g-faktoru 2, 4 və 6-ya yaxın qiymətlər ala bilər. Fe²⁺ ionlarının EPR spektrinın eni 500Gs-a çata bilər. Qalıq deformasiyanın paylanması ona gətirib çıxarır ki, $|0\rangle$ halı müxtəlif mərkəzlər üçün $|+1\rangle$ və $|-1\rangle$ hallarına nisbətən fərqli məsafələrə sürüşür. Sıfır maqnit sahəsində $|0\rangle$ halı $|\pm 1\rangle$ halından yuxarı yaxud da aşağı olacaq. EPR spektrində Fe²⁺ ionları kristallik sahənin oktaedrik simmetriyadan xaotik kənara çıxması hesabına adətən enli xətlər verir.

Oktaedrik simmetriyada təhrifin mövcud olması enli xətlərə uyğun sahənin yarı qiymətində $AM=2$ qadağan keçidinə müvafiq olan xəttin yaranmasına səbəb olur. Ni²⁺ionları hətta oktaedrik ətrafda da çox enli EPR spektrləri verir, Ni²⁺ xətlərinin eni 40G –a çata bilər. Ni²⁺ ionucüt sayda elektronlardan ibarət olduğuna və Kramers teoremi tətbiqə yararlı olmadığına görə, qalıq qəfəs

gərginliyi $|0\rangle$ halının $|+1\rangle$ və $|-1\rangle$ hallarına nisbətən fərqli məsafələrə sürüşməsinə səbəb ola bilər və beləliklə, müşahidə olunan spektrdə xətlər qeyri-bircins enlənər. Çox da böyük olmayan mübadilə sürətli müxtəlif spinlərin qarşılıqlı təsiri zamanı EPR spektri müxtəlif g-faktora malik, yaxşı ayırd edilmiş xətlərdən ibarət olur. Mübadilənin sürəti artdıqda xətlər “yığılırlar” və güclü mübadilə zamanı mübadilə daralması müşahidə olunur. Klaster effekti sayəsində $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nümunələrinin EPR spektrlərinin dəyişmələri spektrin qauss əyrilərinin cəmi formasında interpretasiya olunur. $NiFe_2O_4$ üçün nəticələrin analizi şəkl.25(a, b)-də 299.1K temperaturu üçün göstərilmişdir. $NiFe_2O_4$ -in EPR spektri dörd qauss əyrisinin cəmi ilə interpretasiya olunur. Müxtəlif temperaturlar üçün qauss əyrilərinin xarakteristikası cədvəldə verilmişdir.

Xarici maqnit sahəsinin 100-1300 Oe intervalında $NiFe_2O_4$ mikrotozlarının EPR spektrlərinin forması temperaturdan zəif asılıdır və anoloji klaster strukturuna malikdir. Şəkl. 10(a-d)-də $NiFe_2O_4$ nazik təbəqəsinin AIST-NT (Tokyo Instruments, Japan) ölçü başlıqlı SmartSPM™ atom qüvvə mikroskopu vasitəsilə əldə edilmiş $(3 \times 3) \mu^2$ səthinin 2D və 3D təsvirləri göstərilmişdir. Qeyd edək ki, AQM-da HQ:NSC36/Co-Cr/Al maqnit tipli iynənin radiusu 20nm-dir. Şəkillərdə maqnit momentinin orientasiyası üzrə istiqamətlənən və klasterlərinin ölçüləri 25nm-dən kiçik olmayan maqnit struktur daha aydın görünür

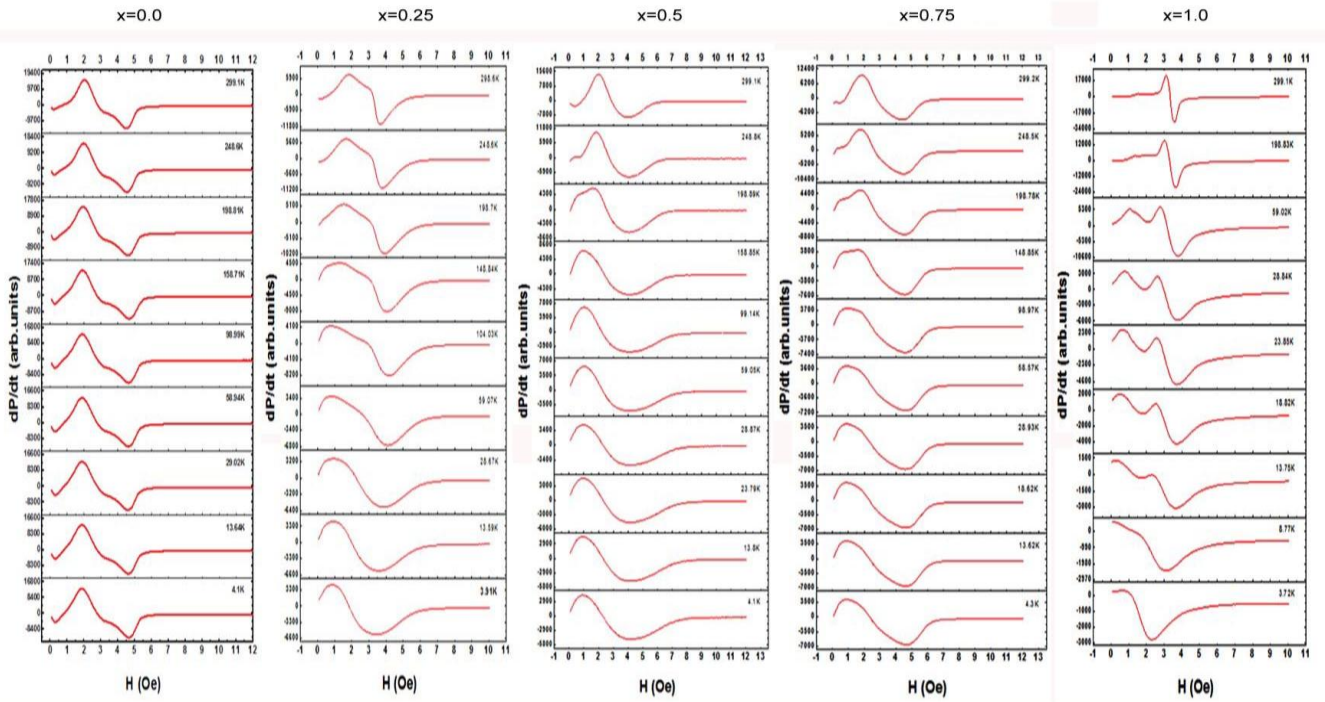
$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ (şəkl.23,24,27-30)

$Ni_{0.25}Zn_{0.75}Fe_2O_4$ ferritləri üçün iki xüsusiyyət müşahidə olunur. Bunlardan biri superparamaqnit $ZnFe_2O_4$ zərrəciklərinə, digəri isə superparamaqnit $NiFe_2O_4$ zərrəciklərinə anoloji. Qeyd edək ki, $NiFe_2O_4$ -nin konsentrasiyasının artması ilə (eyni zamanda $ZnFe_2O_4$ -nin konsentrasiyasının azalması ilə) EPR spektrlərində bu iki xüsusiyyət müşahidə olunmur (şəkl.21). Fərz etmək lazımdır ki, bərk məhlullarda $NiFe_2O_4$ zərrəciklərinin çox kiçik konsentrasiyalarında bu zərrəciklər xotik istiqamətlənir və özlərini superparamaqnit kimi aparır. “Bərk məhlullar”da $NiFe_2O_4$ konsentrasiyasının artması ilə bu zərrəciklərin nizamlı düzülüşü və uyğun olaraq ferrimaqnit strukturunun formalaşması baş verir. Yaxşı məlumdur ki, superparamaqnetizm yalnız müəyyən temperatur intervalında $T_{block} < T < T_s$ mövcud ola bilər. Burada T_{block} – bu temperaturdan yuxarı temperaturlarda superparamaqnetizm müşahidə olunmur; T_s – maqnit düzülüş temperaturu. Maqnit sahəsi kəsildikdən sonra doyma halı üçün kifayət olan yekun maqnitlənmə $M = M_s \exp(-t/\tau_s)$ qanunu ilə azalır, burada τ_s - superparamaqnit relaksasiya müddətidir.

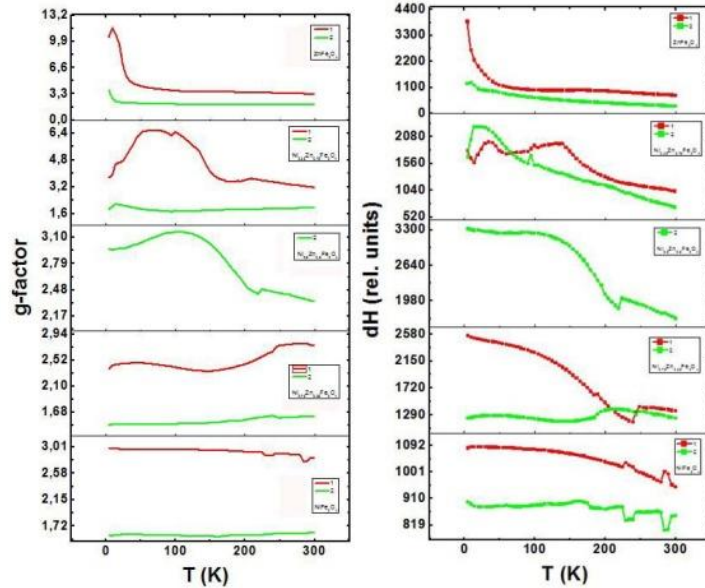
300-450K temperatur oblastında $Ni_{0.35}Zn_{0.65}Fe_2O_4$ ferritinin EPR spektrlərində qeyri-adilik müşahidə olunur. Xarici maqnit sahəsinin təsiri altında $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ bütün tərkiblərində elektromaqnit dalğasının sönməsi baş verir, bu da onlarda udma əmsalının böyüməsi ilə əlaqəlidir. Elektromaqnit dalğasının tezliyinin artması ilə ferromaqnit rezonans xətti daha güclü maqnit sahəsinə doğru sürüşür: $H||H^{YT}$ vəziyyətində rezonans xəttinin eni böyüyür; $H||H^{YT}$ vəziyyətində isə rezonans xəttinin eni kiçilir. 450K-dən yuxarı temperatur intervalında xəttin enində kiçik artım əlavə genişlənmə mexanizmi ilə bağlıdır. Sonuncu da EPR signalının enlənməsi ilə şərtlənən superparamaqnit fluktasiyanın zəifləməsinə səbəb olur. Beləliklə, EPR spektrlərinin müşahidə olunan davranışı yuxarı temperatur oblastında Ni-Zn ferritində struktur dəyişikliyi ilə bağlıdır.

$ZnFe_2O_4$

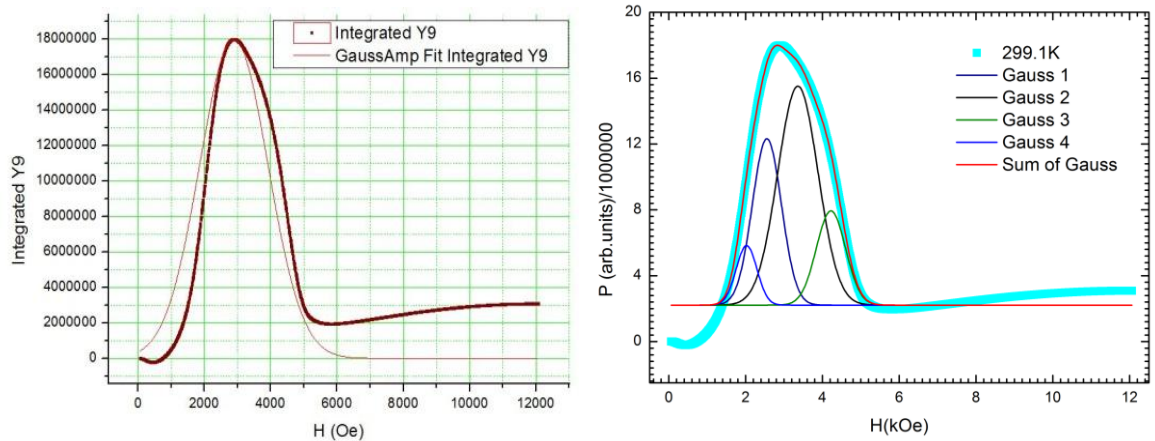
$ZnFe_2O_4$ nanohissəciklərinin EPR tədqiqatları vasitəsilə müəyyən edilmişdir ki, sink ferriti ferromaqnit xassəyə malikdir və bu ferritdə qalıq maqnitlənmənin varlığını təsdiq edən mikrodalğa udulma histerezisi yoxdur. $ZnFe_2O_4$ nanohissəcikləri klasterlər əmələ gətirmirlər. $ZnFe_2O_4$ mikrotozlarının aşağı temperatur oblastında (~13K) EPR spektrlərinin analizi bu mikrotozların spektrlərində xüsusiyyətin olduğunu göstərdi və müşahidə olunan bu xarakter Messbauer effekti təcrübələrindən də aşkar edilmişdir (şəkl.23,24). Dənəciklərinin ölçüsü ~10nm olan $ZnFe_2O_4$ nanotozlarının maqnit qavrayıcılığının ZFC və FC əyriləri superparamaqnit əyrilərinə xarakterikdir



Şək.23 300K-dən aşağı temperaturalarda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0,0.25,0.5,0.75,1$)-nin EPR spektrləri

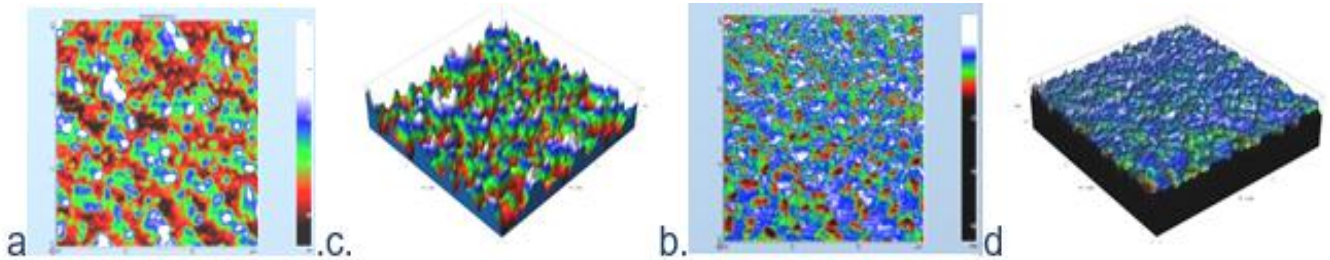


Şək.24 $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0,0.25,0.5,0.75,1$) ferritlərinin g-faktor və dH-in temperaturdan asılılığı

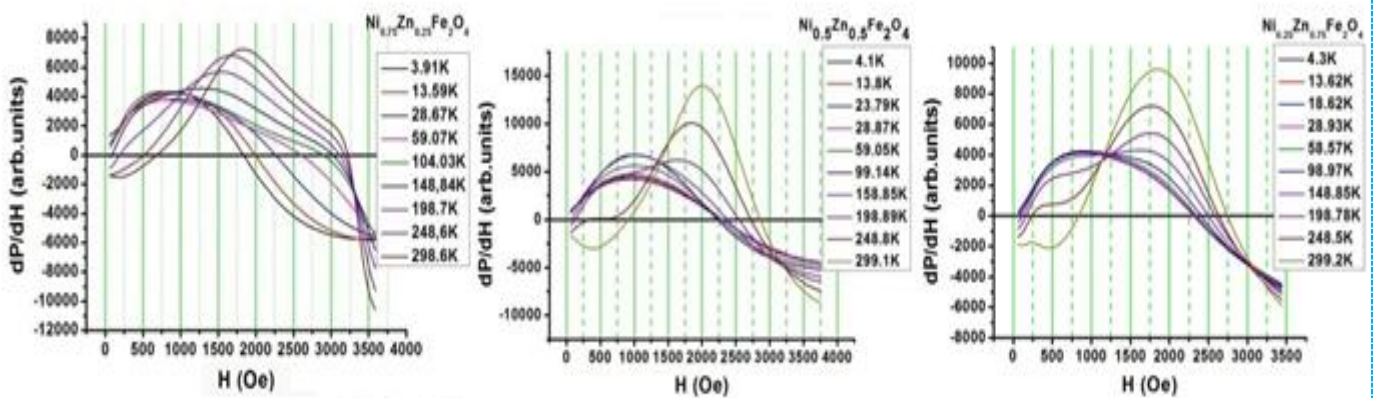


Şək.25. $NiFe_2O_4$ -nin EPR spektrinin Gauss əyriləri ilə müqayisəsi (a); $NiFe_2O_4$ -nin EPR spektrinin Gauss əyriələrinin cəmi ilə təsviri (b)

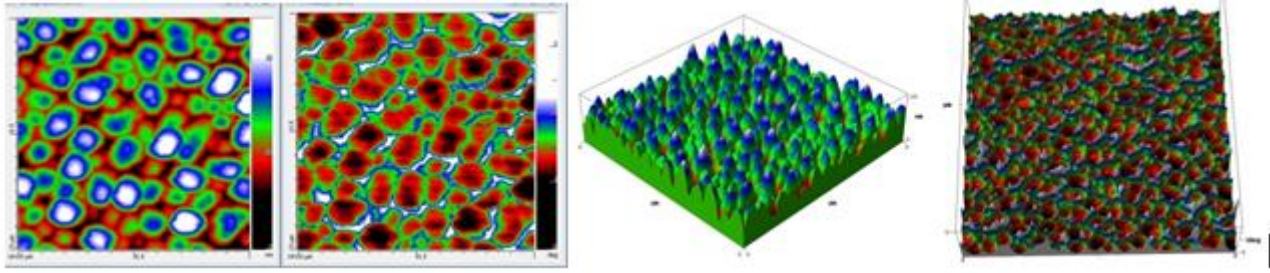
Area	Center, Oe	Width, Oe	Height	Area	Center, Oe	Width, Oe	Height
T=299,1K				T=58,94K			
2,45371E9	2024,36654	541,98767	3,61222E6	2,36112E9	2024,6907	469,81918	4,00985E6
9,58686E9	2552,98769	757,08091	1,01036E7	7,71823E9	2540,86741	708,39372	8,69327E6
1,75203E10	3360,2629	1051,26813	1,32974E7	5,56584E10	3347,61471	042,88364	1,19798E7
5,43605E9	221,24774	757,83435	5,72334E6	5,60956E9	4270,88321	777,45506	5,75697E6
T=248,6K				T=29,02K			
2,33429E9	2049,99332	469,63276	3,96586E6	2,26806E9	2014,35387	463,22802	3,90661E6
8,06606E9	2547,94997	693,12324	9,2852E6	7,49255E9	2524,40406	700,04992	8,53966E6
1,61458E10	3316,06004	1006,50893	1,27992E7	5,55182E10	3317,49335	030,55057	1,20147E7
6,11207E9	2203,62638	772,70579	6,31124E6	5,74956E9	4239,56477	781,36232	5,87114E6
T=198,81K				T=13,64K			
2,39848E9	2061,16031	462,60322	4,13684E6	2,39014E9	2019,76502	472,51381	4,03598E6
7,88965E9	2562,50803	692,49442	9,09037E6	7,80614E9	2539,59264	712,86773	8,7371E6
1,578E10	3345,47293	1017,56818	1,23733E7	1,5783E10	3353,48347	048,18652	1,20141E7
6,02016E9	2252,02996	780,00978	6,15812E6	5,44327E9	4274,69608	767,98051	5,65522E6
T=158,71K				T=4,1K			
2,53023E9	2052,57636	475,97978	4,24142E6	2,55287E9	2016,63563	487,70147	4,17652E6
8,14227E9	2569,48825	713,48839	9,10539E6	8,36977E9	2550,57419	732,74258	9,11385E6
1,61402E10	3388,2475	1055,40065	1,2202E7	5,65123E10	3391,81698	070,31987	1,23093E7
6,18678E9	2323,94801	805,47943	6,12844E6	5,31352E9	4311,15956	758,13268	5,59213E6
T=98,99K							
2,39876E9	2035,90597	469,4725	4,07677E6				
7,80996E9	2550,96458	707,48229	8,80792E6				
1,57059E10	3358,29861	1042,57296	1,20198E7				
5,67583E9	2281,53889	779,4778	5,80986E6				



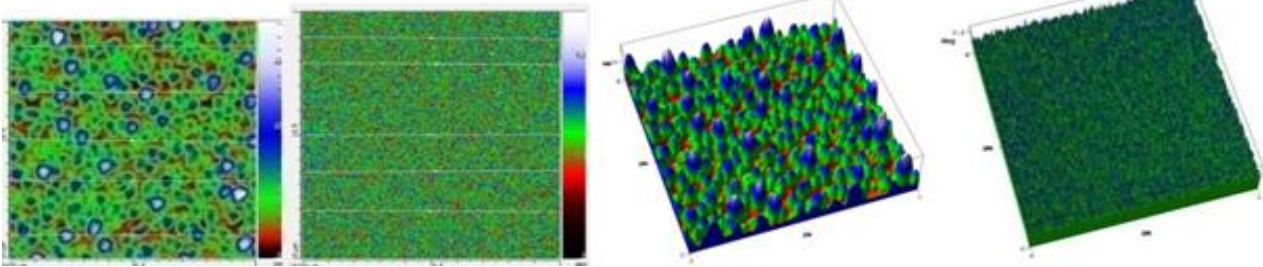
Şək.26 AIST-NT ölçü başlıqlı AFM SmartSPM™-da əldə edilmiş NiFe₂O₄ nazik təbəqəsinin (3x3) μ^2 səthinin 2D- və 3D- təsvirləri: a-b-2D;c-d -3D topoqrafiya və fazanın təsvirləri



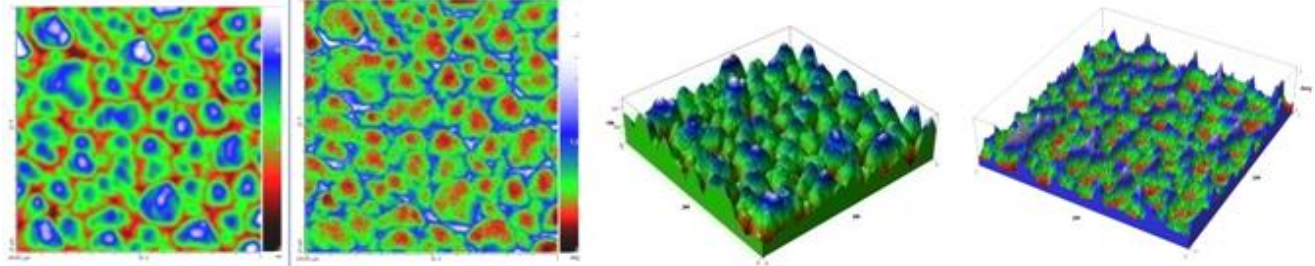
Şək.27 Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄ (x=0.25; 0.5; 0.75) tərkibli ferritlərin EPR spektrlərinin temperatur asılılıqları



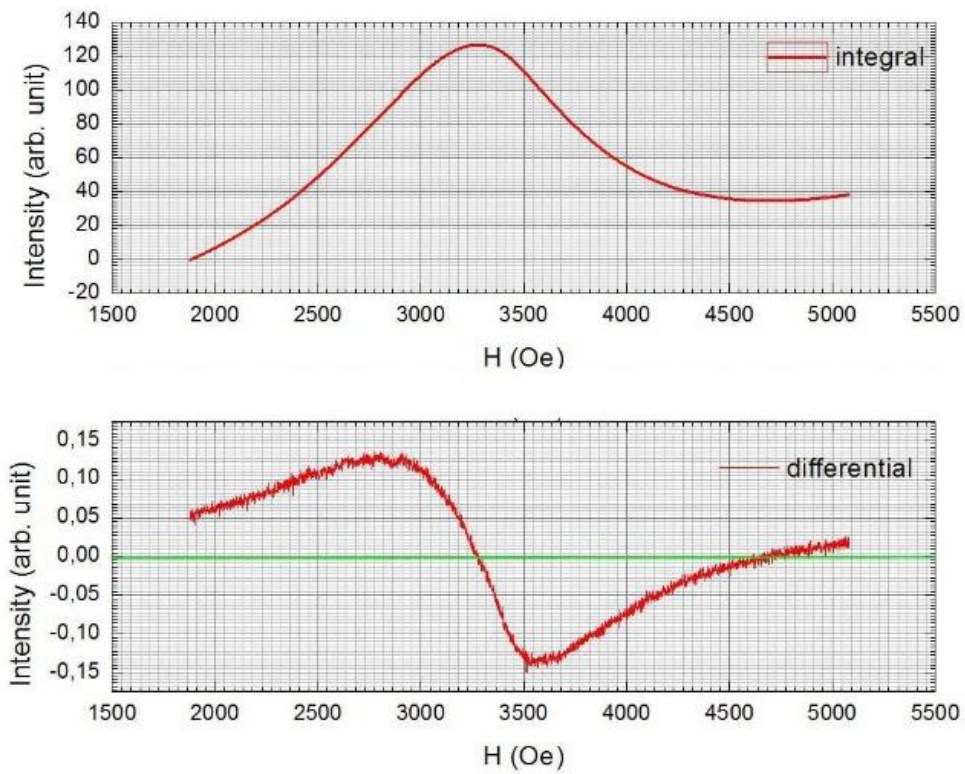
Şək.28 $\text{Ni}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nazik təbəqəsinin $(2 \times 2)\mu^2$ səthinin 2D(a,b)- və 3D(c,d)-təsvirləri



Şək.29 $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nazik təbəqəsinin $(1 \times 1)\mu^2$ səthinin 2D(a,b)- və 3D(c,d)-təsvirləri



Şək.30 $\text{Ni}_{0.25}\text{Zn}_{0.75}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nazik təbəqəsinin $(2 \times 2)\mu^2$ səthinin 2D(a,b)- və 3D(c,d)-təsvirləri



$$g = 0.0715 \cdot f(\text{MHz}) / H(\text{mT})$$

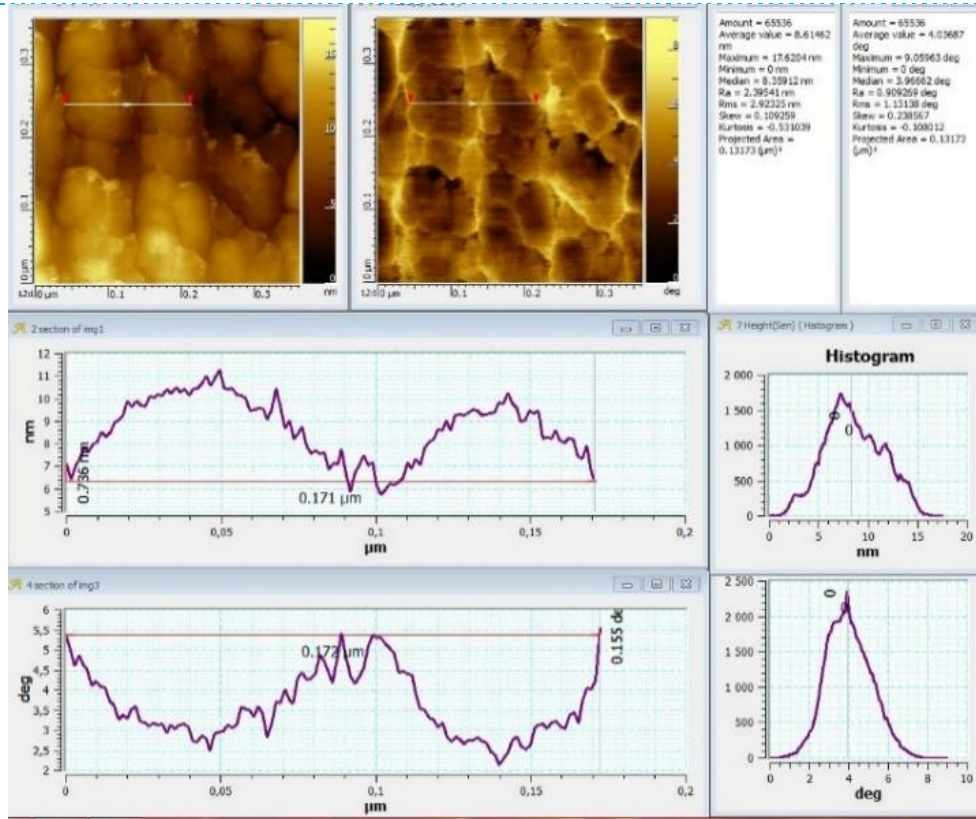
$$H = 327,323077 \text{ mT}$$

$$f = 9500 \text{ MHz}$$

$$g = 2.07516$$

SmS
30.04.2014

Şək.31 Yarımkəçirici fazada SmS –in EPR spektri, $T = 300\text{K}$



Şək.32

Şək.32-dən görüldüyü kimi, temperaturun artması ilə maksimumların hərəkət sürəti fərqli olur. $T \geq 15\text{K}$ temperaturunda güclü maksimumun vəziyyəti praktiki olaraq dəyişmir. Digər tərəfdən, yaranan maksimum yerini sürətlə dəyişir, eyni zamanda isə onun intensivliyi belə sürətlə də azalır.

Xarici maqnit sahəsində isə belə hissəciklər hətta Küri nöqtəsindən aşağı temperaturlarda da özlərini paramaqnit kimi aparırlar. ZFC və FC rejimlərində və xarici maqnit sahəsinin 100Oe qiymətində maqnitlənmənin temperatur asılılığından 5-15nm ölçülü zərrəciklər üçün $T_{\text{block}} = 65 \pm 2\text{K}$ və $T_s \approx 90\text{K}$ temperaturları, $10^{-9} - 10^{-12}$ san relaksasiya müddəti, $k_{\text{eff}} = 46 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$; $M_0 = 62.5 \text{ emu} \cdot \text{g}^{-1}$; $\mu_{\text{eff}} = 1.7 \times 10^4 \mu_B$ daimi anizotropiyanın qiymətləri təyin olunmuşdur. Şək.23-də ZnFe_2O_4 -də EPR spektrlərinin temperaturdan asılı olaraq dəyişmə dinamikası göstərilmişdir. Maksimumlarının vəziyyəti temperaturun azalması ilə dəyişir, belə ki, $T=3.7\text{K}$ -də müşahidə olunan birinci maksimum yox olur.

İfratyüksək tezliklər: SmS-in EPR spektri

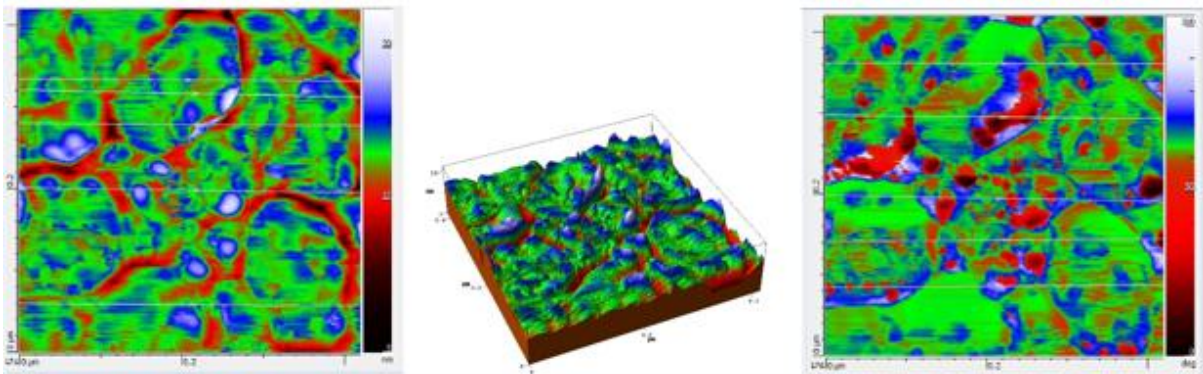
300K temperaturda yarımkəçirici fazada samarium monosulfid mikrotozunun EPR tədqiqatının nəticələri şək.31-də göstərilmişdir. Tozlarda ölçülərə görə zərrəciklərin paylanma maksimumlarına əsasən SmS mikrotozun dənəciklərinin ölçüsü 20nm tərtibindədir. EPR spektrləri ELEXSYS E500 Bruker (Germany) spektrometrində tədqiq olunmuşdur. SmS üçün g faktorun qiyməti 2.07516-ə bərabərdir ki, bu qiymət də sərbəst elektronun g-faktorunun qiymətinə uyğundur. Qeyd edək ki, yarımkəçirici fazada samarium Sm^{2+} halında olur, belə ki, onun f-elektronları keçirici zonadan 5meV uzaqlıqda yerləşən ensiz zona əmələ gətirir. Koherent səpilmə oblastlarının ölçülərinin kiçilməsi nəticəsində ştrixlər oblastında, stabil metal fazanın yaranması və uyğun olaraq paramaqnit hissəciklərinin sayının azalması yaxud sərbəst elektronların konsentrasiyasının ani artması nəticəsində EPR signalının zəifləməsi ilə Sm^{2+} -nin Sm^{3+} halına keçir. Co-Cr iynə ucluğu ilə aparılmış MQM tədqiqatlarının təsvir olunduğu şək.32-də əks fazada olan nanoqalınlıqlı SmS təbəqəsinin səthində çəkilməmiş ştrixlərin adi və maqnit profillərini görmək olar. Klasterlərin ölçüsü 9nm tərtibindədir.

VI. Yaradılan nanoelementlərin statik, aşağı-, yüksək- və ifratyüksək tezlikli maqnit xəssələri

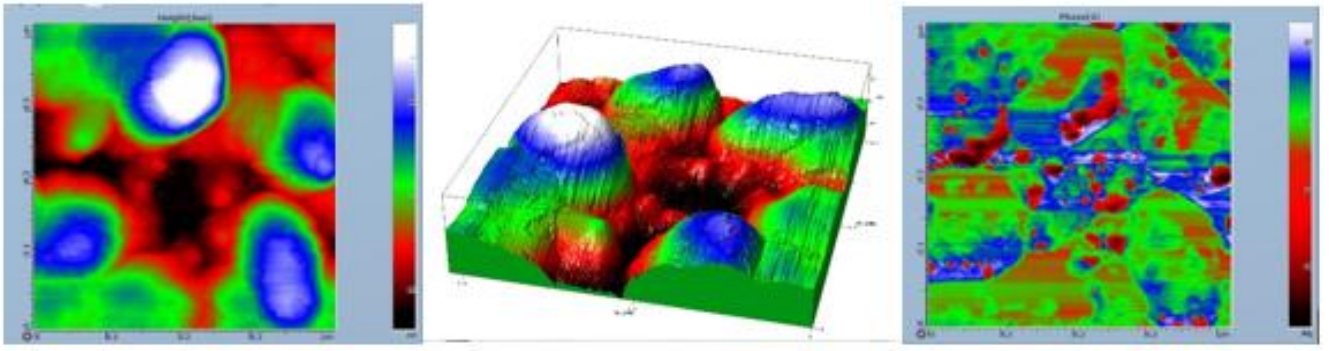
(Ni,Zn) FERRİTLƏRİNİN EPR SPEKTRLƏRİ

Şəkil 33,34-də maqnit kontrastlı bircins maqnitlənmə üçün xarakterik olan zərrəciklər və spontan maqnitlənmə nəticəsində maqnit momentinin müxtəlif orientasiyaları aydın görünür və bu da onların birdomenli hesab olunmasına əsas verir. Digər tərəfdən, şəkil 35-də $NiFe_2O_4$ nazik təbəqəsində maqnit domeni və bu domendə maqnit sahəsinin paylanmasının incə strukturunun və mürəkkəbliyinin tədqiqinə imkan verən XY müstəvisindəki qradient xətlərinin ətraflı təsviri verilmişdir. Maqnit sahəsinin paylanmasının analizi göstərdi ki, domen XY müstəvisinə perpendikulyar istiqamətlənir və iki struktur vahiddən ibarət olur. Belə ki, domen ya uzunsov, ya da silindrik formada olur. Qeyd edək ki, silindrik maqnit domenlərinin əmələ gəlməsi aşağıdakı şərtlərlə bağlıdır: təbəqənin qalınlığı bir neçə mikrondan kiçik olmalıdır və kristalloqrafik maqnit anizotropiya sahəsi öz-özünə maqnitlənmədən böyük olmalıdır, belə ki, yumşaq maqnitlənmə oxu səth müstəvisinə perpendikulyar olur. XY müstəvisində domen ölçüsünün $\sim 100\text{nm}$ olduğu MFM tədqiqatları ilə müəyyənlanmışdır. Çünki $NiFe_2O_4$ -də təbəqənin səthindən “yuxarı” istiqamətdə (spinin istiqaməti $CoCr$ iynəsində spinin istiqaməti ilə təyin olunur) yüksək maqnit cavablanma qeyd olunduğundan, onu altqəfəsin təsiri ilə interpretasiya etmək olar. Müvafiq olaraq səthin müstəvisində “aşağı” orientasiya “zəif” altqəfəsin spininə uyğundur. Səthin topoqrafiyası və uğun maqnit təsvirlərin müqayisəsi göstərir ki, bircins maqnitlənmə üçün xarakterik olan maqnit kontrast bütün zərrəciklər üçün, xüsusən də diametrin uzunluğa nisbəti 1:2 olan və diametrləri 150nm-dən böyük zərrəciklər üçün aşkar olunmur. Belə zərrəciklərin maqnit kontrastı daha zəifdir və daha mürəkkəb quruluşa malikdirlər. Aydın ki, belə zərrəciklər birdomenli deyil və maqnitlənməsi bircins olmur. Onların maqnit təsvirlərində domen divarlar nəzərə çarpmır. Güman etmək olar ki, iri zərrəciklər birdomenli və çoxdomenli hal arasında aralıq mövqedə yerləşir. Kompyuter modelləşməsi göstərdi ki, hər bir fraqmentin maqnitlənmə lokal vektoru konsentrik dairələrə toxunan üzrə istiqamətləndikdə burulğanlı maqnitlənməmiş iri zərrəciklərin maqnit sahəsinin qradientinin maksimal qiyməti birdomenli zərrəciklərinkindən bir neçə dəfə kiçikdir. Beləliklə, zərrəciklərdə burulğanlı maqnitlənmə sayəsində onun zondla maqnit qarşılıqlı təsirinin qiyməti kifayət qədər aşağı düşəcək. Şəkil 36-ə nazik təbəqələrdə XY müstəvisində maqnit sahəsinin qradient xətlərinin təsvirləri ətraflı göstərilmişdir: a. $Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$; b. $Ni_{0.25}Zn_{0.75}Fe_2O_4$; c. $NiFe_2O_4$. Maqnit sahəsinin strukturu və $Ni.Zn.Fe.O$ təbəqələrinin tərkibinin dəyişməsilə bu strukturun da dəyişməsi bir-birinə əks istiqamətlənmiş spinə malik iki maqnit qəfəsinin mövcud olması nəticəsini çıxarmağa səbəb oldu. Təbəqənin tərkibindən asılı olaraq hər bir alt qəfəsin maqnit sahəsinin qiyməti dəyişir və beləliklə, Messbauer, EPR və digər təcrübələrdə müşahidə olunduğu kimi yekun spinin istiqamətinin dəyişməsi aydın olur.

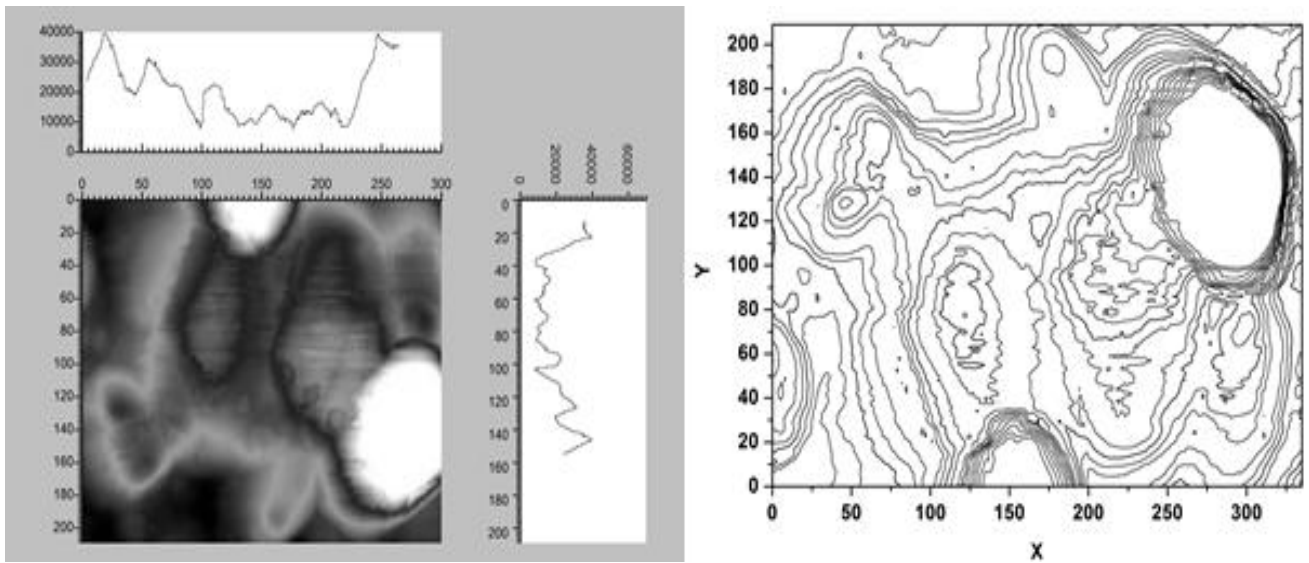
$NiFe_2O_4$



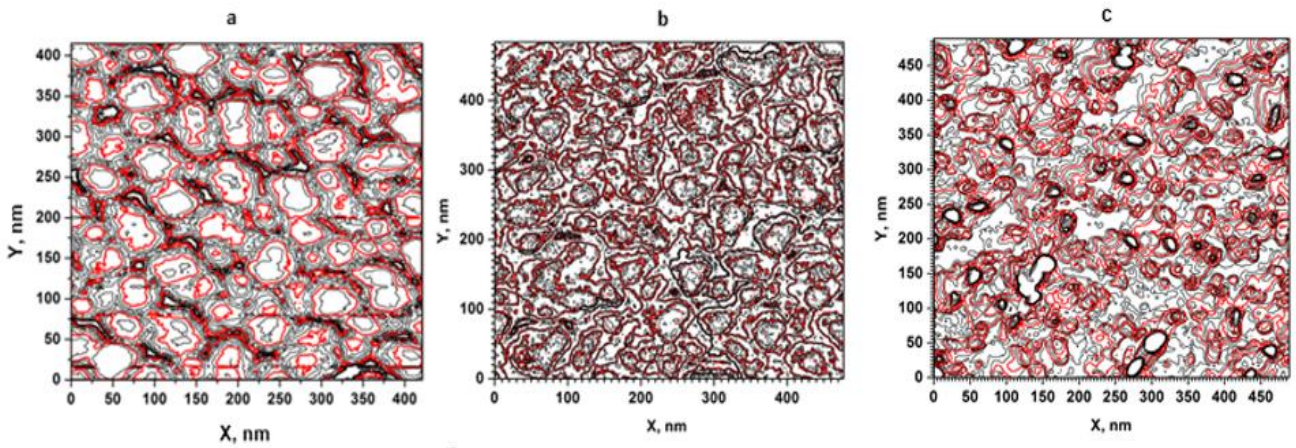
Şək.33. 300nm x 300nm ölçülü təbəqənin səthinin 2Dvə 3D topoqrafiyası və maqnit faza profili



Şək. 34 Səthin topoqrafiyasının fraqmentinin 2D və 3D strukturu və maqnit faza profili



Şək.35. $NiFe_2O_4$ nazik təbəqəsində maqnit domeni



Şək.36 Nazik təbəqələrdə maqnit domenləri: a. $Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$; b. $Ni_{0.25}Zn_{0.75}Fe_2O_4$; c. $NiFe_2O_4$

Qarışıq sistemlərdə qeyri-bircins maqnit tipli spinlərin kiçik mübadilə sürətli qarşılıqlı təsiri zamanı spektrin adətən müxtəlif qiymətli g faktorlara malik ayrı-ayrı əyrilərdən ibarət olmasını nəzərə alaraq [7], $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin bütün tərkibləri üçün EPR spektrlərinin təhrifi gauss əyrilərinin cəmi kimi interpretasiya olunmuşdur. Qeyd edək ki, spektrin gauss komponentləri ilə təsviri bir neçə əyrini qapayan yekun EPR spektrini verir. Bizim halda, hər bir konkret temperatur üçün spektr iki qaus komponentlərinin cəmi kimi təsvir edilmişdir. Əlbəttə, ümumi

spektiri iki asılı olmayan xətlərin cəmi şəklində göstərmək düzgün deyil. Lakin təklif olunan aproksimasiya kifayət qədər uğurlu alındı. Xüsusilə də, $ZnFe_2O_4$ mikrotozları üçün iki qauss əyrisinin cəmi vaitəsilə hesablanan əyriyə yaxınlaşmasında ortakvadratik xətanın kvadratkökünün hesablanan əyrinin yayılmasına nisbəti bütün temperatur diapazonunda 0.2%-dən böyük olmur. Qauss əyrilərinin sayının artması nümunələrin tədqiq olunduğu temperaturlarda xüsusilə müxtəlif ölçülü paramaqnit hissəciklərin iştirakı zamanı $NiFe_2O_4$ -ün EPR spektrlərinin formalaşmasının baş verdiyi ehtimalını gücləndirir.

EPR spektrləri ORIGINPRO proqramı vasitəsilə işlənmişdir. Şəkil 37-də göstərilmiş g-faktorun temperatur asılılığı cədvəl 3-də verilmişdir. Həmçinin şəkil 37-də ferrit mikrotozlarının hesablanmış spin konsentrasiyaları göstərilmişdir: burada 1– birinci qauss komponenti üçün; 2- ikinci qauss komponenti üçün spin konsentrasiyası; 3- isə spin konsentrasiyalarının fərqidir. Əgər bu temperaturda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ tərkibləri üçün g- faktorunun inteqral qiymətini hesablasaq, alınmış nəticələr dərc olunmuş otaq temperaturundakı nəticələrlə uyğun gəlir. $NiFe_2O_4$ -ün EPR spektrinin əsas maksimumunun g-faktorunun qiyməti təxminən 2.975, əksmaksimumun qiymətinin isə 1.583 olması barədə əvvəllər məlumat olub. Maqnit sahəsinin $H=2886.9Oe$ qiymətində maksimuma malik olan EPR spektrinin g-faktorunun qiyməti 2.0159-a bərabərdir ([8] işində- 2.11, [9] işində - 2.21 – 2.43 intervalında dəyişir). $NiFe_2O_4$ üçün g-faktorun əldə olunmuş qiymətinin 2.0023 (yəni sərbəst elektronun) qiymətinə yaxınlığı yəqin ki, güclü delokalizə molekulyar orbitin olmasını göstərir.

g-faktorun qiyməti ilə sərbəst elektronun g-faktorunun qiyməti arasında fərqin böyük olması isə kristal qəfəsində olan cütləşməmiş elektronun ionla əlaqəsini təsdiq edir. Yəni qəfəsin strukturu sayəsində cütləşməmiş elektronun hərəkəti güclü daxili elektrik və maqnit sahələrində baş verir. Bu sahələr atomun orbital momentinə də təsir edirlər və onun enerjisini kifayət qədər dəyişə bilirlər. Bununla hesablamalardan alınmış g-faktorun qiymətinin böyük olması izah olunur.

Bu hesablamalardan belə nəticəyə gəlmək olar ki, antiferromaqnit (yaxud ferrimaqnit) komponentlər $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ strukturuna təsir etdiyi kimi, eləcə də ferritin tərkibinin dəyişməsi hər bir qauss komponentlərinin g-faktorlarının qiymətlərinə kifayət qədər təsir edir.

$ZnFe_2O_4$ -də 300K- 149K temperatur intervalında ikinci qauss əyrisinin g-faktorunun qiyməti çox cüzi, yəni 2.03257 – 2.04828 aralığında dəyişir. 129K-dən 13.5 K-ə qədər temperatur intervalında isə g-faktor qiymətini sürətlə, yəni 2.05725-dən 2.20061-ə qədər dəyişir. 13.5K – 3.7 K temperatur intervalında g-faktorun qiymətinin 2.20061-dən 5.86137-ə kəskin artması müşahidə olunur. Elə bu intervallarda birinci qauss əyrisinin g-faktoru ikinci qauss əyrisinin g-faktorundan çox fərqlənmir. Hər ikisinin g-faktoru 3.7K temperaturunda eyni 5.86137 qiymətini alır. Yəqin ki, bu asılılıqların izahı $ZnFe_2O_4$ üçün müəyyən edilmiş supermaqnit effekti ilə bağlıdır.

$Ni_{0.25}Zn_{0.75}Fe_2O_4$ -də qauss əyrilərinin g-faktorlarının dəyişməsi oktaedrik pozisiyalarda Ni^{2+} ionunun meydana çıxması ilə bağlıdır. Belə ki, ikinci qauss komponentinin g-faktoru kəskin şəkildə artaraq bu tərkibin qəfəsində cütləşməmiş elektronların sayının artması ilə özünü biruzə verir. Eyni zamanda sərbəst elektronun mövcudluğunu xarakterizə edən birinci qauss komponentinin g-faktoru isə cüzi dəyişir. $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ tərkibində isə oktaedrik pozisiyalarda Ni^{2+} ionlarının artması vəziyyəti yenidən dəyişir, ikinci qauss komponentinin g-faktoru sərbəst elektronun mövcudluğunu, birinci qauss komponentinin g-faktoru isə cütləşməmiş elektronların sayını əks etdirir. Sonrakı dəyişiklik isə spin konsentrasiyası nöqtəyi baxımından daha yaxşı şərh edilir.

Əgər fərz etsək ki, qauss komponentləri müəyyən dərəcədə altqəfəslərin (1-tetraedrik, 2-oktaedrik) spin vəziyyətlərini əks etdirir, onda $x(Ni) = 0.5$ və 0.75 konsentrasiyalarında $ZnFe_2O_4$ antiferromaqnit komponentinin azalması kompensasiya nöqtələrinin mövcudluğunu göstərir (şək.37): $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ üçün ~180K və ~250K temperaturlarında; $Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ üçün ~120K və ~290K temperaturlarında. Bu intervallara uyğun olaraq altqəfəsdə spinlərin istiqamətləri dəyişir.

Qeyd etmək maraqlıdır ki, məhz bu tərkiblərin Raman spektrlərinin intensivlik maksimumlarında “anomalialar” müşahidə olunur.

	ZnFe ₂ O ₄			Ni _{0.25} Zn _{0.75} Fe ₂ O ₄			Ni _{0.5} Zn _{0.5} Fe ₂ O ₄			Ni _{0.75} Zn _{0.25} Fe ₂ O ₄			NiFe ₂ O ₄		
	T, K	1	2	T, K	1	2	T, K	1	2	T, K	1	2	T, K	1	2
1.	289	2,18387	2,03257	299	2,1727	3,44877	299	2,69355	1,96753	299	2,83016	1,87783	299	2,54589	1,75328
2.	278,8	2,19321	2,03336	248	2,15317	3,61258	284	2,73856	1,96758	274	2,6856	1,73742	274	2,54605	1,73831
3.	268,9	2,19963	2,03426	209	2,15338	3,61056	249	2,72392	1,8347	248	2,54283	1,62687	248	2,56228	1,74529
4.	258,9	2,20281	2,0349	199	2,1101	3,7982	199	2,8745	1,77454	238	2,52402	1,63673	234	2,54234	1,73539
5.	238,8	2,20972	2,03598	173	2,09391	3,91096	159	3,61114	2,09445	219	2,52068	1,61606	218	2,56744	1,72495
6.	228,8	2,22048	2,0376	159	2,08278	3,94596	124	3,65964	2,07999	199	2,58938	1,62933	199	2,57546	1,73337
7.	218,8	2,22247	2,03787	149	2,09802	4,06965	109	3,64599	2,0641	184	2,73183	1,70069	184	2,58101	1,73209
8.	208,9	2,2558	2,04163	139	2,10134	4,19404	99	3,61864	2,05164	169	2,81204	1,71962	174	2,59718	1,7274
9.	198,83	2,26565	2,04263	129	2,08205	4,09906	79	3,56945	2,02852	149	2,87478	1,72486	159	2,59557	1,71884
10.	188,84	2,27742	2,04383	119	2,09249	4,18968	69	3,54943	2,01604	134	3,10711	1,80429	134	2,59642	1,72425
11.	178,85	2,28838	2,0446	104	2,10076	4,31149	59	3,52468	2,00562	119	3,29024	1,86006	119	2,60362	1,7288
12.	168,8	2,31568	2,04681	94	2,02018	4,08889	44	3,51384	1,99883	99	3,53409	1,94413	99	2,60722	1,73625
13.	158,84	2,31739	2,04663	84	2,11883	4,37501	39	3,50155	1,99767	89	3,49857	1,91585	74	2,61072	1,74093
14.	148,91	2,34409	2,04828	73	2,16142	4,5085	29	3,51273	1,99778	79	3,49802	1,9074	59	2,59929	1,73388
15.	138,93	2,30451	2,04405	64	2,20407	4,59899	23	3,54899	2,0036	69	3,65859	1,97807	49	2,58841	1,73119
16.	129,01	2,3935	2,05725	59	2,24814	4,7125	14	3,55719	2,01419	58	3,64568	1,96076	29	2,5994	1,73928
17.	119,04	2,4932	2,06851	53	2,27142	4,68408	4	3,59532	2,01913	49	3,70079	1,98341	13	2,61292	1,74009
18.	109,22	2,56927	2,07664	44	2,33664	4,6616				39	3,68113	1,96722	4	2,61619	1,73684
19.	99,21	2,35881	2,04589	34	2,34904	4,34007				28	3,70037	1,97301			
20.	89,2	2,51157	2,06676	28	2,35418	4,22244				18	3,67358	1,95658			
21.	79,24	2,62893	2,07862	23	2,34747	4,1398				14	1,21573	1,92353			
22.	69,21	2,68103	2,06594	13	2,42172	4,20013				4	1,26373	1,91957			
23.	59,02	2,46643	2,05743	4	2,50737	4,36592									
24.	49,05	2,52871	2,06424												
25.	39,17	2,61578	2,0789												
26.	28,84	2,72255	2,09904												
27.	23,85	2,89457	2,11464												
28.	18,82	3,15849	2,13091												
29.	13,75	3,50253	2,20061												
30.	8,7	4,92038	3,17235												
31.	3,7	5,86137	5,86137												

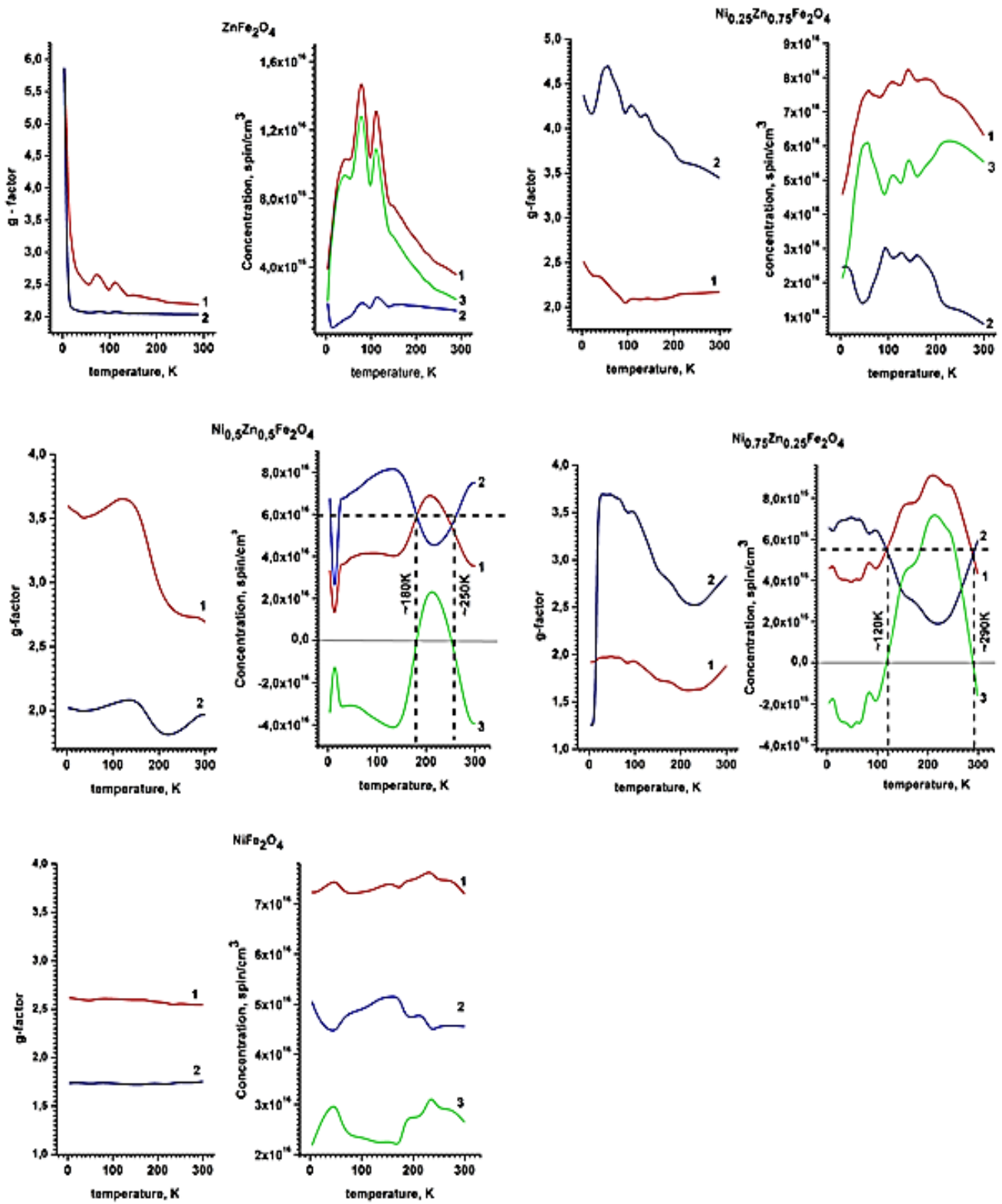
Digər tərəfdən spinlərin istiqamətlərinin dəyişmə effektinin müşahidə olunduğu temperatur intervalında tərkibdən asılı olaraq nəinki qiyməti, həmçinin istiqaməti də dəyişir və bu Raman tədqiqatlarının nəticələri ilə də təsdiq olunur. $NiFe_2O_4$ –nin qaus əyrisinin g-faktoru təcrübi olaraq temperaturdan asılı olmur. Lakin birinci qaus komponentinin g-faktorunun qiyməti sərbəst elektronun g-faktorunun qiymətindən kiçik olur. Qeyd edək ki, H_{xar} xarici maqnit sahəsi impulsun əlavə maqnit momentini induksiya edir, elektronun orbital hərəkəti isə öz növbəsində tətbiq sahəsinə əks istiqamətə yönəlmiş H_{induk} maqnit sahəsini yaradır. Beləliklə, elektron spini $H_{lok} = H_{xarici} - H_{induk}$ bərabər olan lokal maqnit sahəsində yerləşir. İnduksiya sahəsi nə qədər böyük olsa, g-faktor və spinlərin yerləşdiyi lokal maqnit sahəsi bir o qədər kiçik olar. Rezonans şərtinin alınması üçün H_{xarici} xarici maqnit sahəsi böyük olmalıdır. Bu sərbəst elektronun g-faktorunun spin qiymətindən əks istiqamətə sürüşməyə uyğundur. Və əksinə, spin sistemində lokal sahə artsa, yəni, böyük g-faktorunun qiyməti xalis spin qiymətindən böyük olarsa, rezonans H_{xarici} sahənin daha kiçik qiymətlərində baş verir. Bu g-faktorun müsbət meyl etməsinə uyğundur.

Şəkil 38-də $NiFe_2O_4$, $Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ və $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ nümunələri üçün induksiya sahəsinin g-faktorunun temperatur asılılığı göstərilmişdir. İnduksiya sahəsinin temperatur ossilyasiyası, ferrit tərkibindən asılı periodlar şəkildə yaxşı görünür. Tədqiq olunmuş digər tərkiblərdə isə temperatur ossilyasiyası müşahidə olunmamışdır. İnduksiya sahəsinin temperatur ossilyasiyasının parametrlərini təyin etmək məqsədilə $NiFe_2O_4$ nümunəsinin Şəkil 38,a-da göstərilmiş spektrin işlənmiş variantı şəkil 3.24,b-də göstərilmişdir. $NiFe_2O_4$ üçün ossilyasiya maksimumları bu temperaturlarda yerləşir: 274K, 218K, 159K və 49K; periodları: 56K, 59K və 110K; xətlərin eni: 65K, 65K, 100K və 95K. $Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ üçün maksimumların yerləşməsi: 248K, 219K, 150K, 79K, 58K, 39K; periodları: 29K, 69K, 71K, 21K, 19K. $Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ üçün 199K –də yalnız bir ossilyasiya müşahidə olunur.

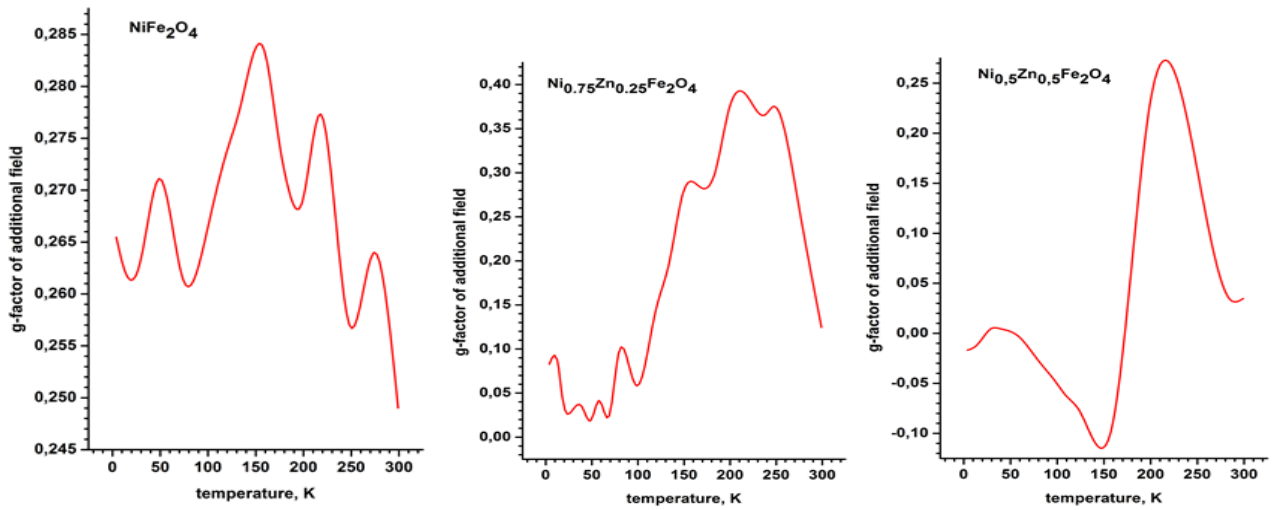
Fiziki olaraq, belə ossilyasiya H_{induk} sahəsinin maqnit strukturunun dəyişməsi, məsələn, maqnit domenlərinin ölçülərinin dəyişməsi hesabına baş verir.

Şəkil 39-də ferritlərin bütün tərkibləri üçün spektral xətlərin yarıməninin temperatur asılılığı

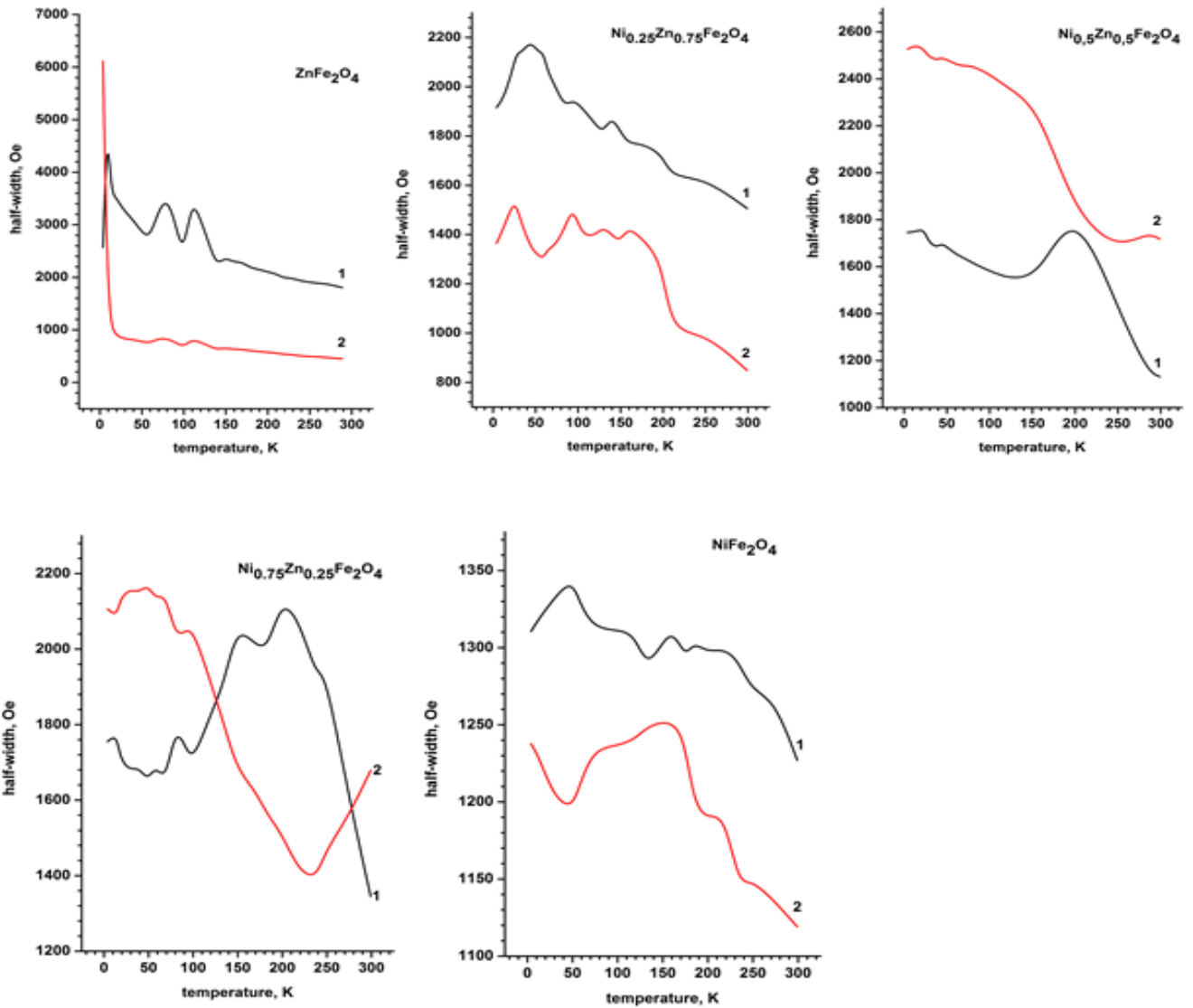
göstərilmişdir.1– birinci qauss komponenti üçün,2–ikinci qauss komponenti üçündür. Qeyd edək ki, xəttin eni cütləşməmiş elektronlar tərəfindən tutulmuş energetik səviyyələrin səpələnəsi vasitəsilə bilavasitə təyin olunur. Beləliklə, cütləşməmiş elektronları və həmçinin onların enerjisinin “paylanması” səbəbini öyrənmək üçün imkan yaranır.



Şək.37 $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=1; 0.75; 0.5; 0.25; 0$) mikrotozları üçün g-faktorun və spin konsentrasiyanın temperatur asılılığı. 1–birinci qauss komponenti üçün; 2- ikinci qauss komponenti üçün; 3 – spin konsentrasiyalarının fərqi



Şək.38 NiFe_2O_4 , $\text{Ni}_{0.75}\text{Zn}_{0.25}\text{Fe}_2\text{O}_4$ və $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ferritlərində induksiya sahəsinin g-faktorunun temperatur asılılığı



Şək. 39 $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x=1; 0.75; 0.5; 0.25; 0$) mikrotozları üçün spektral xətlərinin yarımeninin temperatur asılılığı $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$. 1–birinci Gauss komponenti üçün; 2- ikinci Gauss komponenti üçün

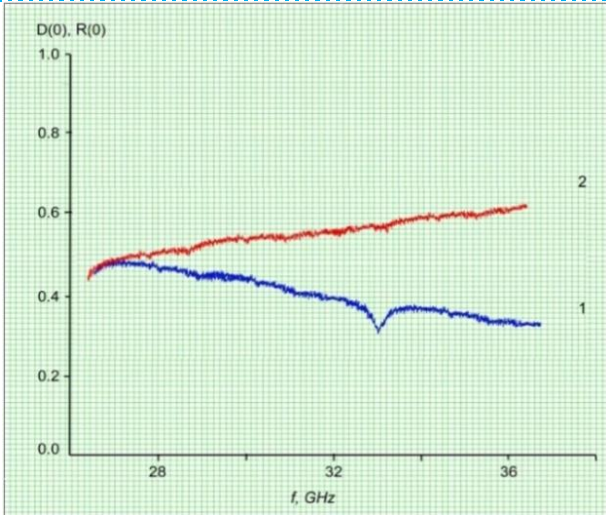
(Ni,Zn) ferritlərinin FMR spektrləri

Maqnit nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin tezlik asılılıqlarının və 0.3 ÷ 1300MHz tezlik diapazonunda nümunələrdən əks olunma əmsalı, siqnal emalı və registrasiyasının kompüter sistemi ilə bağlı olan kompleks ötürmə əmsallarının ölçmə sistemi vasitəsilə aparılmışdır. Metal lövhə üzərinə yerləşdirilmiş nümunə buraxma və əks olunma ölçü rejimlərində koaksial ölçmə traktına uyğunlaşdırılmış ölçü qutusuna qoyulur. Trakt TE, TM və TEM mod dalğalarının yayılmasını təmin edir. Zəif siqnalın faza və amplitud ölçmələrinin doğruluğu tezlik diapazonuna uyğun etalon yüklər və fiksə olunmuş attenyuator dəstinin işə salınması ilə təsdiq olunmuşdur. Maqnit rezonansların spektrlərinin ölçmələri Bruker LTD (Almaniya), ELEXSYS-II E500 CW-EPR markalı EPR qurğusunda aparılmışdır. Kalibrlənmiş Weak Pitch nümunəsinin siqnalının küyə olan nisbəti 3000:1-dir. İYT-şüalandırıcısına ifrat aşağı küy səviyyəsinə malik Hanna diodu tipli ikilənmiş güclü mənbə və ifrat yüksək keyfiyyətli rezonator daxildir. Qurğu peşəkar EPR spektrometrləri üçün nəzərdə tutulmuş Herq proqram paketi ilə təchiz olunmuşdur. Tezlik diapazonu 1-263 QHz-dir. Daxilinə nümunə yerləşdirilmiş düzbucaq tipli rezonator [10] ölçmələri 26-38 QHz ölçü oblastında təmin edir. Tədqiq olunan nümunə rezonatora qoyulduqda İYT itgi səbəbilə rezonans tezliyi azalır, uyğun pikin eni isə artır. Xarici maqnit sahəsi olmadıqda tezliyin azalması ilə buraxma əmsalı artır, əks olunma əmsalı isə kiçilir (şək.40). Əldə olunmuş nəticələr [11] işinin nəticələrinə uyğundur. Alınmış rezonans spektrləri şək.41-44 göstərilmişdir.

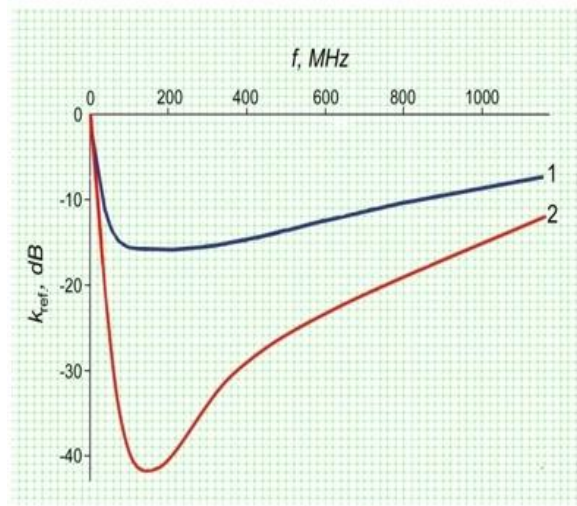
1QHz-ə qədər tezlik oblastında alınmış nəticələrin analizi üçün [12] işindən maqnit nüfuzluğu və əks olunma spektrləri, [13] işindən isə $Ni^{2+}/Zn^{2+}/Fe^{2+}/Fe^{3+}$: 1/2/5/2(b1), 3/3/10/4(b), 2/1/5/2(b2), 5/1/10/4(b3) müxtəlif molyar nisbətlili $NiZnFe_2O_4$ ferritləri üçün dielektrik nüfuzluğunun tezlik asılılıqları şək 42-də göstərilmişdir. Analiz göstərir ki, 1QHz-ə qədər tezlik oblastında müşahidə olunan yüksək tezlikli rezonans çevrilmiş şpinelin (Ni-Zn ferriti) strukturunda dəmir oksidinin olması ilə təyin olunur. Maqnit rezonansın eksperimental tədqiqi Ni-Zn nanokompozitində iki polyarizasiya: $H||H^{iYT}$ və $H\perp H^{iYT}$ və dörd tezlikdə- 26, 28, 30, 32 QHz aparılmışdır. Hər iki polyarizasiya halında rezonans xətti daha güclü maqnit sahələrinə doğru yerini dəyişir. Aşağıdakı kəmiyyətlər ölçülmüşdür

$$d_m = \frac{|D(H)| - |D(0)|}{|D(0)|}; k_m = \frac{|R(H)| - |R(0)|}{|R(0)|}$$

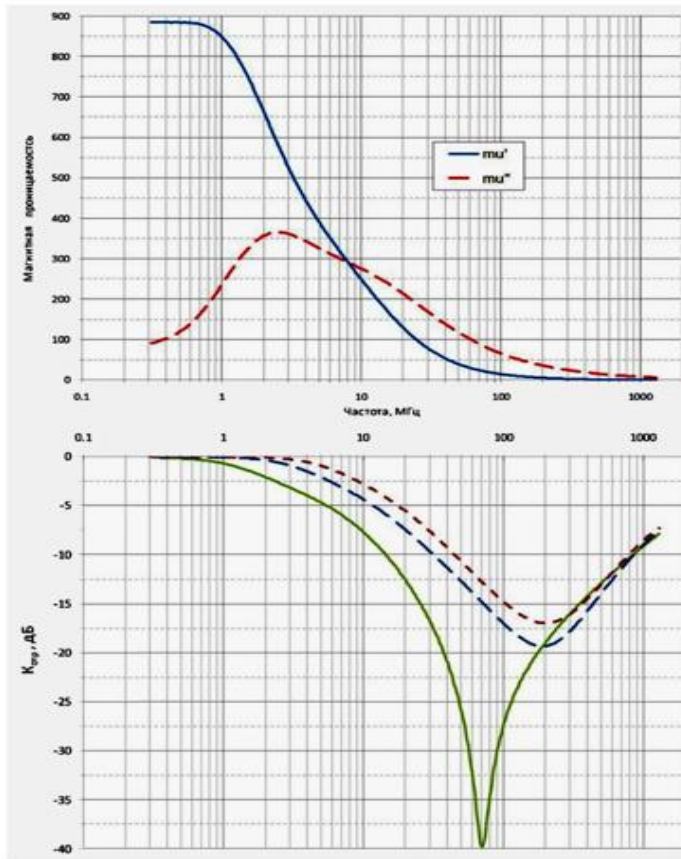
Burada $D(H)$ – xarici maqnit sahəsində buraxma; $D(0)$ – xarici maqnit sahəsi olmadıqda buraxma, $R(H)$ – xarici maqnit sahəsində əks olunma; $R(0)$ – xarici maqnit sahəsi olmadıqda əks olunma. Aydın ki, $R(0)$ və $D(0)$ –nün müşahidə olunan tezlik asılılıqları yalnız udma əmsalının tezlik asılılığı ilə deyil, həmçinin TE_{10} modunun dispersiya xüsusiyyətləri ilə də şərtlənir. Ni-Zn nanokompozitindən keçən müxtəlif tezlikli elektromaqnit dalğasının maqnit rezonans spektrləri şəkil 43, a-da göstərilmişdir: 1 – 26 QHz; 2 – 28QHz; 3 – 30QHz; 4 – 32QHz; yuxarıdakı şəkil $H||H^{iYT}$, aşağıdakı şəkil isə $H\perp H^{iYT}$ halına uyğundur. Müxtəlif tezliklər üçün siqnalların amplitudları tətbiq olunmuş maqnit sahəsinin artması ilə ikinci halda xətti böyüyür, birinci halda isə azalır. Bu effektin izahı [11] işində daha aydın şəkildə göstərilmişdir. [10] işində bu effekt $H\perp H^{iYT}$ halı üçün tezliyin artması ilə rezonatorun məxsusi rezonans tezliyinin böyüməsi, $H||H^{iYT}$ halında isə daxili sabit sahənin vektorunun istiqamətinin xarici sahə istiqamətinə yaxınlaşması ilə izah edilmişdir. 10, 11, 12 və 16 nm ölçülü (generator tezliyi 9.4GHz) $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ tozları üçün ferromaqnit rezonansın differensial spektrləri əldə olunmuşdur (şək. 43, b). Təcrübələrdən belə nəticəyə gəlmək olar ki, zərrəciklərin ölçüsünün artması və nəticə etibarlı ilə, maqnitlənmənin qiymətinin artması rezonans sahəsinin qiymətinin və relaksasiya müddətinin azalmalarına, həmçinin rezonans xəttinin enlənməsinə səbəb olur. $Ni_{0.35}Zn_{0.65}Fe_2O_4$ nümunəsinin EPR spektrlərinin temperatur tədqiqlərindən [10] belə nəticəyə gəlmək olar ki, müxtəlif maqnitlənməyə malik təbəqələr normal modu buraxan müxtəlif tezlik zolaqlarına və uyğun olaraq Ni-Zn ferrit təbəqəsi-dielektrik-metal strukturunda maqnitostatik səth dalğasının müxtəlif yaranma və yayılma şərtlərinə malikdirlər.



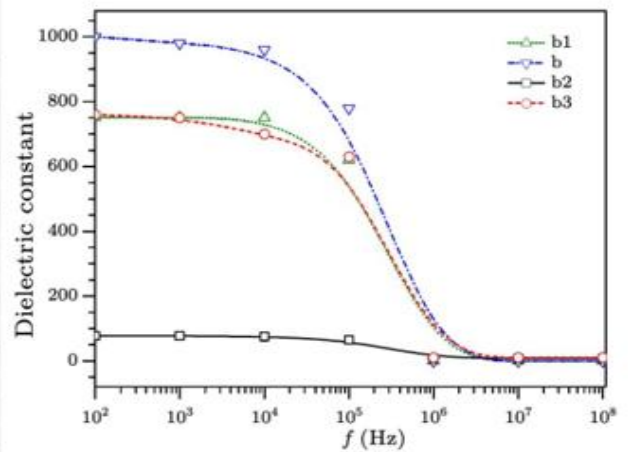
Şək.40 Xarici maqnit sahəsi olmadıqda Ni-Zn anokompozitinin buraxma və əks olunma spektrləri: 1 – əks olunma; 2 – buraxma

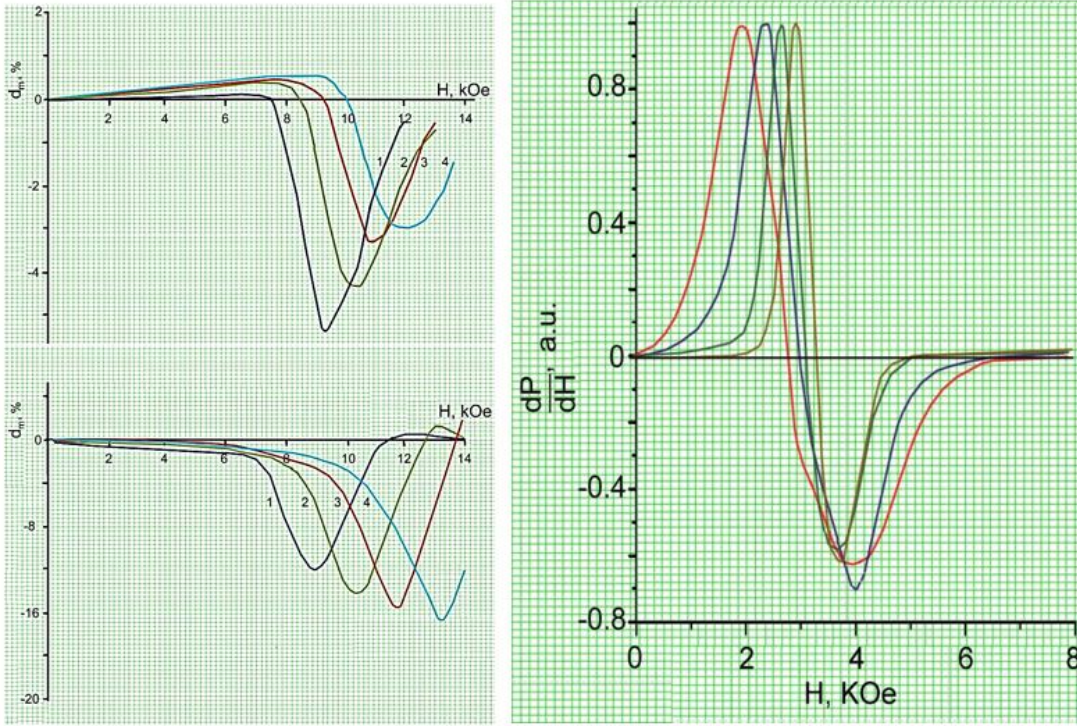


Şək.41 Ferrit təbəqə səthlərinin əks olunma əmsalının tezlik asılılığı: 1- stexiometriya pozulmadan Ni-Zn ferriti; 2 – dəmir oksidinin 52mol% artıqlığı ilə Ni-Zn ferriti

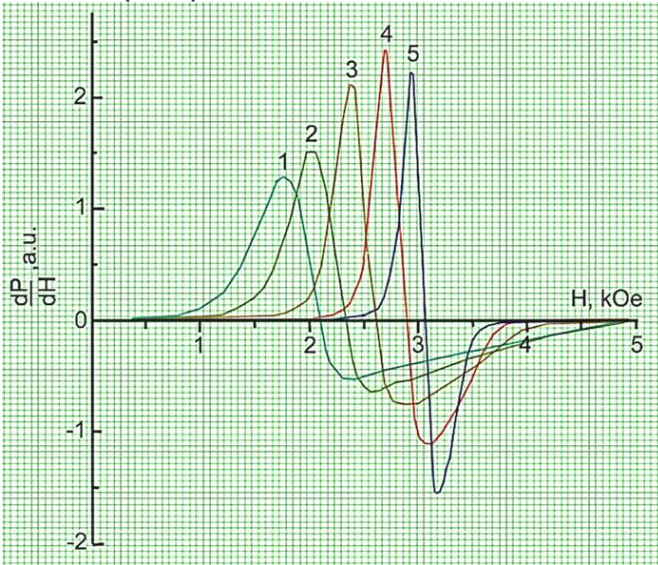


Şək.42 Müxtəlif molyar nisbətlərdə ($\text{Ni}^{2+}/\text{Zn}^{2+}/\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$: 1/2/5/2(b1), 3/3/10/4(b), 2/1/5/2(b2), 5/1/10/4(b3)) $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ ferritləri üçün əks olunma spektrlərinin, maqnit nüfuzluğunun və dielektrik nüfuzluğunun tezlik asılılıqları





Şək.43a. Ni-Zn nanokompozitindən elektromağnit dalğası keçən zaman maqnit rezonansı: 1 – 26 QHs; 2 – 28QHs; 3 – 30QHs; 4 – 32QHs; yuxarı şəkil $-H||H^{YT}$; aşağı $-H\perp H^{YT}$; 16(qırmızı), 12(göy), 11(yaşıl), 10(qəhvəyi)nm ölçülü $Ni_{0.35}Zn_{0.65}Fe_2O_4$ mikrohissəciyinin differensial ferromağnit spektrləri



Şək.44 $Ni_{0.35}Zn_{0.65}Fe_2O_4$ -ün EPR spektrinin temperatur asılılığı: 1-300K; 2-350K; 3 -400K; 4 – 425K; 5 – 450K

Xarici maqnit sahəsinin təsiri altında $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ -nin bütün tərkiblərində elektromağnit dalğasının sönməsi kifayət qədər tez baş verir, bu da ölçmələrə uyğun olaraq udma əmsalının böyüməsi ilə əlaqəlidir. Sonuncu fakt İYT-qurğularında bu materialın tətbiqini məhdudlaşdıran birbaşa itgilərin artmasını göstərir. Elektromağnit dalğasının tezliyinin artması ilə ferromağnit rezonans xətti daha güclü maqnit sahəsinə doğru sürüşür. Qeyd etmək lazımdır ki, $H||H^{YT}$ vəziyyətində rezonans xəttinin eni böyüyür, eyni zamanda $H\perp H^{YT}$ vəziyyətində isə rezonans xəttinin eni kiçilir. Qeyd edək ki, polietilen matrisada dəmir(III) oksidinin nanohissəciklərinin hallarının tədqiqi zamanı spektrlərin oxşar temperatur asılılıqları müşahidə olunmuşdur [14]. Nanohissəciklərin EPR nəzəriyyəsinə [15,16] əsasən temperaturun artması ilə rezonans xəttinin eninin azalması superparamağnit fluktasiyanın təsirinə azalması ilə bağlıdır. Rezonans xəttinin enlənməsi və yerini dəyişməsi müəyyən münasibətlə bir-biri ilə əlaqəli olduğundan [17],

onların yerinə yetirilməsi üçün sistemdə faza keçidlərinin mövcud olması mülahizəsini yürütmək olar[18]. Mövcud halda, tədqiq olunan temperatur oblastında $Ni_{0.35}Zn_{0.65}Fe_2O_4$ nümunəsinin EPR spektrlərində anomaliyalar müşahidə olunmuşdur(şək.44). [14] işində fərz olunduğu kimi, bu həmin mikrozərrəciklərin ölçülərinin, strukturlarının və s. dəyişməsi ilə bağlı ola bilər. 450K-dən yuxarı temperatur intervalında xəttin enində kiçik artım hər hansı bir əlavə genişlənmə mexanizmi ilə bağlı ola bilər. Məlumdur ki, bərk matrisada maqnit momentlərinin fluktuasiyası Neel mexanizmi üzrə baş verir. 600K-dən yuxarı temperaturalarda EPR xəttinin sürətli şəkildə daralması ya zərrəciklərin daxili strukturunun dəyişməsi ilə, yaxud da onların böyüməsi ilə bağlı ola bilər. Sonuncu fakt EPR signalının enlənməsi ilə şərtlənən superparamaqnit fluktasiyanın azalmasına səbəb olur. EPR spektrlərinin müşahidə olunan davranışı rentgen nəticələrindən də kimi, yuxarı temperatur oblastında Ni-Zn ferritində struktur dəyişikliyi ilə birbaşa bağlı olmalıdır. Maqnit sahəsində qızdırmadan sonra EPR spektrlərində anizotropiyanın yaranması matrisanın bərkiməsindən sonra saxlanılan nanohissəciklərin yüngül maqnitlənmə oxlarının qismən nizamlı düzülüşündən bəhs edir.

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ mikrotozlarının infraqırmızı və Raman spektrləri

$\vec{k}(0,0,0)$ nöqtəsində tam təsvir bu şəkildə olacaq: $A_{1g} + E_g + F_{1g} + 3F_{2g} + 2A_{2u} + 2E_u + 5F_{1u} + 2F_{2u}$. Alınmış tam təsvir 42 rəqs modundan ibarətdir ki, onlardan da 12-si Raman-aktiv modlara, ($A_{1g} + E_g + 3F_{2g}$); 15-i İQ aktiv modlara ($5F_{1u}$), (onlardan üçü akustik modlardır), 15 isə optik spektrlərdə müşahidə olunmayan ($2A_{2u} + 2E_u + F_{1g} + 2F_{2u}$) qeyri-aktiv modlara uyğun gəlir. $x=0;0,25;0,4;0,5;0,6;0,75;1,0$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin infraqırmızı spektrləri diffuz əks olunma əlavəsi ilə Fure Vertex70 (Bruker, Germany) spektrometrində alınmışdır (Şək.45-46) (spektral diapazon- $4000-50\text{sm}^{-1}$, standart spektral ayırd etmə $0,5\text{sm}^{-1}$, vakuumlaşdırılmış kamera).

Cədvəldə əsas udulma maksimumlarının formasını təyin edən spektral xətlərin vəziyyətləri verilmişdir. Təcrübələr 300K temperaturda aparılmışdır. Cədvəldəki seçilmiş sətrlər $NiFe_2O_4$ –dən $ZnFe_2O_4$ –a qədər olan tərkiblərə uyğundur: $604.119-542.37\text{sm}^{-1}$; $425.310-388.368\text{sm}^{-1}$; $248.660-240.950\text{sm}^{-1}$. Bu tezliklər qəbul edilmiş klassifikasiyaya görə uyğun F_{1u}^1 ; F_{1u}^2 ; F_{1u}^3 və F_{1u}^4 simmetriya rəqsləri kimi interpretasiya edilmişdir. Çoxsaylı təcrübələr və onların nəticələri sayəsində tədqiq olunan $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ tərkiblərinin İQ spektirində müşahidə olunan incə quruluş və udma maksimumlarının vəziyyəti təyin edilmişdir.

Aparılmış tədqiqatlarda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin müxtəlif tərkiblərində Ni və Zn kation nisbətlərinin dəyişməsinin İQ spektrlərinin formalaşmasında rolu müəyyən edilmişdir. Təcrübələrdən görüldüyü kimi, tetraedrlərdə Ni^{2+} ionlarının daha iri və ağır Zn^{2+} kationları ilə əvəz olunması ilə $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin tədqiq olunan tərkiblərinin İQ spektrlərində sürüşmə kimi yeni spektral xətlərin yaranması və “köhnə” spektral xətlərinin yox olması müşahidə olunur.

İQ spektr mürəkkəbdir və Ni^{2+} -kationlarının Zn^{2+} -kationları ilə əvəz olunma prosesini əks etdirən incə quruluşamalıdır.

Tetraedrlərdə Ni^{2+} ionlarının daha iri və ağır Zn^{2+} kationları ilə əvəz olunması elementar qəfəsin “a” parametrinin böyüməsinə səbəb olur. Tədqiq olunan müxtəlif tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərin alınmış İQ spektrlərinin intensivliklərinin tərkibdən asılılığı Fe^{2+} [19] və Fe^{3+} [20] kationlarının intensivliklərinin dəyişməsinə nəzərə alan model çərçivəsində daha asan izah olunur (şək.47). 425sm^{-1} zolağı üçün götürülmüş intensivliklərin qiymətinin müqayisəsi göstərdi ki, infraqırmızı spektrlərdə ferritin tərkibindəki Fe^{2+} və Fe^{3+} kationlarının miqdarının azalması udulma intensivliklərinin azalmasına səbəb olur.

Ferrit tərkiblərində Fe^{2+} və Fe^{3+} miqdarının dəyişməsi altqəfəslər arasındakı “sıçrayışlı” elektronların sayının dəyişməsinin və nəticə etibarlı ilə dolayı mübadilə qarşılıqlı təsirin qiymətinin dəyişməsinin açıq-aydın göstəricisidir.

Beləliklə, “a” parametrinin dəyişməsi və izomorf əvəz olunma zamanı normal rəqslərin tezliklərinin sürüşməsindəki qarşılıqlı əlaqə aydın olur. İzomorf əvəz olunmada normal rəqslərin tezliklərinin sürüşməsinin hesablanmasında “a” qəfəsin parametrinin dəyişməsindən başqa dolayı

mübadilə qarşılıqlı təsirin qiymətini də nəzərə almaq lazımdır.

Tetraedrlərdə Ni^{2+} kationlarının daha böyük və ağır olan Zn^{2+} kationları ilə əvəz olunması zamanı $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin tədqiq olunan nümunələrinin İQ spektrlərində aşağı tezliyə doğru sürüşmə müşahidə olunur.

Müəyyən edilmişdir ki, $NiFe_2O_4$ -in spektrində müşahidə olunan, Ni^{2+} kationlarının Zn^{2+} kationları ilə əvəz olunması zamanı və F_{1u}^1 simmetriya tipinə aid olan $Me^{2+} - O - 3Fe^{3+}$ əlaqəli (burada Ni və Zn ionları Me ilə işarə olunur) rəqslər kimi interpretasiya edilən $604.119cm^{-1}$ spektral xətti $ZnFe_2O_4$ -də yerini $542.37cm^{-1}$ vəziyyətinə dəyişir.

Diqqətli baxdıqda spektral xəttin mürəkkəb struktura malik olduğunu görmək olur və Ni^{2+} kationlarının Zn^{2+} kationları ilə əvəz olunma prosesində mövcud xətlərin profilini formalaşdıran spektral komponentlərin parçalanması və sürüşməsi müşahidə olunur. Maksimumların $425.310sm^{-1}$ ($NiFe_2O_4$)-dən $388.368sm^{-1}$ ($ZnFe_2O_4$)-ə yerini dəyişməsi oktaedrik altqəfəsdə Ni^{2+} -nin Zn^{2+} ilə əvəz olunma prosesini göstərir. Əvvəllər bu udma maksimumları F_{1u}^2 tip simmetriya $Fe^{3+} - O - 2Fe^{3+}$ əlaqəli rəqslərə aid edilirdi, rəqslərin tezliklərinin dəyişməsi isə kationlar arası məsafənin dəyişməsi ilə əlaqələndirilirdi.

Aydındır ki, analogi hal eyniadlı kationlar arası toxunma əlaqəli F_{1u}^3 və F_{1u}^4 tip rəqslərdə də müşahidə edilir. Bu $205.849sm^{-1}$ ($ZnFe_2O_4$) vəziyyətinə sürüşən $248.660sm^{-1}$ ($NiFe_2O_4$) spektral xəttində də nəzərə çarpır. $200-300sm^{-1}$ oblastında $205.849sm^{-1}$ -da Zn-O əlaqəli rəqslərə uyğun olan daha yaxşı maksimumun yaranmasına səbəb olan udma zolağının formasının (Ni ionlarının konsentrasiyasının azalması və uyğun olaraq Zn ionlarının artması ilə) nəzərə çarpan dərəcədə dəyişməsi müşahidə olunur.

Tədqiq olunan $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit tərkiblərinin $4000sm^{-1}-500sm^{-1}$ (şək.46) diapazonunda infraqırmızı spektrlərinin analizi göstərdi ki, spektrlərdəki xüsusi halların interpretasiyası üçün ZnO, NiO və Fe_2O_3 komponentlərinin infraqırmızı spektrləri haqqında informasiya zəruridir.

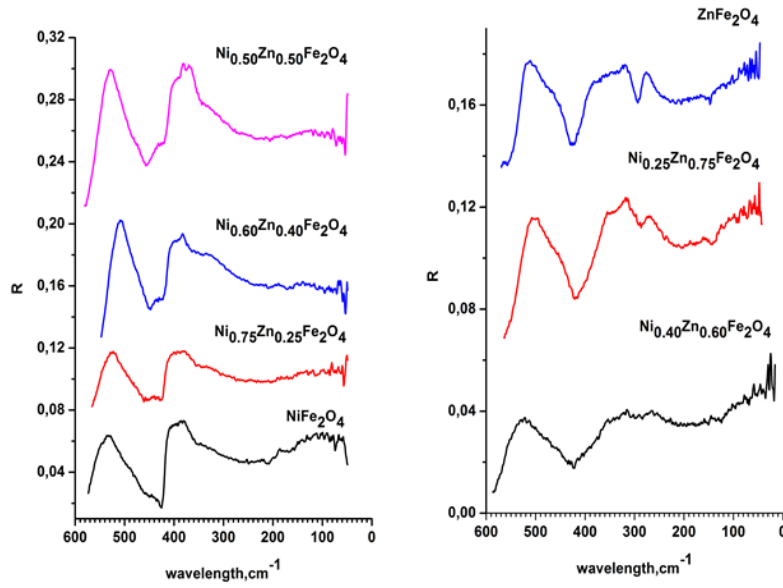
$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində NiO və ZnO-in artıq qalan miqdarı həll olmur. Fe_2O_3 artıq qalan miqdarı tərkibində Fe_3O_4 maqnetitin olduğu bərk məhlulu əmələ gətirir [6].

Digər tərəfdən, şpinel strukturlarda dayanıqlı hala qədər nöqtə defektləri və vakansiyaları, xüsusən də ZnO, NiO-da termodinamik tarazlıq pozulana qədər dayanıqlığın və konsentrasiyanın praktiki olaraq dəyişmədiyi nizamsızlığın müxtəlif formaları yaranır. İQ spektrlərdə müşahidə etmək üçün bu defektlərin konsentrasiyasının kifayət qədərdir.

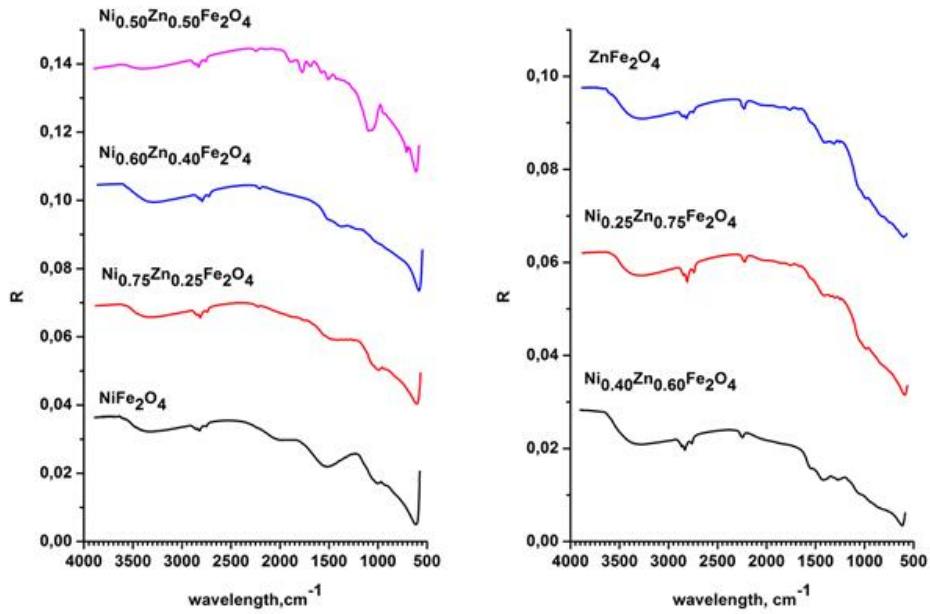
Müəyyən edilmişdir ki, $3627-3500sm^{-1}$ diapazonunda zəif intensiv udma zolağı OH^{-1} və oksigen ionlarının spektrə verdiyi qatqıya uyğundur. $(2852-2829)cm^{-1}$ spektral zolağı Ni^{2+} və Zn^{2+} ionlarının spektrə verdiyi qatqıya uyğundur. Ni^{2+} ionlarının Zn^{2+} ionları ilə əvəz olunma prosesini mərhələlərə bölmək olar: $NiFe_2O_4$ -dən $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ tərkibinə qədər spektral xəttin intensivliyi kiçilir və spektral xəttiyerini $2852sm^{-1}$ -dən $2829sm^{-1}$ -ə dəyişir, daha sonra $ZnFe_2O_4$ -da (əvvəllər $ZnFe_2O_4$ -da bu xətt qeyd olunmamışdır) spektral xətt yerini $2850sm^{-1}$ -ə dəyişir. Qeyd edək ki, xətt dubletdir və ikinci komponentinin intensivliyi çox zəifdir. NiO-da da analogi $2904sm^{-1}$ xətti müşahidə olunur. ZnO-da ($1577sm^{-1}$ və $1409sm^{-1}$) qeyd edilən spektral struktur $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində tədricən Ni^{2+} -nin Zn^{2+} ilə əvəz olunması ilə $550-1400sm^{-1}$ spektral zolağında müşahidə olunur. Qeyd edək ki, İQ spektrlərində Ni^{2+} və Fe^{2+} ionları uyğun olaraq $1586sm^{-1}$ dalğa uzunluqlarında müşahidə olunur.

Şək.48-də $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0;0,25;0,4;0,5; 0,6;0,75;1,0$) mikrotozlarının Raman spektrləri göstərilmişdir. Bütün ölçmələr $24^{\circ}C$ temperaturunda aparılmışdır.

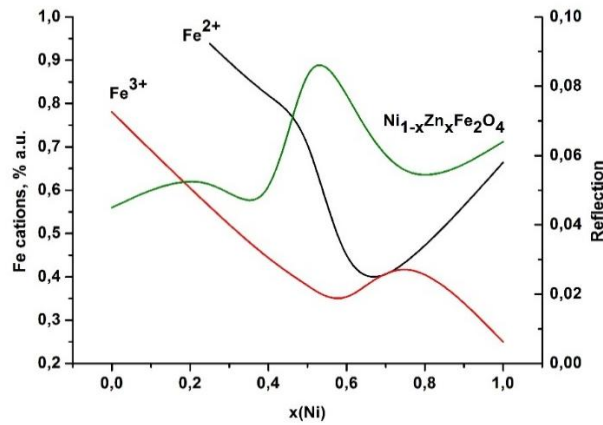
$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit mikrotozlarının ədəbiyyatda nəşr olunan spektrlərin alınmış spektrlərlə müqayisəsi göstərdi ki, spektrlər bir-birinə xaricən oxşar olduqda da spektral xətlərin vəziyyətinin təyininə ziddiyyət var, belə ki, spektrlərin vəziyyəti zərrəciklərin dənələrinin ölçüsündən zəif asılıdır [21,22]. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin Raman spektrlərində ($A_{1g}+E_g+3F_{2g}$) tipli 12 aktiv-Raman modu müşahidə olunmalıdır. Tədqiqatlardan görüldüyü kimi, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin Raman spektrlərində əlavə maksimumlar müşahidə olunur. Ferrit mikrotozlarının verilmiş tərkiblərinin İQ spektrlərində müşahidə olunan $76sm^{-1}$ -ə yaxın tezlik zolağı bu tərkiblərin Raman spektrlərində də müşahidə olunmuşdur.



Şək.45 FIR rejimində $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin İQ spektrləri



Şək.46 MIR rejimində $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin İQ spektrləri



Şək 47 Müxtəlif tərkibli ferritlərdə Fe^{2+} və Fe^{3+} kationlarının konsentrasiyasının və əks olunma spektrlərini intensivliklərinin dəyişməsi

Cədvəl 5

$NiFe_2O_4$ sm^{-1}	$Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ sm^{-1}	$Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ sm^{-1}	$Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ sm^{-1}	$Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe_2O_4$ sm^{-1}	$Ni_{0.25}Zn_{0.75}Fe_2O_4$ sm^{-1}	$ZnFe_2O_4$ sm^{-1}
604.119	591.7	584.24	578.28	581.645	569.668	542.37
-	-	-	-	-	550.308	557.278
543.935	537.74014	521.736	544.057	534.718	515.963	518.853
532.872	527.77089	511.654	-	525.111	505.580	506.846
529.799	524.25233	508.470	529.138	518.124	499.989	470.822
462.189	456.22689	497.320	453.867	429.916	420.916	425.993
443.135	442.15266	437.364	436.236	402.842	393.760	-
432.071	432.76984	425.689	428.776	393.235	390.565	397.975
425.310	425.73272	423.567	424.029	387.995	-	388.368
392.120	403.44853	400.749	389.445	330.354	329.8634	332.332
-	391.13357	389.075	375.883	324.240	325.870	332.332
-	367.207	363.352	356.217	298.913	308.298	313.119
348.895	345.040	346.004	343.112	284.066	286.733	293.907
305.524	305.524	303.596	299.741	236.032	-	247.476
272.755	274.682	269.863	266.008	213.325	221.239	226.663
248.660	246.732	-	247.696	194.984	206.063	205.849
208.180	204.325	204.325	206.253	162.670	177.310	182.634
168.665	168.665	170.592	172.520	127.736	142.965	147.411
96.380	93.488	95.416	95.416	55.248	80.666	84.170
95.412	89.633	88.669	87.706	51.755	76.672	80.167
-	84.814	83.850	82.887	-	72.679	76.165
-	-	79.031	-	43.021	-	69.761
74.212	76.140	71.321	72.285	35.161	58.302	64.15691

Bir halda ki, seçmə qaydası İQ və Raman spektrlərində F_{1u} tip simmetriya rəqslərinin eyni zamanda müşahidə olunmasına imkan vermir. Bu vəziyyətdə spektrin mövcud zolağı və həmçinin yaxın $1126sm^{-1}$ və $1313sm^{-1}$ tezliklər zolağı maqnonların həyəcanlanması ilə bağlı olmasını fərz etmək olar. Bu fərziyyə NiO və Fe_2O_3 -ün Raman spektrlərində maqnon həyəcanlanmanın təcrübi müşahidəsi ilə bağlıdır [23,24,25,26,27 və b.]. Otaq temperaturunda $30 sm^{-1}$ xətti ətrafında birmaqnonlu Raman səpilməsi müşahidə olunmuşdur. Həmçinin $1500sm^{-1}$ yaxınlığında ikimaqnonlu zolaq və maksimumu $400 sm^{-1}$ olan dördmaqnonlu zolaq identifikasiya olunmuşdur. Spekrdə bu zolaqların vəziyyətinin dəyişməsi tədqiq olunan tərkiblərdə Ni yaxud Zn -in miqdarının dəyişməsinə uyğundur. Ni yaxud Zn -in miqdarının dəyişməsi spin rəqslərinin dəyişməsinə səbəb olur ki, bunu da EPR tədqiqatları təsdiq edir.

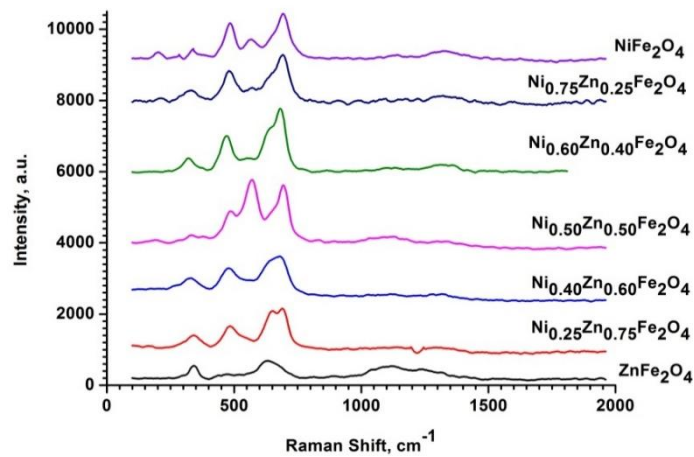
$140sm^{-1}$ -də Raman spektrin maksimumu [21]-də işində hesablandığı kimi $P_{4,22}$ strukturunda $168sm^{-1}$ tezlikli A_{1g} moduna uyğundur. Lakin tədqiqatlarımızda $NiFe_2O_4$ -nin Raman spektrlərində aşkar edilmiş maksimumların [21] hesablamaların nəticələri ilə müqayisəsi, hesablanmış $147sm^{-1}$, $148sm^{-1}$, $155sm^{-1}$, $168sm^{-1}$, $171sm^{-1}$ tezlik maksimumlu qrupları ilə təcrübələrdə müşahidə olunan əlavə $147sm^{-1}$, $153sm^{-1}$, $167sm^{-1}$, $175sm^{-1}$ əlavə maksimumlu qruplarının tezlikləri arasında uyğunluğu nümayiş etdirir. $P_{4,22}$ strukturuna uyğun modlar cədvəl 6-da göstərilmişdir. Maraqlıdır ki, spekrdəki maksimumlar qrupu $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit mikrotozlarının verilmiş tərkiblərinin Raman-spektrlərində də müşahidə olunur və praktiki olaraq öz vəziyyətini dəyişmir. Polyarizasiya üzrə seçmə qaydasına uyğun olaraq tamamilə simmetrik olan $A_{1g}(F_{d3m})$, $A_1(P_{4,22})$ yaxud $A_g(Imma)$ modları yüksək intensivlikləri üzrə identifikasiya oluna bilərlər. $140sm^{-1}$ maksimumundan başqa onlara 235 , 381 , 449 , 487 , 571 , 593 və $704sm^{-1}$ maksimumlarını da aid etmək olar [21] və bu maksimumlar üçün də bizim tədqiqatlarda analoqlar tapılmışdır. Eyni zamanda hesablama nəticələrindən alındığı kimi $A_g(Imma)$ moduna aid olunmuş 387 və $605sm^{-1}$ maksimumları arası məsafənin böyüklüyü spektroskopik nöqtəyi nəzərdən β -nizam tipinin az ehtimallı olması fikrinə gətirib çıxarır. Digər tərəfdən tetraqonal α -nizam tipinin mövcudluğunu Raman səpilmə analizlərindən [21] almaq olar. $213sm^{-1}$ maksimumlu mod X_0X_0 və XY polyarizasiyalarında aktivdir və kubik, tetraqonal və rombik strukturlarda uyğun olaraq F_{2g} , B_{1+E} yaxud $A_g+B_{2g}+B_{3g}$ kimi interpretasiya oluna bilər. Bu uyğunluq daha çox $P_{4,22}$ strukturları üçün $208sm^{-1}$ maksimumlu E-modunda müşahidə olunur. Burada qeyri müəyyənlik yaranır, çünki hesablamaların dəqiq olmamasını nəzərə alıqda $Imma$ strukturunda $229sm^{-1}$ maksimumuna uyğun B_{2g} modunun mövcudluğunun diqqətə alınması zəruridir. Bu cür yanaşama zəruridir, çünki $Imma$ qrupunda A_g+B_{1g} modu üçün seçmə qaydası $P_{4,22}$ -də A_1+B_{2f} modu üçün seçmə qaydası ilə üst-üstə düşür. Müşahidə olunan

tezliklərin tam bölünə bilməsi bir modlu nizamlı strukturun mövcudluğunun fərziyyəsini yaradır. Lakin, spektrometrin ayırd etdiyi tezliyi ilə müqayisədə ($305-306$ və $350-353\text{sm}^{-1}$) bəzi modlar arasında tezliklərin oxşarlığı təcrübi tədqiqatların nəticələrində xətalara mövcudluğunu parçalanma analizində nəzərə almaq lazımdır. İntensiv maksimumların parçalanması cədvəl 7-də və şəkl.49-da ferritlərin müxtəlif tərkibləri üçün Gauss komponentlərinin hərəkəti əsasında şərh göstərilir. Nümunə kimi şəkl.50-də NiFe_2O_4 -də 570sm^{-1} maksimumunda müşahidə olunan parçalanma göstərilmişdir.

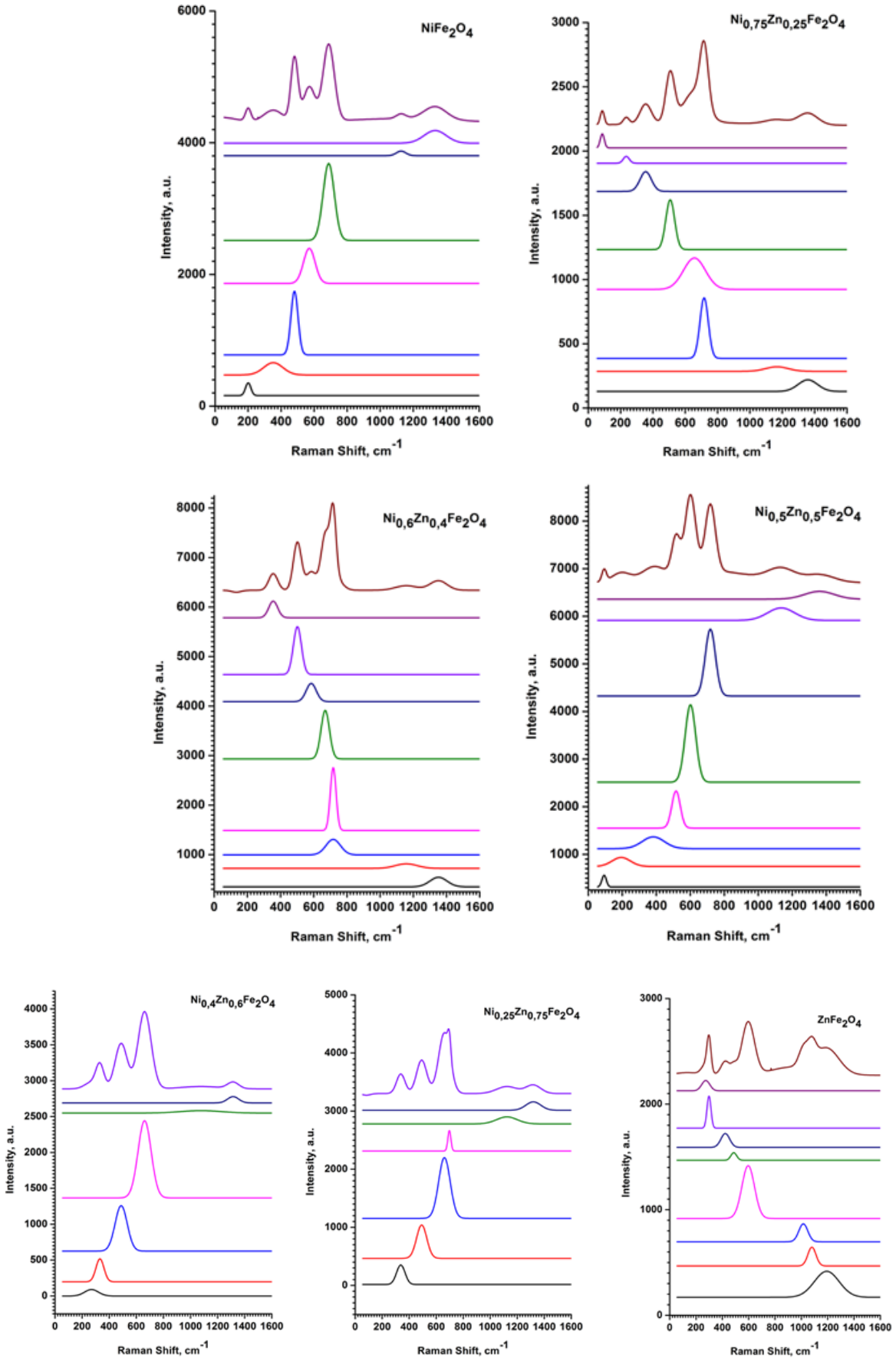
Cədvəl 6 $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}$ ferritlərinin Raman-spektrlərinin maksimumlarının vəziyyəti və interpretasiyası

$\text{NiFe}_2\text{O}_4, \text{sm}^{-1}$				$\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4, \text{sm}^{-1}$				$\text{ZnFe}_2\text{O}_4, \text{sm}^{-1}$				
Təcr. [21]	Hesa. [21]	İnterp. [21]	Bizim iş _{x=0}	x=0,25	x=0,4	x=0,6	x=0,75	Bizim iş _{x=1}	Təcrü	Əd.		
			107	107	107	107	101	105				
			113	112	112	113	113	114				
			118	118	118	-	118	120				
			130	132	130	124	127	134				
	147	E, P ₄ 22	147	149	142	141						
	148	B ₁ , P ₄ 22			153	147	147	145				
	155	B ₂ , P ₄ 22	153	164	159	158	158	157	160	[28]		
140	168	A ₁ , P ₄ 22	167	172	-	164	167	168				
	171	B ₁ , P ₄ 22	175	181	173	175	175	177				
	205	B ₂ , P ₄ 22	201	204	207	201	204	205				
213	207	E, P ₄ 22	209	212	212	207	209	211				
	227	A _g , Imma	221	223	221	224	226	222	221	[29]		
	229	B _{3g} , Imma	226	229	227	229	232	228				
235	235	B ₂ , P ₄ 22 E, P ₄ 22	238	240	235	241	241	236				
	246	E, P ₄ 22	246	249	250				246	[30]		
	248	B ₁ , P ₄ 22 B _{1g} , Imma										
	252	B _{2g} , Imma										
	253	A ₁ , P ₄ 22 E, P ₄ 22	257	254	255		257	253				
	255	F _{2g} , Fd3m					261					
	263	E, P ₄ 22	263	266		263	269	264				
273			272		269	272		270				
			277	277	283	277	277	278				
	293	E, P ₄ 22	288	291	292	286	288	295				
	295	A ₁ , P ₄ 22	294	297	297		297					
301	300	E _g , Fd3m	300	305	303	300	302	301				
	305	B ₂ , P ₄ 22				305						
	306	B ₂ , P ₄ 22						308	309			
	314	E, P ₄ 22		316		316	316					
	328	E, P ₄ 22	325	333	322		322		320	[28]		
	329	B ₁ , P ₄ 22	330			336	330	333				
333	336	B _{2g} , Imma	342	339	342	342	339					
	350	A ₁ , P ₄ 22	356	350	348		344	343	355	[29]		
	353	B ₂ , P ₄ 22					353	361	356	354	350	[28]
								356	356	[30]		
			361	364	367	367	361	365				
	367	E, P ₄ 22	370	378	375	375	370	370				
	374	B ₂ , P ₄ 22								375	379	
381	381	B ₁ , P ₄ 22	383		386	386	383	384				
	387	A _g , Imma										
	395	A ₁ , P ₄ 22	392	394	395	392	395	390				
	405	B _{3g} , Imma	403	403		403		398				
	407	E, P ₄ 22	411	411	406	408	406	404				
	415	B ₁ , P ₄ 22						417	418			

			425	430	428	428	422	426		
	438	E, P4 ₁ 22	436	439	439	439	433	434		
443		B _{1g} , Imma	450	450	450	450	453	448	450	
	464	E, P4 ₁ 22		464	464		464	456	451	
	465	F _{2g} , Fd3m				466				
		B ₁ , P4 ₁ 22								
469	469	E, P4 ₁ 22		469	472	472				
482			483	483		483	483	481		
487	490	E, P4 ₁ 22				488	491	489		
	496	B ₂ , P4 ₁ 22		497		494				
	498	A ₁ , P4 ₁ 22	508	513		508	505	500		
		B ₁ , P4 ₁ 22								
	514	E, P4 ₁ 22	519	518	521	516	516	514		
	516	B ₂ , P4 ₁ 22				521	524	522		
			527	527				530		
			538	538	532	530	532	536		
				543	546	541	541	541		
	556	E, P4 ₁ 22	551	551		549	549	555		
				562	560	562	560	563		
			565	568			565	568		
571	573	A ₁ , P4 ₁ 22	573	573	570	573	576			
	574	B ₂ , P4 ₁ 22						577		
			579	581	581		581			
			584	587	587	587	587	585		
	588	B _{2g} , Imma	590	592	595	595	592	593		
593			600	603		600		601	600	[30]
	605	A _g , Imma	609			609	609	612		
	612	B ₁ , P4 ₁ 22	614	617	619	619		620		
	613	B _{3g} , Imma								
	615	E, P4 ₁ 22								
	618	F _{2g} , Fd3m								
			627	630	625	630	622	628	630	[28]
	635	A ₁ , P4 ₁ 22	636		635	636	636	639		
	643	B _{2g} , Imma		641	641	641	641			
	649	A ₁ , P4 ₁ 22				646	646		647	[29]
656	661	B ₂ , P4 ₁ 22	652	654	654	652		655		
	665	E, P4 ₁ 22		665	662	660	657	658		
	687	A _g , Fd3m	687	673		673	671	674	670	[30]
	689	B _{3g} , Imma		679	668	687		679		
	694	A ₁ , P4 ₁ 22	692	697	692		692	690		
704			703	703	703	703		703		
	718	E, P4 ₁ 22	719	730	727	722	722	727		
	744	A _g , Imma	746	754	751	748	751	754		

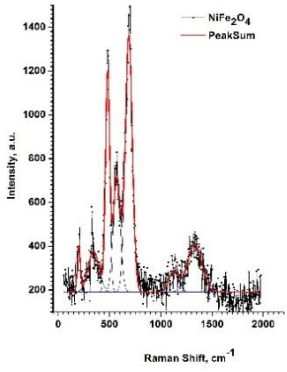
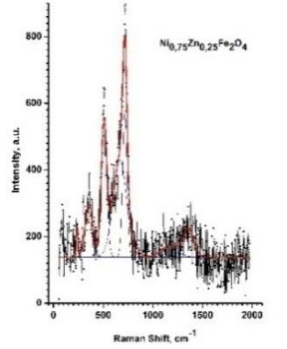
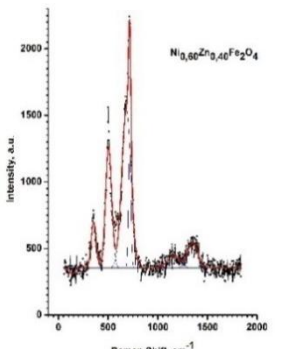
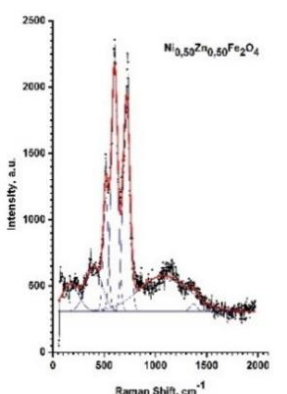


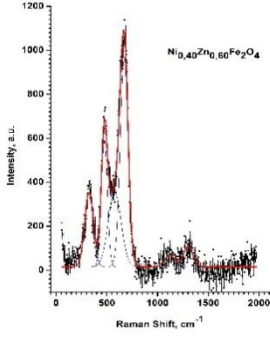
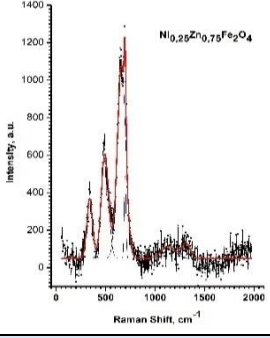
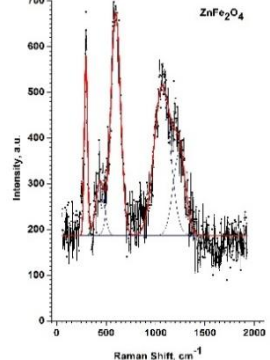
Şek.48 $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ mikrotozlarının Raman spektrleri

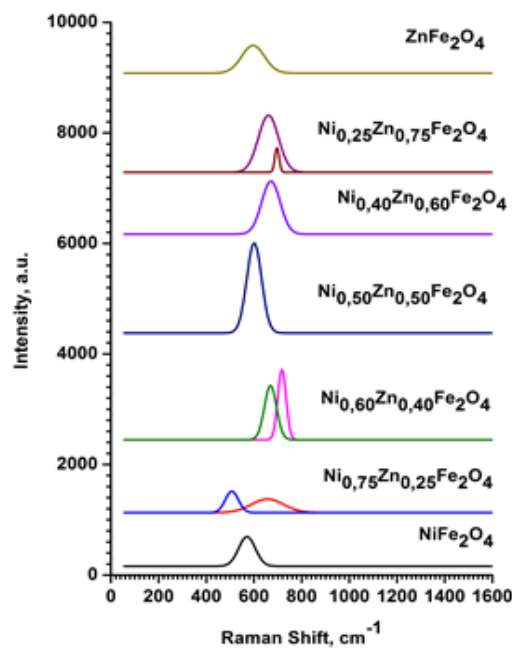


Şək.49 Gauss funksiyalarının dəstivasiyəsə $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit mikrotozlarının hər tərkibi üçün Raman spektrlərinin parçalanması

Cədvəl 7. Gauss funksiyaları təsviri vasitəsilə $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit mikrotozlarının Raman spektrlərinin analizi. Qrafiklərdəki qırmızı rəng son nəticə əyrisini göstərir

	Area	Center, cm^{-1}	Width, cm^{-1}	Height	$NiFe_2O_4$
1.	24875,90051	76,2692	230,2785	86,19171	
2.	7902,69123	200,72586	32,55174	193,705	
3.	3627,46436	259,48247	0,45627	6343,33724	
4.	27221,29187	352,5154	116,66152	186,17492	
5.	51963,67122	480,89003	42,96231	965,05546	
6.	46893,33387	570,64547	70,19805	532,99864	
7.	99944,65548	688,15527	68,22835	1168,78532	
8.	5013,89377	1126,79449	57,28514	69,83502	
9.	53312,67857	1126,79449	649,3137	65,51127	
10.	32575,93546	1333,22771	134,85903	192,73338	
	Area	Center	Width	Height	$Ni_{0,75}Zn_{0,25}Fe_2O_4$
1.	3392,48673	86,86894	24,83957	108,9718	
2.	2474,30575	235,18112	36,95792	53,41778	
3.	13496,40321	355,33519	70,22243	153,34946	
4.	26530,3704	507,14671	54,74452	386,67197	
5.	41598,41474	656,82983	135,81066	244,38975	
6.	30533,96101	716,85533	51,77884	470,51218	
7.	19675,95134	716,85533	768,41548	20,43053	
8.	6260,69851	1167,26437	141,11359	35,39925	
9.	13574,27552	1358,48058	119,91488	90,31994	
	Area	Center	Width	Height	$Ni_{0,60}Zn_{0,40}Fe_2O_4$
1.	2828,74205	133,6549	57,4861	39,26183	
2.	22701,85781	355,74064	53,96555	335,64861	
3.	59088,66819	501,39329	48,7731	966,63813	
4.	27889,39978	584,74967	60,5608	367,44102	
5.	62388,96724	669,12917	50,92397	977,51985	
6.	55253,77778	717,2809	34,77639	1267,70309	
7.	34102,30693	717,28116	87,15303	312,20607	
8.	15173,23039	1157,7559	131,07834	92,36069	
9.	25002,7316	1351,64405	103,44897	192,84187	
	Area	Center	Width	Height	$Ni_{0,50}Zn_{0,50}Fe_2O_4$
1.	8100,12174	92,93143	26,1056	247,56991	
2.	25664,58544	193,6002	108,19205	189,26877	
3.	40387,61707	382,08199	130,23458	247,43547	
4.	48423,81884	516,04825	49,62202	778,61834	
5.	126823,86607	600,85418	62,24615	1625,65553	
6.	105651,75965	718,06047	60,08062	1403,07984	
7.	145136,94643	718,06049	468,59461	247,12732	
8.	52540,1144	1134,65176	159,91249	262,1493	
9.	35581,08101	1359,95724	174,45971	162,72866	

	Area	Center	Width	Height	$\text{Ni}_{0,40}\text{Zn}_{0,60}\text{Fe}_2\text{O}_4$
1.	11530,98627	269,40493	101,792	90,38428	
2.	23798,53048	331,52751	59,19564	320,775	
3.	71005,14729	488,23354	89,4594	633,29185	
4.	130525,65725	661,14378	96,71356	1076,8336	
5.	12064,94087	1077,10142	292,85385	32,87111	
6.	9061,65943	1314,42794	82,26	87,89398	
	Area	Center	Width	Height	$\text{Ni}_{0,25}\text{Zn}_{0,75}\text{Fe}_2\text{O}_4$
1.	2195,70725	82,75128	60,63518	28,89281	
2.	26562,83334	337,63379	63,02395	336,28603	
3.	54636,51089	492,34908	75,89022	574,43016	
4.	111896,48038	660,7807	85,41371	1045,27097	
5.					
6.	10004,00992	697,40449	22,66846	352,12116	
7.	23060,75009	1123,7882	153,08976	120,18973	
8.	20052,44812	1319,26781	110,49724	144,79582	
	Area	Center	Width	Height	ZnFe_2O_4
1.	5703,24913	134,88502	189,09555	24,06474	
2.	7461,10299	273,66986	61,16683	97,32561	
3.	11496,69075	298,03716	30,18483	303,89547	
4.	10888,65588	422,29432	66,2411	131,15558	
5.	3972,20299	486,49017	44,10212	71,86411	
6.	59951,49265	596,14712	95,60239	500,34699	
7.	1016,73472	768,74258	259,48116	3,12638	
8.	18085,52163	768,74258	0,49102	29387,88017	
9.	26978,12226	924,26072	295,72343	72,78905	
10.	14470,64128	1015,10636	67,95088	169,9154	
11.	13722,81703	1080,36822	61,49497	178,05071	
12.	57920,31239	1193,25438	188,0424	245,76225	



Şek.50 570cm^{-1} maksimumunun parçalanmasına aid misal

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri

Şək.51-də, Al və Cr hidrogel tozlarının lazer üsulu ilə yaradılmış standart altlıq üzərinə çökdürülmüş $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0;0,25;0,4;0,5;0,6;0,75$) ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri göstərilmişdir ($24^\circ C$, qalınlığı $\sim 50nm$ -dir). Qeyd edək ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin tədqiq olunan tərkiblərinin Raman spektrlərində müşahidə olunan dəyişikliklərin dinamikası saphir altlığın spektrə mümkün qatqısı yaxud lüminessensiya ehtimalı ilə heç bir şəkildə bağlı deyil. Digər tərəfdən, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri ilə Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , ZnO və NiO -nın Raman spektrləri arasında oxşarlıq azdır. Lakin $MgO(100)$ altlıqlı $NiO(100)$ təbəqəsinin otaq temperaturunda çəkilmiş Raman spektrlərində $34sm^{-1}$, $1500 sm^{-1}$ və $2650sm^{-1}$ tezliklərinə uyğun olaraq bir, iki və dörd maqnonlu maksimumlar aşkar olunmuşdur. Nanotozlarda ikimaqnonlu maksimum çox zəif intensivliyə malik olur və qızma nəticəsində yox olur. $500 sm^{-1}$ maksimumu birfononlu $\sim 440 sm^{-1}$ və birmaqnonlu $\sim 40sm^{-1}$ vəziyyətin kombinasiyasına aid edilir (daha doğrusu $TO + 1M$ kombinasiyası). Həyəcanlandırıcı lazerin şüalanma gücü artdıqda maqnon maksimumların intensivliyi artır.

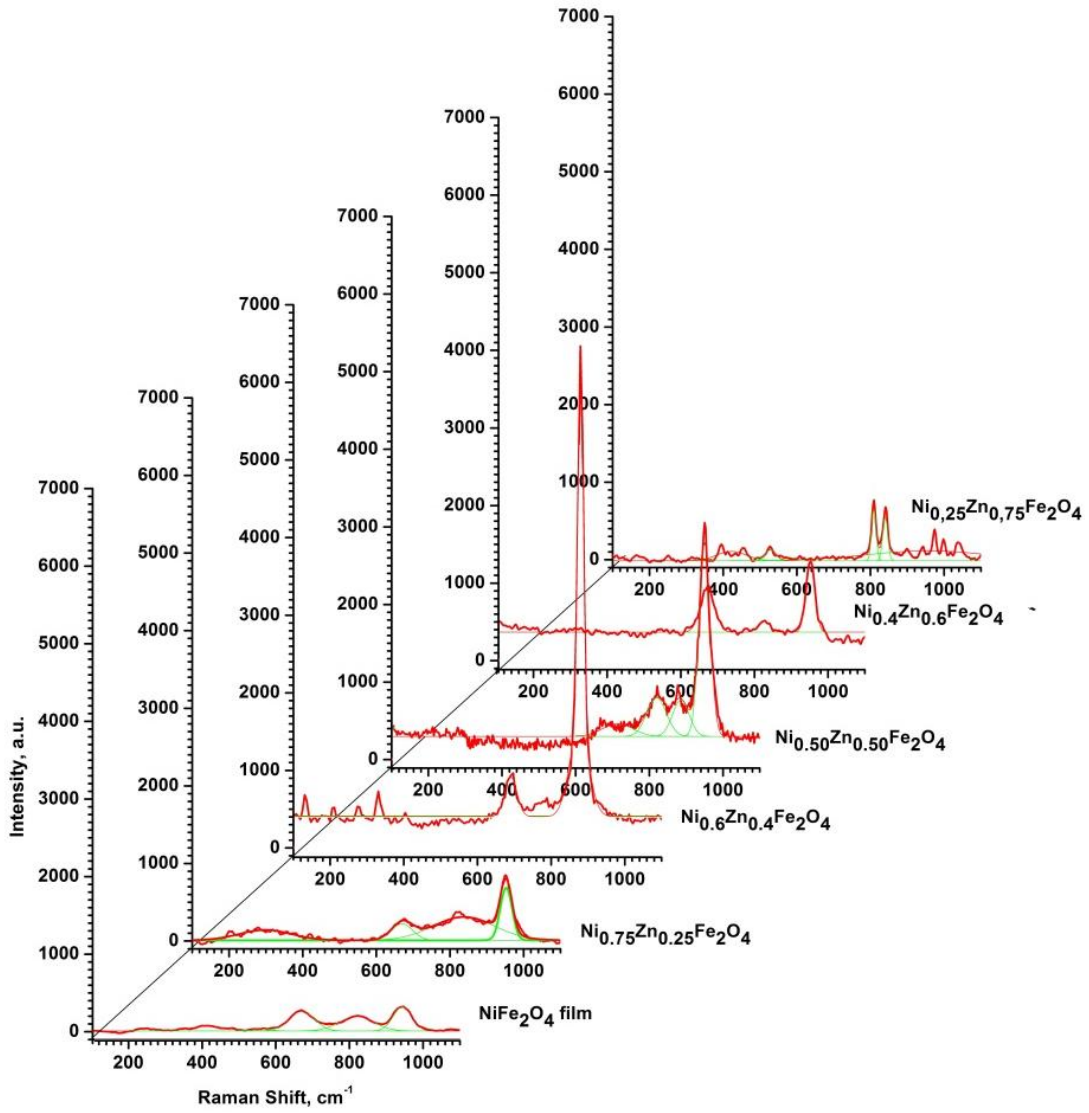
$Ni_{0.40}Zn_{0.60}Fe_2O_4$ ferritində maqnit həyəcanlanmanın mövcud olması və təbiəti haqqında [31] işində məlumat verilmişdir. Bu işində kiçik bucaq altında neytron səpilməsinin energetik analizi həyata keçirilmişdir və göstərilmişdir ki, $Ni_{0.40}Zn_{0.60}Fe_2O_4$ ferritində mübadilə (qəfəslər arası və qəfəs daxili) qarşılıqlı təsirlərin rəqabəti ilə şərtlənən qeyri-bircins maqnit struktur uzununa dalğa maqnit həyəcanlanma vəziyyətinin sıxlığının artmasına səbəb olur (w - domen sərhəddin rəqslərinə uyğun həyəcanlanma və nw -domen sərhəddi yaxınlığında lokallaşan həyəcanlanma). Bir-birinə antiparalel yerləşən qonşu domenlərin maqnitlənmə rəqslərinin dipol qarşılıqlı təsirinə görə, domen sərhədləri yaxınlığında lokallaşan nw - həyəcanlanma enerjisi daxili domenli maqnonların enerjisindən fərqlənir. Uzun dalğa oblastında w - və nw həyəcanlanmaları hətta izotrop ferromaqnitlərdə sıfırdan fərqli enerjiyə malik olurlar. Ferrimaqnitlərdə spin dalğalarının təcrübi dispersiya əyriləri maqnit həyəcanlanma halının sıxlığının böyük olması nəticəsində energetik yarığa malik olmalıdır. Doğurdan da, belə energetik yarıq $Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe_2O_4$ ferritində aşkar edilmişdir [32]. [33] işində $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin neytronoqrammalarında $4.2K$ temperaturda spinlərin perpendikulyar proyeksiyalarının nizamlı düzülüşü nəticəsində yaranan heç bir diffraksiya effekti aşkar olunmamışdır. Lakin, $x(Zn) = 0.60, 0.68, 0.75$ konsentrasiyalarında aşağı temperaturlarda qeyri-kollinear maqnit strukturu üçün xarakterik olan yüksək sahə qavrayıcılığı özünü biruzə verir və maqnit momentlərinin z -proyeksiyalarının maqnit qeyri-bircinsliyinin əmələ gəlməsi nəticəsində kiçik bucaqlı intensiv neytron səpilməsi müşahidə olunur. Maqnit qeyri-bircinsliyinin effektiv ölçüsü $1-10nm$ təşkil edir. $x(Zn) = 0.90$ və 1.0 konsentrasiyalarında $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrimaqnit deyil və $x(Zn) = 0.90$ tərkibində uzaq maqnit düzülüşü müşahidə olunmur və yalnız yaxın antiferromaqnit düzülüşü müşahidə olunur. $ZnFe_2O_4$ -də antiferromaqnit nizamlı düzülüşün xüsusiyyətləri ətraflı şəkildə [34] işində tədqiq olunmuşdur.

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində maqnit struktur mövcud olmasına heç bir şübhə yoxdur. Lakin bu ferritlərin Raman spektrlərində maqnit həyəcanlanmasının müşahidə olunmasına aid elmi nəşrlər rast gəlinmədi. NiO -da olduğu kimi, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin verilmiş tərkibli nazik təbəqələrinin Raman spektrlərində təcrübi müşahidə olunan spektral xüsusiyyətlərinin interpretasiyası üçün bu tərkiblərdə maqnit strukturunun dəyişmə xarakterini nəzərə alınması vacibdir. Bu dəyişmələr $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin iki növ qəfəsdən-normal və çevrilmiş spinlərdən ibarət olması ilə əlaqəlidir. $x=0,4\div 0,6$ diapazonunda Fe^{3+} ionlarının miqdarının dəyişməsi ilə bu altqəfəslərin hər birinin qatqısı dəyişir və beləliklə adacıqların ölçüsü, xətlərin tezliyi və intensivliyi dəyişir (Şək.52,b). $x=0,4\div 0,6$ diapazonunda “yeni” spektral xətlərin birincisi üçün tezliyin dəyişmə xarakteri birinci növ faza keçidinə oxşar, qəfəslərin hər birinin qatqısının dəyişmə prosesini dəqiqliklə nümayiş etdirir (52,a). Burada iki asılılıq müşahidə olunur. Maraqlıdır ki, birinci və ikinci spektral xəttin tezliklərinin dəyişmə xarakterləri arasında oxşarlıq azdır. İkinci spektral xətdə intensivliyin dəyişmə xarakteri tərkibin ümumi strukturunda iki strukturun qatqısının bərabər olmasını vurğulayır. $Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ -də xəttin nisbi intensivliyi

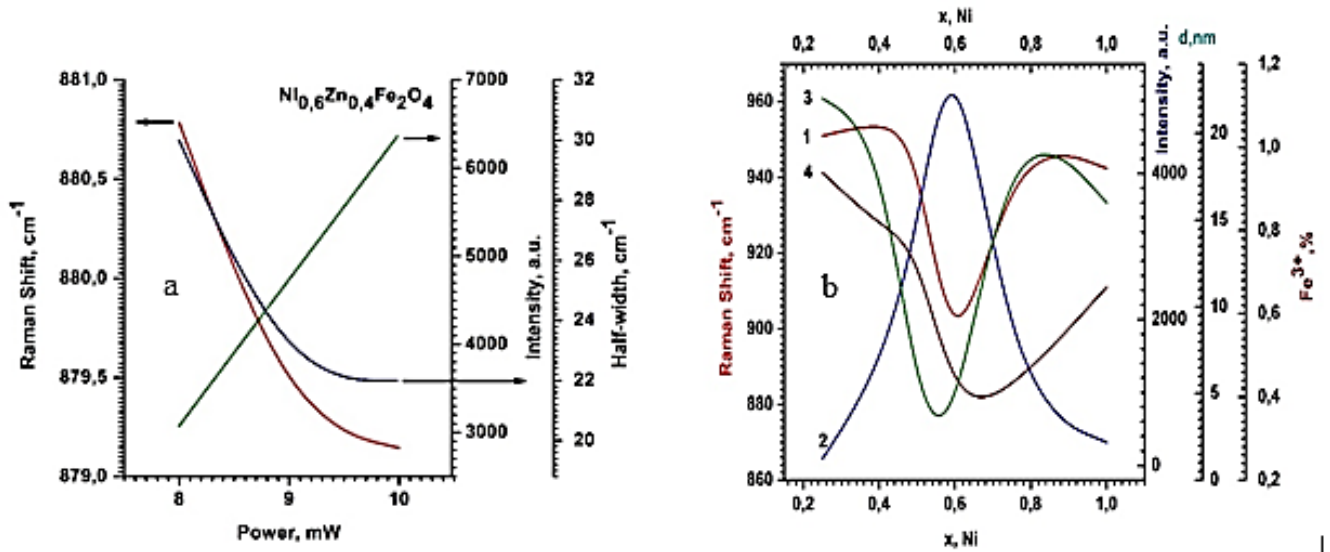
$7 \cdot 10^3$ -ə qədər çatır. Qeyd edək ki, bu tərkib maqnit nüfuzluğunun kəskin artması ilə xarakterizə olunur. Məlum olduğu kimi $Ni_{0,7}Zn_{0,3}Fe_2O_4$ tərkibində maqnit nüfuzluğu maksimal qiymət alır [6]. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin nazik təbəqələri üçün alınmış MAQM profilləri $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$ tərkibli təbəqədə maqnit domenlərinin ölçüsünün kiçildiyini göstərir. Digər tərəfdən, antiferromaqnit FeF_2 -nin Raman spektrlərinin tədqiqində $\vec{k}=0$ dalğa vektorlu spin dalğasının həyəcanlanması və antiferromaqnit rezonansı ilə müəyyən olunan bircins pressesiya tezliyinə uyğun maksimumdan əlavə Brüllüon zona sərhəddində spin dalğasının ikiləşmiş enerjisində uyğun tezlikli kifayət qədər intensivliyə malik maksimum müşahidə olunur. Həyəcanlanma şüalanmasının z oxuna paralel yaxud perpendikulyar polyarlaşması zamanı $A (\pm\pi/\alpha, \pm\pi/\alpha, \pm\pi/c)$ yaxud $X (\pm\pi/\alpha, 0, 0)$ və $(0, \pm\pi/\alpha, 0)$, yalnız kritik nöqtələrə yaxın nöqtələrdə maqnonlar nisbətən daha güclü həyəcanlanırlar. İkimaqnonlu səpilmənin intensivliyi maqnit düzülüşündən asılıdır. Elektron polyarizasiyasının daha çox hissəsi ferromaqnit və antiferromaqnitlərin ikimaqnonlu səpilməsində əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Maqnit anizotropiyasının enerjisi mübadilə enerjisi ilə müqayisə olunduğu halı istisna olmaqla, bu ferromaqnetiklərdə müşahidə olunmur. İzah üçün əsas mahiyyəti onun maqnit ionları arasında qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan spin dalğası ilə kristalın polyarizasiyasında olan mübadilə mexanizmi təklif olunmuşdur. Bu modeldə ikimaqnonlu səpilmənin ekstinksiya əmsalı üçün ifadə aşağıdakı şəkildə olur.

$$\eta \cong \frac{\omega}{c} \cdot \left(\frac{E_{ex}}{E_{cr}}\right)^2 \cdot \left(\frac{a}{\lambda}\right)^3 cth \frac{h\omega_0}{2\pi k_B T},$$

burada ω_0 – kristalın maqnitlənməsinin bircins presessiya tezliyidir (ferro- yaxud antiferromaqnit rezonans tezliyidir); ω və λ - kristala düşən işığın tezliyi və dalğa uzunluğudur; E_{cr} –Ştark qarşılıqlı təsirinin enerjisidir (kristal sahəsində səviyyələrin parçalanması); E_{ex} – spin–orbital qarşılıqlı təsir enerjisi təribində olan mübadilə qarşılıqlı təsir enerjisi. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, ikimaqnonlu səpilmənin intensivliyi birmaqnonlu səpilmə tərtibindədir və fononlarda səpilmədən zəifdir. Müşahidə olunan ikimaqnonlu xətlər xarici maqnit sahəsinə tətbiq etdikdə də öz yerini dəyişmir. Bunu, eyni zamanda həyəcanlanan maqnonun spin dalğasının iki budağına aid olması kimi başa düşmək asandır. Həyəcanlanma Zeeman enerjisini saxlamaqla hər bir alt qəfəsdən spini bir vahid azaldır. Adətən temperatur artdıqda işığın maqnon səpilməsi zəifləməyə başlayır, xətlər isə genəlir, Küri temperaturundan yuxarı temperaturlarda işığın paramaqnit səpilməsi zəif və yayılındır. Lakin T_c -a yaxın temperaturlarda baxdığımız spin sistemlərdə işığın kritik səpilməsi gözlənilir. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ bərk məhlullarında müşahidə olunan yüksək intensivlikli maksimumun xarici maqnit sahəsinin gərginliyindən asılılığının olmaması onun [35] işində təklif olunan analogi interpretasiyasını mümkün edir. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri onlara normal rəqslərin spektrlərinin qatqısını, maqnon və maqnon –fonon qarşılıqlı təsirini nəzərə almaqla daha doğru interpretasiya olunur. Bu isə xüsusilə iki altqəfəsli ferritlərdə fenomenoloji relaksasiya nəzəriyyəsi baxımından daha da inandırıcıdır. Bu nəzəriyyənin əmələ gəlməsi bəzi təcrübi faktlarla əlaqəlidir: femtosaniyəli lazerin impulsları ilə metallik ferromaqnitlərin qızdırılması zamanı bir neçə pikosaniyə müddətində materialın maqnitlənməsi dəyişir; 100 femtosaniyədən aşağı uzunluqlu lazerin impulslarının təsiri ilə altqəfəslərin maqnitlənmə istiqaməti dəyişir və s. Məlumdur ki, ferrimaqnitlərdə maqnit xassələrinin öyrənilməsində əsas marağı $\vec{M} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2$ maqnitlənmə vektorunun uzunluğunun relaksasiya proseslərinin və eninə və uzununa dalğaların maqnonlarının sönməsini təyin edən $\vec{L} = \vec{S}_1 - \vec{S}_2$ antiferromaqnitizmin öyrənilməsi kəsb edir. Altqəfəslər arası mübadilə qarşılıqlı təsiri və altqəfəs daxili güclü mübadilə qarşılıqlı təsiri ilə şərtlənən antiferromaqnit vektorunun uzunluğunun relaksasiya prosesi daha sürətlə baş verir. Optik modların sönməsi antiferromaqnit vektorunun uzunluğunun relaksasiya müddətində iştirak edən mübadilə sabiti ilə təyin olunur.



Şək. 51 Sapfir altlığı üzərində sintez olunmuş $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0;0,25;0,4;0,5;0,6;0,75;1,0$) ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri

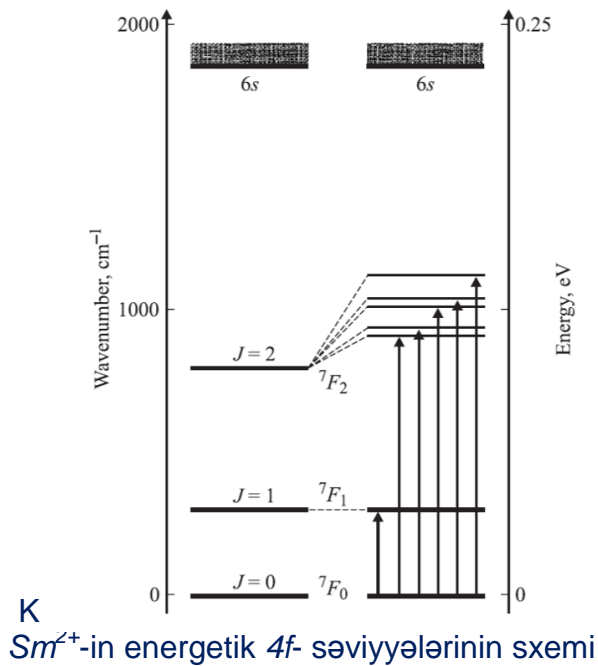


Şək.52 a. $Ni_{0,60}Zn_{0,40}Fe_2O_4$ təbəqəsində 880cm^{-1} Raman xəttinin tezlik, intensivlik və yarıməninin həyəcanlandırıcı işığın gücündən asılılığı; b.Xəttin tezlik (1) və intensivliyinin (2), maqnit klasterlərinin ölçülərinin(3), Fe^{3+} ionlarının miqdarının(4) $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nazik təbəqələrinin tərkibindən asılılığı

SmS-in İQ, Raman və EPR spektrləri

Metal və yarımkəçirici halda SmS birləşməsi Van-Flekovski paramaqrnitidir. Samarium ionlarının $3t_{2g}-5t_{2g}$ elektron orbitinin və kükürdün $t_{2g}-3p$ -elektron orbitinin örtüyünün birbaşa hibridləşməsi nəticəsində samarium spinləri arasında ferromaqrnit mübadilə qarşılıqlı təsirinə malik qarışıq zonalar formalaşır. Sm^{3+} aşqarının mövcud olması EPR-tədqiqatları nəticəsində təyin oluna bilər, belə ki, Sm^{3+} -in əsas halı Γ_7 dubletidir. SmS kristalı üçün bütün istiqamətlərdə təcrübi olaraq g – faktorun orta qiyməti $g=0.7 \pm 0.02$.

300K temperaturunda SmS-in diffuz əks olunma İQ spektrləri şəx. 53-də göstərilmişdir. SmS-in İQ spektrləri beş xarakterik maksimumla xarakterizə olunur (cədvələ bax) və ФТП, 2009, т.43, вып.3, с.324-328 işi ilə uyğunluq təşkil edir. Maksimumların vəziyyəti spektrlərin Gauss komponentlərinə parçalanması ilə aydınlaşdırılır. Müşahidə olunan əks olunma maksimumları Sm^{2+} -in 4f elektronlarının ${}^7F_0 \rightarrow {}^7F_2$ keçidinə uyğundur (konfiqurasiya və term: $f^6({}^7F_0)$). Spektral maksimumların sayı $J=0,1,2$ -də multiplət $2J+1$ parçalanmasına uyğundur. Yuxarıda qeyd olunan işin müəllifinin elektron səviyyələrinin aşağıda göstərilən sxem üzrə parçalanması güman edilərək bu fakt ilə təsdiq olunur:



Qeyd edək ki, SmS-in metal halında yuxarıda göstərilən maksimumlar yox olur. Bu effekt samarium ionlarının ikivalentli haldan üçvalentli hala keçidi ilə bağlıdır. SmS təbəqəsində cızıqların olması bu nümunənin lüminensensiya spektrində Sm^{2+} və Sm^{3+} ionlarının spektral maksimumlarının iştirakına səbəb olur (şəx.53). Sm^{2+} ionlarının spektral maksimumları 675 - 1100nm oblastında, Sm^{3+} ionlarının spektral maksimumları isə 500-675nm oblastında yerləşir. Cızılmış SmS təbəqəsinin fotolüminensensiya spektri həm yarımkəçirici, həm də metal fazanın olmasını təsdiq edir. SmS-in infraqırmızı spektrinin yarımkəçirici fazasına uyğun maksimumlarının vəziyyəti cədvəldə göstərilmişdir.

	Dalğa uzunluğu, sm^{-1} (hazırkı iş, Gauss)	Dalğa uzunluğu, sm^{-1} (digər müəlliflər)
1.	925	915
2.	969	940
3.	1023	1011
4.	1042	1034
5.	1128	1119

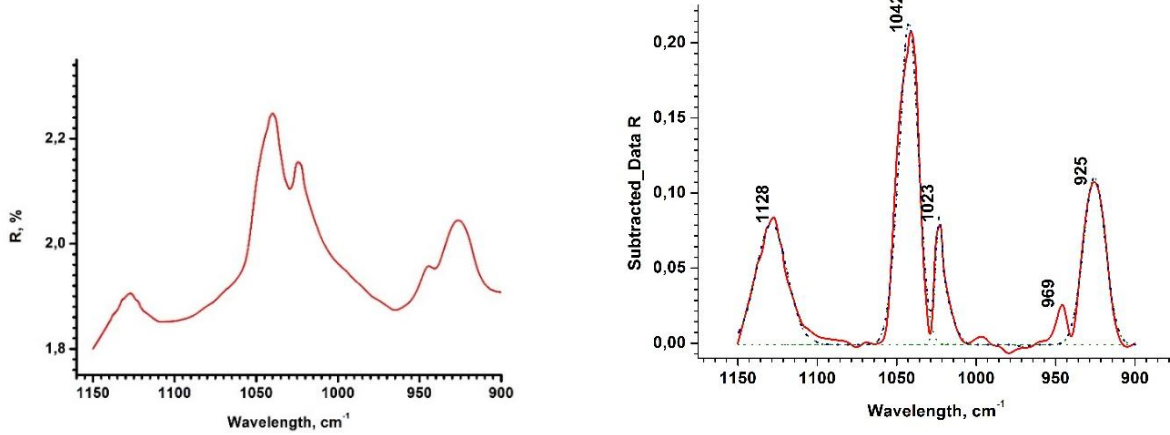
Şəkil 54-də saphir altlıqlı, 50 nm qalınlığa malik yarımkəçirici SmS nazik təbəqəsinin 300K temperaturunda Raman spektri göstərilmişdir.

Raman spektr $50 - 1100sm^{-1}$ oblastında tədqiq olunmuşdur. Müşahidə olunan 7 - $281 sm^{-1}$, 8 -

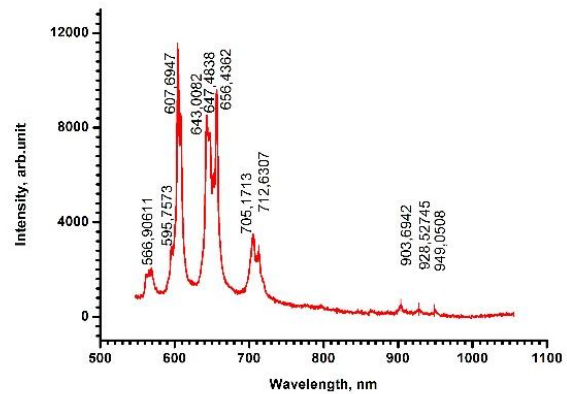
402 cm^{-1} və 9 – 794 cm^{-1} maksimumları 7F_1 , ${}^7F_1 \rightarrow {}^7F_2$ və ${}^7F_0 \rightarrow {}^7F_2$ keçidlərinə uyğundur. ${}^7F_1 \rightarrow {}^7F_2$ keçidinə uyğun maksimum yüksək intensivliyə malikdir.

Məlumdur ki, nadir torpaq elementlərinin ionları 4f- yaxud 6s təbəqəsini tutur. İkivalentli ionlar $4f^{n+1}$ konfigurasiyaya, üçvalentli ionlar isə $4f^n$ konfigurasiyaya malikdir, burada $n=Z-57$ və Z-lantanoidin atom nömrəsidir. Belə ki, Sm^{2+} ionları üçün $n=5$ və konfigurasiya $4f^6$ -dir və Sm^{3+} üçün isə konfigurasiya - $4f^5$ -dir. $6s^2$ –elektron təbəqəsi qapalıdır. Buna görə də, atomların və ikivalentli ionların əsas spektroskopik halları arasındakı əlaqə LS-tipinə yaxın olan yalnız f-təbəqəli elektronlarla, yəni Hund qaydası ilə təyin olunur. Uyğun olaraq, elektronlar arasındakı əlaqənin təmiz LS-tipli olduğu fərz edilərək Sm^{2+} -də 7F əsas multipletin enerji səviyyələrinin qiymətləri hesablanmışdır: 3981 cm^{-1} , 3099 cm^{-1} , 2257 cm^{-1} , 1481 cm^{-1} , 808 cm^{-1} , 291 cm^{-1} , 0. SmS ilə müqayisə (enerjinin təcrübi qiymətləri 4021, 3125, 2273, 1490, 812, 293, 0 cm^{-1}) Sm^{2+} -də $6s^2$ elektronlarının iştirak etməməsi praktiki olaraq elektronların spektrlərinə təsir etmədiyi nəticəsini çıxarmağa imkan verir. Digər tərəfdən, 7F_0 əsas halı üçün EPR spektrlərindən təyin olunan g-faktorun qiyməti sıfıra bərabərdir, 7F_1 halı (Sm^{3+} -ə uyğun multipletin birinci həyəcanlanmış halı) və uyğun olaraq, nəzəri qiyməti $g=2/7$ olan ${}^6H_{7/2}$ konfigurasiyası üçün isə g-faktorun qiyməti 2.07516 ($g_s=0.0715$, $H=327,323077\text{mT}$) və enerji isə 1042 cm^{-1} -dir.

EPR tədqiqatlar eyni tezlikdə və dəyişən maqnit sahəsində aparıldığından spektrin dəqiq forması ionların payından Δ^2 və keçidi stimullaşdırıcı sahədən asılıdır.



Şək.53 300K temperaturunda yarımkəçirici SmS -in diffuz əks olunma infraqırmızı spektri və spektrin Gauss funksiyası ilə aproksimasiyası.



Şək.54 Saphir altlıqlı və 50 nm qalınlığa malik yarımkəçirici SmS nazik təbəqəsinin $\lambda=532\text{nm}$ dalğa uzunluqlu titan-saphir lazeri ilə həyəcanlandırmaqla, 500 – 1100nm oblastında və 300K temperaturunda Raman və fotoluminensensiya spektrləri.

TERAHERS KONVERTOR

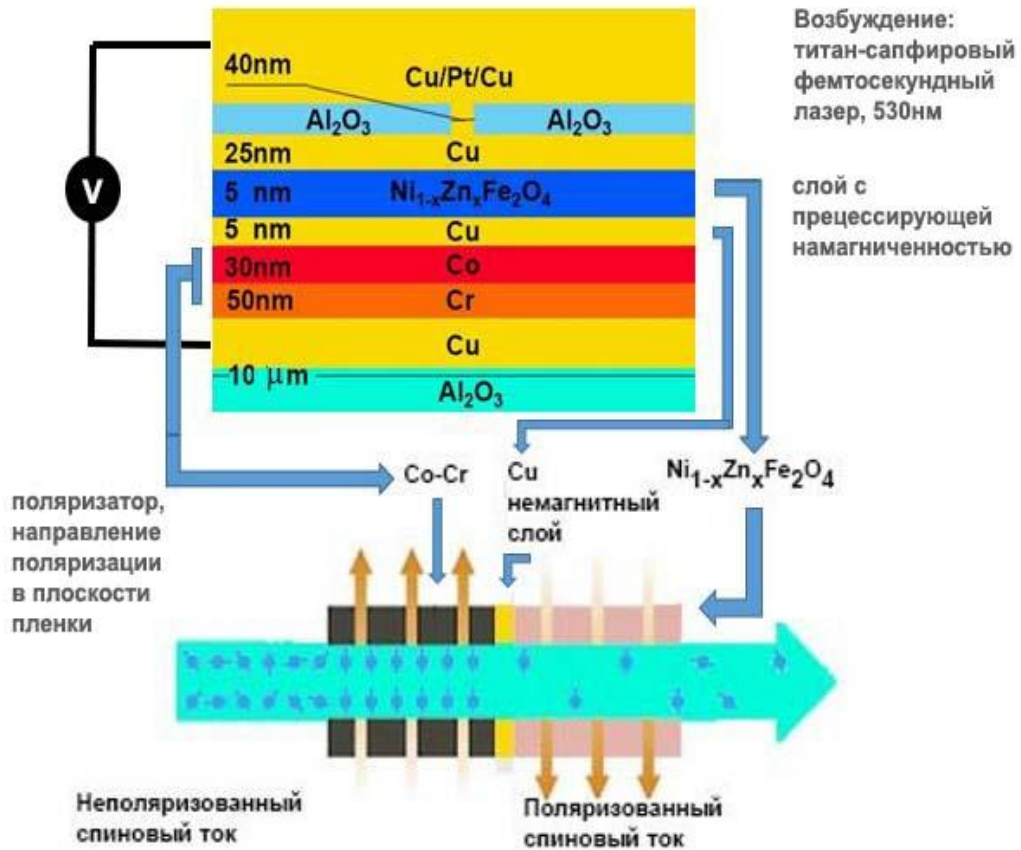
0.8mm qalınlıqlı və 8mm diametrlı Al_2O_3 lövhəciyinin səthinə termovakuum çökdürmə metodu ilə sintez olunmuş, qalınlığı 20nm olan $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$ nazik təbəqəsindən konvertorun (532nm --> 26.4Thz) aktiv elementi kimi istifadə etmək təklif olunur.

0.8mm qalınlıqlı və 8mm diametrlı Al_2O_3 lövhəciyinin səthinə termovakuum çökdürmə metodu ilə sintez olunmuş, qalınlığı 20nm olan SmS nazik təbəqəsindən konvertorun (532nm --> 12THz) aktiv elementi kimi istifadə etmək təklif olunur.

SPİN GENERATOR

İşdə “point contact” konstruksiya tipli spin generatorun işləmə rejimi müəyyən edilmişdir. Çoxlaylı spin-ventil strukturunu kimi belə strukturdan istifadə olunmuşdur.: aşağı kontakt – Cu; yuxarı kontakt-Cu/Pt/Cu; fiksə maqnitlənməli (Co-Cr) – layı; presessiya edən maqnitlənməli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ layı, burada $x=0,6$ yaxud 0,5; 0,4; qalınlıq və layların ardıcılığı: Cr - 50nm; Co - 30nm ; Cu -10nm; $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ - 5nm; Cu - 25nm; Cr - 30nm.

“Bərkidilmiş” lay kimi kobalt-xrom ferromaqnitindən istifadə olunur. Presessiya edən maqnitlənməşlay kimi qalınlığı (təqribən 5nm) spin-diffuziya uzunluğundan azacıq böyük olan $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrimaqnitindən istifadə olunmuşdur. Qeyd edək ki, «point contact»-ın konstruksiyası çoxlaylı ola bilər – hər bir modulyasiya edici lay Ni-Zn ferrit/Cu/Co-Cr –dən ibarətdir. Spin generatorun strukturunu və iş prinsipi şəx 55-də göstərilmişdir.



Şək.55 Spin generatorunun strukturunun ümumi görünüşü və onun işləmə prinsipi

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit-dielektrik-metal strukturunda səth dalğaları

Ni-Zn ferrit-dielektrik-aluminium strukturunda maqnitostatik səth dalğasına (MSW) xarakterik olan hesablamaların nəticələri şəx.55-da verilmişdir: ω - tezliyin, v_g – dalğanın qrup sürətinin, N –qeyri-xəttilik əmsalının, β_2^{\parallel} -qrup sürətinin dispersiyasının, $N\beta_2^{\parallel}$ - dayanıqsız maqnitostatik

dalğanın yaranma şərtinin, β_2^\perp -difraksiya əmsalının uyğun olaraq k dalğa vektorundan və dielektrik layın t qalınlığından asılılığı göstərilmişdir. 1, 2, 3, 4, 5-ə uyğun olaraq, dielektrik layının qalınlığı : 0.001, 0.004, 0.016, 0.064, 0.256 sm.

$$\beta_2^\perp = \left[\frac{d^2 \omega(k_y, k_z)}{dk_z^2} \right]_{k_z=0}$$

$$= - \left\{ \frac{1 + \mu + [1 + \mu + \alpha(\mu + \mu_a - 1)] - t\alpha k(\mu^2 - \mu_a^2 + 2\mu_a - 1)\tanh(kd)}{\frac{k^2}{\omega_m \omega_h \omega} \{2(\mu - 1)\omega^2 + [2\mu(\mu - 1)^2 \omega^2 (1 + \alpha) - \mu_a \omega_h (\omega_m + 2\omega \mu_a) [\mu_a - \alpha(1 - \mu_a)]] \tanh(kd)\}} \right\}$$

$$- \left\{ \frac{\frac{dk}{2\mu} [\mu^2 - \mu_a^2 + 1 + \alpha(\mu^2 - \mu_a^2 + 2\mu_a - 1)[1 - \tanh^2(kd)]]}{\frac{k^2}{\omega_m \omega_h \omega} \{2(\mu - 1)\omega^2 + [2\mu(\mu - 1)^2 \omega^2 (1 + \alpha) - \mu_a \omega_h (\omega_m + 2\omega \mu_a) [\mu_a - \alpha(1 - \mu_a)]] \tanh(kd)\}} \right\}$$

$k_z = 0$ olduqda, digər əmsallar üçün qeyri-xətti Şredinger tənliyi aşağıdakı şəkildə olur.

$$e^{-2kd} = \frac{(\mu - \mu_a + 1)[\mu + \mu_a + th(kt)]}{(\mu + \mu_a - 1)[\mu - \mu_a - th(kt)]}$$

Buradan

$$\omega = \frac{\omega_m}{4} \alpha(1 - \beta) + \frac{1}{4} \{ [2(\omega_m + 2\omega_h) + \omega_m \alpha(1 - \beta)]^2 - 4\omega_m^2 \beta \}^{1/2},$$

dalğanın qrup sürəti ($\alpha = e^{-2kt}$; $\beta = e^{-2kd}$) və dalğanın dispersiyası:

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} = -\frac{\omega_m}{2} [t - (t + d)\beta] \alpha$$

$$- \frac{\omega_m}{2} \{ [t - (t + d)\beta] \alpha \{ (2(\omega_m + 2\omega_h) + \omega_m \alpha(1 - \beta))^2 - 4\omega_m^2 \beta \} - 2\omega_m d\beta \}$$

$$/ \{ (2(\omega_m + 2\omega_h) + \omega_m \alpha(1 - \beta))^2 - 4\omega_m^2 \beta \}^{1/2}$$

$$\beta_2^\parallel = \frac{d^2 \omega}{dk^2} = \omega_m [t^2 - (t + d)^2 \beta] \alpha + \omega_m \{ (2(\omega_m + 2\omega_h) + \omega_m \alpha(1 - \beta))^2 - 4\omega_m^2 \beta \}^{-3/2}$$

$$\cdot \{ ((2(\omega_m + 2\omega_h) + \omega_m \alpha(1 - \beta))^2 - 4\omega_m^2 \beta) [(2(\omega_m + 2\omega_h) + \omega_m \alpha(1 - \beta)) [t^2 - (t + d)^2 \beta] \alpha$$

$$+ \omega_m [t - (t + d)\beta]^2 \alpha^2 - 4\omega_m d^2 \beta] \omega_m ((2(\omega_m + 2\omega_h) + \omega_m \alpha(1 - \beta)) [t - (t + d)\beta] \alpha - 2\omega_m d\beta)^2 \}$$

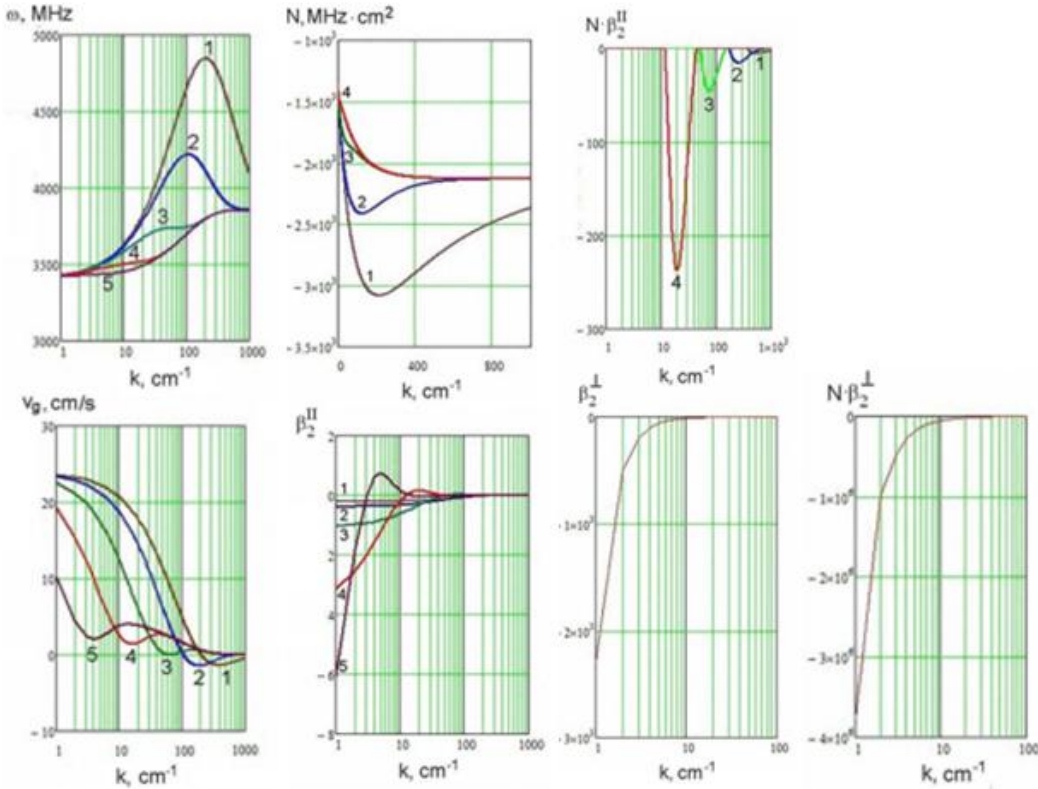
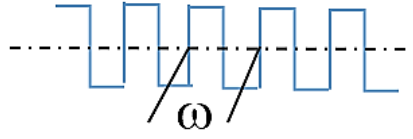
$M_z = M_0 \left[1 - (|m_x|^2 + |m_y|^2) / 2M_0^2 \right]$ ifadəsini $kd \ll 1$, $M_z \approx M_0 - M_0 |\phi|^2 v \omega_m \approx (1 - \phi^2)$ sərhəddində nəzərə alaraq,

$$\left. \frac{d\omega}{d|\phi|^2} \right|_{\phi=0} = -\frac{\omega_m}{4} \alpha(1 - \beta) \frac{\left\{ \omega_m \omega_h [2 + \alpha(1 - \beta)] + \frac{\omega_m^2}{4} [(2 + \alpha)^2 - \beta \alpha^2] (1 - \beta) \right\}}{2 \left\{ \frac{\omega_m^2}{4} [(2 + \alpha)^2 - \beta \alpha^2] (1 - \beta) + 2\omega_m \omega_h [2 + \alpha(1 - \beta)] \right\}^{1/2}}$$

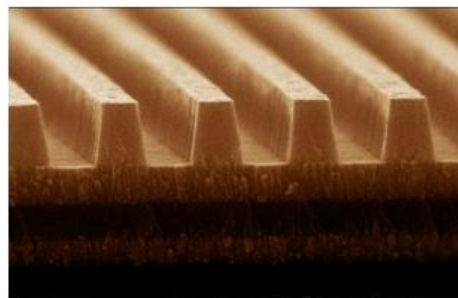
AIST-NT ölçü başlıqlı AFM SmartSPM™ (Tokyo Instruments, Japan) vasitəsi ilə nanoqalınlıqlı $\text{Ni}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ təbəqə səthinin cızılması metodu ilə hazırlanmış paralel cızıqlar şəklində periodik struktur əlavə filtr yaxud generasiya olunan tezliyin modulyatoru kimi istifadə oluna

bilər(şək.56).

Modulyasiya tezliyi difraksiya qəfəsinin periodu ilə təyin olunur. $\text{Ni}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ təbəqəsinin şüalanan 26,4THs rezonans tezliyi 880sm^{-1} , yəni 11mk dalğa uzunluğuna uyğundur (bax şək.57).



Şək.56 (Ni-Zn) ferrit-dielektrik-alüminium strukturunda maqnitostatik səth dalğasının xarakteristikaları



Şək. 57 Qurğunun modulyator elementi

Təbəqə üzərində qeyd edilmiş hissənin ölçüsü femtosaniyə lazerinin işıq ləkəsinin diametrinə ($\sim 0,5 \cdot 10^{-3}\text{m}$ -ə) bərabər, təbəqənin qalınlığının $2 \cdot 10^{-8}\text{m}$, hissəciklərin konsentrasiyasının $5 \cdot 10^{13}$, doyma maqnitlənməsinin isə $2\mu_B$ (burada $\mu_B = \frac{e \cdot \hbar}{m} \approx 10^{-23} \frac{\text{C}}{\text{Tl}}$) olması hesab edilərək, terahers şüalanmanın generasiya gücünün qiyməti nəzəri olaraq təyin edilmişdir:

$$\frac{c}{\mu_0} \overline{B_\theta^2} = \frac{2\mu_0 \left(\frac{\omega}{2\pi}\right)^4 \mu_s^2 N^2}{c^3 r_0^2 n^2} \left(\frac{l}{\Lambda}\right)^2 \frac{\sin^2\left(\frac{kl}{2} \cos \theta\right)}{\left[1 - \left(\frac{k}{k_g} \cos \theta\right)^2\right]^2}$$

Burada θ bucağı müşahidə nöqtəsinə istiqamətlənməni xarakterizə edir, l – dalğa zonasında qəfəsin uzunluğu, N – maqnit hissəciklərin konsentrasiyası, n – tam cüt ədəd, məsələn, 2, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $k_g = \frac{\pi n}{l}$, və $\frac{kl}{2} \cos \theta = \pm \frac{\pi}{2}$ və $r_0 = 1$ nəzərə alsaq:

$$\cos \theta = \pm \frac{\lambda}{2l}; \lambda = l = 880 \text{ sm}^{-1} = 26,4 \text{ THs} = 11 \mu; \theta = \pm 60^\circ;$$

$$\frac{k}{k_g} \cos \theta = \frac{1}{2}; \frac{\sin^2\left(\frac{kl}{2} \cos \theta\right)}{\left[1 - \left(\frac{k}{k_g} \cos \theta\right)^2\right]^2} = \frac{\sin^2\left(\pm \frac{\pi}{2}\right)}{\frac{9}{16}} = \frac{16}{9};$$

$$\frac{c}{\mu_0} \overline{B_\theta^2} \approx \frac{4 \cdot 10^{-7} \cdot (26,4 \cdot 10^{12})^4 \cdot (2 \cdot 5)^2 \cdot 10^{-20}}{27 \cdot 10^{24} \cdot 4} \cdot \frac{16}{9} = 0,32 \cdot 10^4 \frac{\text{Vt}}{\text{m}^2}$$

Beləliklə, $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$ ferrit təbəqəsinin işıqlandırılmış səthinin şüalanma gücü 0,2 mVt –ə bərabər olacaq.

100nm qalınlığa malik saphir altlıqlı $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$ nazik təbəqəsində səth dalğalarının spektr və temperatur asılılıqları tədqiq olunmuşdur (Şək.58). Təbəqənin səthinə həyəcanlandırıcı və qəbuledici elementlər arasında l_1 və l_2 yarığa malik iki çüt mikrozolaqlı yarıqlı antenalar qoyulmuşdur. Uyğun olaraq, yaradılmış mikrozolaqlı strukturun çıxış siqnalı özündə müxtəlif antenalardan iki maqnitostatik səth dalğasının interferensiyasını təmsil edir. Bu halda ekstremimlərdə dalğa vektorunun qiyməti bu ifadələrlə hesanblanır: $k_{min} = \frac{2\pi(2n-1)}{l_2-l_1}$; $k_{max} =$

$$\frac{2\pi n}{l_2-l_1},$$

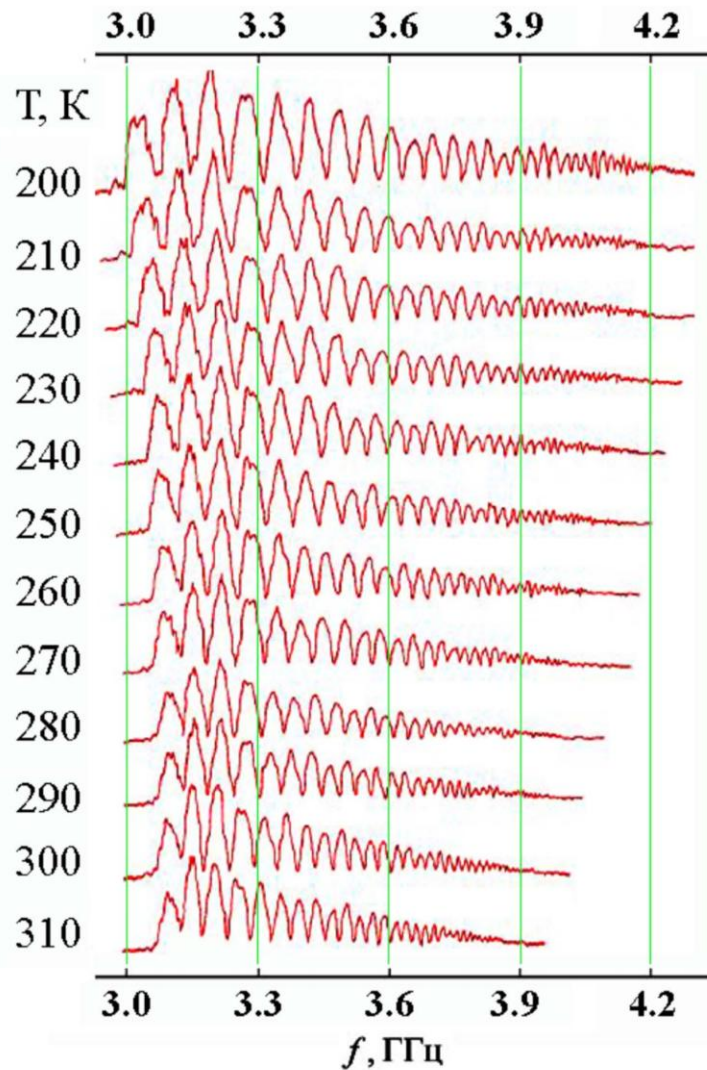
burada $n=1,2,\dots$, a $l_2-l_1 \approx 2\text{mm}$. Yaradılmış mikrozolaqlı struktur təbəqənin səthinə penpendikulyar istiqamətlənmiş 600Oe sabit maqnit sahəsinə yerləşdirilmişdir. Həyəcanlanma tezliklərinin diapazonu səth dalğa spektrinin tezliyini qapayır, belə ki, tezliyin aşağı sərhəddi

$f_0 = g \sqrt{H_0 \cdot (H_0 + 4\pi M(T))}$, ifadəsi ilə qiymətləndirilir. Burada $M(T)$ temperaturdan (T) asılı olaraq təbəqənin maqnitlənməsidir. Qeyd edək ki, səth dalğasının tezliyi dağa ədədinin fikse olunmuş qiymətinə uyğundur. Bu qiymət isə zolaqlı çevricilərin konstruksiyasında verilir və temperaturdan asılı olmur. Uzun dalğa kənarın sürüşməsinin temperatur əmsalı izotrop model yaxınlaşmasında

$$\alpha_{f_0} = \frac{1}{2(H_0 + 4\pi M)} \cdot \frac{d(4\pi M)}{dT}$$

ifadəsi ilə təyin olunur və $\Delta f_0 \approx 0,2$ QHs tezliyində $\alpha_{f_0} \approx -0,2 \cdot 10^{-4}$ dər.⁻¹.

Beləliklə, $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$ təbəqəsi DİQ (dəmir itrium qranat) –dən fərqli olaraq daha termostabildir. Təbəqənin $\Delta f_0 \approx 0,5$ QHs tezliyində temperatur əmsalı $\alpha_{f_0} \approx -0,57 \cdot 10^{-3}$ dər.⁻¹. Lakin, DİQ (dəmir itrium qranat) –dən fərqli olaraq $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$ təbəqəsi üçün uzun dalğa kənarın yaxınlığında temperatur əmsalının işarəsinin inversiya şərti müşahidə olunmadı. Yəqin ki, bu nəticə $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$ təbəqəsinin polikristal olması ilə bağlıdır. Digər tərəfdən isə, ferritdə Zn –in miqdarının artması ($x > 0,4$) ilə anizotropiya sahəsi və doyma maqnitlənməsi azalır. Bu da öz növbəsində $\frac{dH_c}{dT} > \frac{1}{4} \left| \frac{d(4\pi M)}{dT} \right|$ şərtinin yerinə yetrilməsinə səbəb olur və beləliklə, səth dalğa spektrlərinin istənilən tezliyi termostabil ola bilər.



Şək.58 $Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ təbəqəli mikrozolaqlı strukturda generasiya olunmuş maqnitostatik səth dalğasının amplitud tezlik xarakteristikasının temperatur asılılığı.

Aparılmış tədqiqatlar üzrə hesabatı yekunlaşdıraraq, qeyd edə bilərik ki, bu materiallar böyük perspektiviyə malikdir, praktiki olaraq alınmış nəticələr çox qiymətlidir və bu materialların sonrakı tədqiqatı aktualdır.

Ədəbiyyat

- [1]. Ханова А.В. Разработка физико-технологических основ получения плёнок сульфида самария для тензорезисторов и исследование их параметров. Диссертация, Киев, 2000, 161с.
- [2]. А.С. Высоких, П.В. Миодушевский, П.О. Андреев. Получение изделий из SmS для электроники. Вестник ТюмГУ. – 2011. - № 5, - С. 179-185
- [3]. Witten Jr.T.A., Sander L.M. Diffusion-limited aggregation, a Kinetic Critical Phenomenon, Physical Review Letters, 1981, vol. 47, № 19, p.1400–1403
- [4]. Ma J. X., Mazumdar D., Kim G., Sato H., Bao N.Z. and GuptaA. A Robust Approach for the Growth of Epitaxial Spinel Ferrite Films, Journal of Applied Physics, 2010, vol.108, p.063917–063922
- [5]. Рогов В.В. Физико-химические процессы формирования функциональных поверхностей деталей электронной техники и оптических систем из стекла и сапфира, Сверхтвердые материалы, 2009, № 4, с.74-83
- [6]. Шольц Н.Н. Ферриты для радиочастот, 2013, 131 с.

- [7]. Лой В. Парамагнитный резонанс в твердых телах. М.: Иностран. Лит., 1962, 242с.
- [8]. Kavas H.S., Kasapoğlu N., Baykal A.L., Köseoğlu Y.K. Characterization of NiFe₂O₄ nanoparticles synthesized by various methods, Chemical Papers- Slovak Acad. of Sciences; 63, 4; 450-455, 2008, publ. Springer Science + Business Media
- [9]. Gorter E.W., Philips Research Reports, 9, No.4, p. 295-320; No.5, p.321-365; No.6, p.403-443; 1954
- [10]. Charles P. Poole, Electron spin resonance, 1967, 557p.
- [11]. Rinkevich A.B., Ustinov V.V., Samoylovich M.I., Belyanin A.F., Klesheva S.M., Kuznetsov E.A. *Technologiyai konstruirovaniyeelektronnoy apparaturi*, 2008, №4b, p.55
- [12]. Farmer V.C. *The Infrared Spectra of Minerals*, 539 pp., Mineral. Soc., London, 1974
- [13]. Zhou Xin, Hou Zhi-Ling, Ling Feng, Qi Xin Magnetic properties of Ni-Zn ferrite prepared with layered precursor method, *Chin Phys. Lett.*, vol.27, No2, 2010, p. 117501-1-117501-4
- [14]. Юрков Г.Ю., Губин С.П., Панкратов Д.А., Кокшарев Ю.К., Козинкин А.В., Спичкин Ю.И., Недосейкина Т.И., Пирог И.В., Власенко В.Г., Наночастицы оксида железа (III) в матрице полиэтилена. *Неорганические материалы*, 2002, т.38, №2, с.186-195
- [15]. Sharma V.K., Waldner F. Superparamagnetic and Ferrimagnetic Resonance of Ultrafine Fe₃O₄ Particles in Ferrofluids, *J. Appl. Phys.* 1977. V. 48. № 10. P. 4298
- [16]. De Biasi R.S., Devezas T.C. Anisotropy Field of Small Magnetic Particles as Measured by Resonance, *J. Appl. Phys.* 1977. V. 49. № 4. P. 2466-2470
- [17]. Koksharov Yu.A., Pankratov D.A., Gubin S.P., I.D. Kosobudsky, Y. Khodorkovsky M. Beltran A.M. Tishin *Electron Paramagnetic Resonance of Ferrite Nanoparticles*, *J. Appl. Phys.* 2001. V. 89. № 4. P. 2293-2298
- [18]. Nagata K., Ishihara A. ESR of Ultrafine Magnetic Particles, *J. Magn. Magn. Mater.* 1992. V. 104-107. P. 1571-1573
- [19]. Santosh S. Jadhav, Sagar E. Shirsath, B. G. Toksha, S. J. Shukla, K. M. Jadhav Effect of Cation Proportion on the Structural and Magnetic Properties of Ni-Zn Ferrites Nano-Size Particles Prepared By Co-Precipitation Technique, *Chinese Journal of Chemical Physics*, vol.21, N4, 2008, p.381-386
- [20]. Tehrani F.Sh., Daadmehr V., Rezakhani A.T., Akbarnejad R.H., Gholipour S. Structural, magnetic, and optical properties of zinc- and copper- substituted nickel ferrite nanocrystals, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 03/2012; 25(7).
- [21]. Gagan Dixit, J.P. Singh, R.C. Srivastava, H.M. Agrawal, R.J. Chaudhary Structural, magnetic and optical studies of nickel ferrite thin films, *Adv.Mat. Lett.* 2012,3(1),21-28
- [22]. Ivanov V.G., Abrashev M.V., Iliev M.N., Gospodinov M.M., Meen J., Aroyo M.I. Short-Range B-site Ordering in Inverse Spinel Ferrite NiFe₂O₄, *Phys. Rev. B* 82, 024104 (2010)
- [23]. Cazzanelli E., Kuzmin A., Mariotto G., Mironova-Ulmane N. Study of vibrational and magnetic excitations in Ni_cMg_{1-c}O solid solutions by Raman spectroscopy, *J. Phys. Condens. Mat.* 15, 2045 (2003)
- [24]. Dietz R.E., Brinkman W.F., Meixner A.E., Guggenheim H.J. Raman Scattering by Four Magnons in NiO and KNiF₃, *Phys.Rev. Lett.* 27, 814 (1971)
- [25]. Dietz R.E., Parisot G.I., Meixner A.E. Infrared Absorption and Raman Scattering by Two-Magnon Processes in NiO, *Phys.Rev. B* 4, 2302(1971)
- [26]. Grimsditch M., Kumar S., Goldman R.S., *J. Magn. Magn.Mater.* 129, 327 (1994)
- [27]. Grimsditch M., L.E. McNeil, D.J. Lockwood Unexpected behavior of the antiferromagnetic mode of NiO, *Phys.Rev. B* 58, 14462 (1998)
- [28]. Lazarević Z. Ž., Jovalekić Č., Milutinović A., Sekulić D., Ivanovski V.N., Rečnik A., Cekić B., and Romčević N.Ž. Nanodimensional spinel NiFe₂O₄ and ZnFe₂O₄ ferrites prepared by soft mechanochemical synthesis, *Journal of Applied Physics*, 113, 187221 (2013)
- [29]. Wang Z., Schiferl D., Zhao Y., H.St. C. O'Neill High pressure Raman spectroscopy of spinel-type ferrite ZnFe₂O₄, *J. Phys. Chem. Solids* 64, 2517-2523 (2003)

- [30]. Akansha Mishra, Laxmi Mishra , S. Mukherjee Study of variation in property of ferrites for microwave application due to change in particle size, Proc. of 7th IRF Intern. Conf., 27th April-2014, Pune, India
- [31]. Михайлов Ю.Н., Казанцев В.А. Влияние нейтронного облучения на длинноволновые магнитные возбуждения в $Zn_{0.60}Ni_{0.40}Fe_2O_4$ -феррите, ФТТ, 2010, том 52, вып. 5, с.894-897
- [32]. Лукомский В.П. Нелинейные магнитостатические волны в ферромагнитных пластинах Укр.физ.журн. 1978, т.23, №1, с.134-139
- [33]. Чукалкин Ю.Г., Теплых А.Е. Магнитное состояние никель-цинковых ферритов в области больших концентраций цинка, ФТТ, т.40, №8, с.1503-1504
- [34]. Чукалкин Ю.Г., Штирц В.Р. Особенности магнитного состояния $ZnFe_2O_4$, ФТТ 30, 10, 2919 (1988)
- [35]. Lu Zhang, Fan Zhang, Wen-Fei Dong, Jun-Feng Song, Qi-Sheng Huob and Hong-Bo Sun Magnetic-mesoporous Janus nanoparticles, Chem. Commun., 2011, **47**, 1225-1227

Üsullar

1. **Yüksəktemperaturlu sintez**
2. **Termovakuum tozlandırma metodu**
3. **Rentgen difraktometri ilə D8 ADVANCE və D2 PHASER (Bruker, Germany)**
4. **AIST-NT ölçü başlıqlı və almaz iynə ucluğa malik SmartSPM™atom-qüvvə mikroskopu**
5. **3D Laser Raman Microspectroscopy Nanofinder 30 (Tokyo Instruments, Japan) konfokal ölçülər**
6. **Furie spektrometer Vertex 70 (Bruker, Germany)**
7. **EPR spectrometer ELEXSYS IIE500 Bruker (Germany)**

2

Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (faizlə qiymətləndirməli)

(burada doldurmalı)

- I. **Sapfir altlıqlı nazik SmS və (Ni,Zn)-ferrit təbəqələrinin sintezi - 100%**
- II. **Sapfir altlığın səthinin modifikasiyasının və keyfiyyətinin öyrənilməsi - 100%**
- III. **Sapfir altlığın səthində nanoölçülü təbəqələrin çökdürmə keyfiyyətinin öyrənilməsi - 100%**
- IV. **AQM texnoloji rejimində relyef nanoelementlərin yaradılma texnologiyasının müəyyən edilməsi - 100%**
- V. **Yaradılan nanoelementlərin statik, aşağı-, yüksək- və ifratyüksək tezlikli elektrik xəssələri - 100%**
- VI. **Yaradılan nanoelementlərin statik, aşağı-, yüksək- və ifratyüksək tezlikli maqnit xəssələri - 100%**

3

Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr** (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcürbi əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)

(burada doldurmalı)

- a. **Yüksəktemperaturlu sintez üsulu ilə**
 1. **samarium sulfidi;**
 2. **x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75 tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritləri alınmışdır.**
- b. **Termovakuum tozlanma üsulu sapfir (Al_2O_3) altlıqları üzərinə aşağıdakı nümunələr çökdürülmüşdür:**

1. SmS nazik təbəqələri
2. $x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin nazik təbəqələri
- c. $x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin və SmS mikrotozlarının yüksəktemperaturlu sintezinin, eləcə də $x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ və SmS nazik təbəqələrinin sapfir altlıqlarının termovakuumlu sintez parametrləri təyin edilmişdir. Mikrotozların və nazik təbəqələrin tablanma parametrləri təyin edilmişdir. Rentgen və optik üsullarla sintez olunmuş $x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$ tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ və SmS mikrotozlarının, həmçinin nazik təbəqələrinin ilkin tədqiqatları bu tərkiblərin uyğunluğunu və təbəqələrin alınma keyfiyyəti öyrənilmişdir.
- d. “İynələrin” hündürlüyü 8nm böyük olmayan sapfir altlıqlar alınmışdır
- e. SmS və $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ -ün bütün tərkiblərinin yüksək keyfiyyətli nanoqalınlıqlı təbəqələri sintez olunmuşdur
- f. Cizma metodlarının tətbiq rejimləri müəyyən edildikdən, texnologiyası işləndikdən sonra sapfir altlıqlar üzərinə çökdürülmüş SmS və $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ -ün nazik təbəqə səthlərinin müxtəlif növ profilləri çəkilmişdir
- g. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərin tədqiq olunan bütün tərkiblərinin infraqırmızı spektrlərində Ni^{+2} kationlarının Zn^{+2} kationları ilə əvəz olunma (yaxud əksinə) prosesini və Fe^{2+} və Fe^{3+} kationlarının miqdarını əks etdirən incə quruluş və parçalanma müşahidə olunur. Müəyyən olunmuşdur ki, tədqiq olunan tərkiblərin infraqırmızı spektrlərinin intensivlikləri Fe^{+2} və Fe^{+3} kationlarının konsentrasiyası ilə təyin edilir.
- h. Müəyyən olunmuşdur ki, Al_2O_3 altlığı üzərinə çökdürülmüş $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$) ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrlərində “əlavə”spektral zolaqlar iştirak edir. Bu “əlavə”spektral zolaqların intensivliyi, tezliyi və xəttinin eni maqnit domenlərinin ölçülərinin dəyişməsi ilə və Fe^{+2} və Fe^{+3} kationlarının konsentrasiya nisbəti ilə korrelyasiya olunur. Müəyyən olunmuşdur ki, bu dəyişikliklər $x=0,25-0,6$ konsentrasiya intervalında baş verir və çevrilmiş spineldən normal spinele (yaxud əksinə) struktur keçidinə uyğundur.
- i. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$) ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri normal rəqs spektrlərinin, maqnon və maqnon-fonon qarşılıqlı təsirinin nəzərə alındığı model çərçivəsində yaxşı interpretasiya olunur.
- j. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75$) ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman səpilmə spektrlərində ilk dəfə olaraq 26,4 THs tezlikli (880nm) yüksək intensiv spektral xəttin şüalanma generasiyası aşkar edilmişdir. Müşahidə olunan spektral xəttin spin təbiəti onun xarici maqnit sahəsindən asılı olmaması ilə təsdiq olunur. Maksimal güclü generasiya $Ni_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_4$ tərkibində müşahidə olunur.
- k. Göstərilmişdir ki, temperaturdan asılı olaraq $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin EPR spektirlərində meydana çıxan “zəif” maqnit altqəfəs spektroskopik parçalanmanı kifayət qədər dəyişir.

	<p>Bu “zəif” maqnit komponentin mövcud olması maqnetitin maqnit xassələrinin izahı üçün təklif edilmiş Belov modelində izah edilir.</p> <p>l. Bütün tərkiblər üçün spin konsentrasiya təyin edilmişdir və ilk dəfə olaraq $Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ və $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ tərkibləri üçün spinlərin istiqamətini dəyişildiyi “kompensasiya” nöqtələri (Morin keçidi) müəyyən edilmişdir: $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ üçün – ~180K və ~250K; $Ni_{0.75}Zn_{0.25}Fe_2O_4$ üçün ~120K və ~290K.</p> <p>m. Ferromaqnit təbəqə-dielektrik-metal strukturunda elektromaqnit səth dalğasının yaranma şərti qısaca ifadə edilmiş, tezliyin, qrup sürətinin, dispersiyanın, qeyri-xəttilik əmsalının, dayanıqsızlığın yaranma şərtinin, difraksiya əmsalının dalğa vektoru və dielektrik layının qalınlığından və həmçinin xarici maqnit sahəsinin intensivliyindən asılılığı müəyyənləşdirilmişdir.</p>
4	<p>Layihə üzrə elmi nəşrlər (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmalar, konfrans materiallarında məqalələr, tezislər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə, uyğun məlumat - jurnalın adı, nömrəsi, cildi, səhifələri, nəşriyyat, indeksi, İmpact Factor, həmmüəlliflər və s. bunun kimi məlumatlar - ciddi şəkildə dəqiq olaraq göstərməlidir) (<i>surətlərini kağız üzərində və CD şəklinə əlavə etməli!</i>)</p>
	<p>(burada doldurmali)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. SmS haqqında məqalə Thin Films jurnalında yaxın zamanda çap olunacaq. 2. Sh. N. Aliyeva, Y. N. Aliyeva, A. I. Nadjafov, I. S. Hasanov, E. K. Huseynov and T. R. Mehdiyev. EPR and SPM studies of Zn-Ni ferrites // Physica Status Solidi (C), 2015, vol.12, №6, pp.615-619 3. Ш.Н. Алиева, А.М. Керимова, Р.Б. Абдуллаев, Т.Р.Мехтиев Инфракрасные спектры микропорошков $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ферритов, ФТТ, (qəbul olunmuşdur) 4. Əliyeva Ş.N., Kərimova A.M., Babayev S.S., Hüseynov E.K., Mehdiyev T.R. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin Raman spektrləri // AJP Fizika, 2015, vol.XXI, No 4, s.17-28 5. Sh.N.Aliyeva, A.M.Kerimova, T.R.Mehdiyev IR spectra of (Ni, Zn) ferrite micropowders // AJP Fizika, 2016, vol.XXII, No 1, p.6-10 6. Sh.N. Aliyeva, A.M. Kerimova, S.S. Babayev, T.R. Mehdiyev // Peculiarities of magnetic interaction in $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nanodimensional ferrites, Journal of Ovonic Research (göndərilmişdir)
5	<p>İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər</p> <p>(burada doldurmali)</p> <p>a 2014 0055 25.12.2015 Mehdiyev T.R., Əliyeva Y.N., Hüseynov E.K., Ələkbərov O.Z., Məmmədov N.T., Kərimova A.M. “Yarımkeçirici materialın nazik təbəqəsi üzərində nanoölçülü</p>

	<p>elementlərin formalaşdırılması üsulu ixtirasına aid iddia sənədinin Azərbaycan Respublikasının "Patent haqqında" Qanununun 29-cu maddəsinə uyğun ekspertizası aparılmış və onun ixtira obyektli olmasına dair QƏRAR qəbul olunmuşdur</p> <p>Sənaye Mülkiyyəti Obyektlərinin Ekspertizası Mərkəzi (AzPatent), SƏNAYE MÜLKİYYƏTİ, №2, Bakı-2016,s.25</p>
6	<p>Layihə üzrə ezamiyyətlər (ezamiyyə baş tutmuş təşkilatın adı, şəhər və ölkə, ezamiyyə tarixləri, həmçinin ezamiyyə vaxtı baş tutmuş müzakirələr, görüşlər, seminarlarda çıxışlar və s. dəqiq göstərməlidir) <i>(burada doldurmalı)</i></p>
7	<p>Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa) <i>(burada doldurmalı)</i></p>
8	<p>Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak <i>(burada doldurmalı)</i></p>
9	<p>Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərməlidir: a) məruzənin növü: plenar, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq) <i>(burada doldurmalı)</i></p>
	<p>Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərməlidir: a) məruzənin növü: plenar, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq)</p> <p>Beynəlxalq konfranslar (divar məruzələr):</p> <p>1. 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, September 1-5, 2014, Niigata, JAPAN</p> <p>a. [P2-037] S.N. Aliyeva, E.N.Aliyeva, A.I.Nadjafov, EPR spectra and AFM-analysis of thin film surfaces of (Zn, Ni) ferrites</p> <p>b. [P1-009] Y.N. Aliyeva, A.M.Kerimova, O.Z.Alekperov, I.S.Hasanov, <u>E.K.Huseynov</u>, T.R.Mehdiyev, N.T.Mamedov Preparation and properties of nanodimensional diffraction lattice on the base of SmS</p> <p>2. ICTF-16, 16th International Conference on Thin Films, Dubrovnik, Croatia 2014</p> <p>a. [P116/T11] Sh.N. Aliyeva, Y.N.Aliyeva, Z.Q.Mamiyev, A.M.Karimova, <u>E.K.Huseynov</u>, O.Z.Alekperov, N.T.Mammedov The peculiarities of low-temperature spectra of paramagnetic resonance of nanodimensional powders and magnetic structure of thin film surfaces of (Ni-Zn)-ferrites, Programme and Book of Abstracts, p.178</p> <p>b. [P79/T7] Nazim Mamedov, Yegana Aliyeva, Khuraman Khalilova, Afet Kerimova, Narmina Balayeva, <u>Emil Huseynov</u>, Talat Mehdiyev SmS thin films with nanosize surface architecture</p>

	<p>3. “Materials Science and Engineering” MSE 2014, 25 September 2014, Darmstadt B08-224 oral poster Y. Aliyeva, T. Mekhtiev, E. Guseynov, O. Alekperov, H. Maharramov, N. Mammadov, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, (Azerbaijan) Nanostructured Elements Obtained on the Surface of SmS Thin Films by Atomic Force Microscopy</p> <p>4. ICTMC-20, 20th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, September 5-9, 2016, Halle, Germany, poster, Sh.N. Aliyeva, A.M.Kerimova, S.S.Babayev, T.R.Mehdiyev Raman Spectra of Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄ ferrites (qəbul edilmişdir).</p> <p>5. ECNF 2016, European Conference on Nanofilms, October 19-21, 2016, Bilbao, Spain, Sh.N.Aliyeva, A.M.Kerimova, Y.N. Aliyeva, S.B.Babayev, T.R.Mehdiyev AFM analysis and Raman spectra of (Ni-Zn) ferrites</p>
10	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmulatları (burada doldurmalı)
11	Yerli həmkarlarla əlaqələr (burada doldurmalı)
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr (burada doldurmalı)
13	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa) (burada doldurmalı)
14	“Ni _{1-x} Zn _x Fe ₂ O ₄ mikrotozlarının və nazik təbəqələrinin maqnit xassələri” mövzusu, Ş.N Əliyeva- fizika üzrə fəlsəfə doktoru Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa) (burada doldurmalı)
15	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa) (burada doldurmalı)
16	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərməlidir) (burada doldurmalı)

SİFARIŞÇI:
Elmin İnkişafı Fondu

İCRAÇI:

Müşavir

Babayeva Ədilə Əli qızı

Layihə rəhbəri

Mehdiyev Tələt Rzaqulu oğlu

(imza)

“ _ ” _____ 2016-cı il

(imza)

“ _ ” _____ 2016-cı il

Baş məsləhətçi

Qurbanova Səmirə Yaşar qızı

(imza)

“ _ ” _____ 2016-cı il

