

LAYLI METAL-OKSİD NANOSTRUKTURLARININ QURULUŞ DİZAYNI, ALINMASI VƏ TƏDQIQI

X.N. ƏHMƏDOVA^{1,2}

¹ Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu, H. Cavid pr.131, AZ-1073, Bakı, Azərbaycan,

²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, AZ1010 Azərbaycan

x.khalilova@rambler.ru

Müxtəlif qalınlıqlarda nazik təbəqələr şəklində metal (Al) və metal oksid (Fe_3O_4) nanostrukturuları şüşə altlıq üzərində termal püskürtmə üsulları ilə hazırlanmışdır. Yaranan nazik təbəqələrin faza əmələ gəlməsi prosesləri tədqiq edilmişdir. İlk nümunələrin qalınlığı 150 nm olan alüminium təbəqələrdən və qalınlığı 30 nm olan Fe_3O_4 təbəqələrindən ibarət olmuşdur. İstehsal prosesi şüşə altlığın üzərinə alüminium təbəqənin çökdürülməsini, ardınca isə dəmir oksidi təbəqəsinin ardıcıl çökdürülməsini əhatə etmiş, nəticədə ultra nazik təbəqələrdən ibarət laylı sistem meydana gəlmişdir. Müxtəlif iş rejimlərinin tətbiqi qalınlığı 30 və 60 nm olan nazik təbəqələr əldə etməyə imkan vermişdir. Bu sistemlərin kompleks struktur analizi otaq temperaturunda rentgen şüalarının difraksiyasından istifadə etməklə aparılmışdır. Al nanolaylarının kristal quruluşunun Fm-3m olduğu, Fe_3O_4 nanolaylarının quruluşunun isə Fd-3m fəza qrupu ilə kub simmetriyasına uyğun gəldiyi müəyyən edilmişdir. Nəticələr göstərdi ki, ümumilikdə həm alüminium, həm də dəmir oksidi fazaları bu nazik təbəqələr daxilində struktur bütövlüyünü qoruyub saxlayır. Buna baxmayaraq, əhəmiyyətli diffuz rentgen səpilmə nümunələrinin olması atom nizamının pozulmasını və səthə yaxın təbəqələrdə amorf və ya qeyri-kristal vəziyyətin yaranmasına işarə edir.

Açar sözlər: kristal quruluş, səth quruluşu, Al/ Fe_3O_4 nazik təbəqələri.

DOI:10.70784/azip.2.2024403

1. Giriş

Metallar və metal oksidləri yalnız funksional xüsusiyyətlərinə görə deyil, həm də qoruyucu örtük kimi müasir elektronikada mühüm rol oynayır. Nanoölçülü ölçülərdə bu materiallar ətraf mühitin izolyasiyasının üstünlüyü təklif edir. Nəticə etibarilə, nanoölçülü metal və metal oksid təbəqələrinin istehsalı və tədqiqi son illərdə bərk cisim elektronikasında əsas istiqamət kimi ortaya çıxdı [1-2]. Xüsusilə qeyd etmək lazımdır ki, bu materiallar ionlaşdırıcı şüalanmaya davamlılıq nümayiş etdirir, onların aviasiya və nüvə texnologiyalarında tətbiqi perspektivlərini genişləndirir [3-5].

Alüminium (Al) müasir aviasiya texnologiyalarında geniş şəkildə istifadə olunur. Elektromaqnit uducu materialların axtarışı ön plana çıxdığı vaxtdan alüminiumun maqnit xüsusiyyətlərinin olmaması nəzərə alınaraq, Al-Fe sisteminə tələbat yarandı. Dəmir, bir neçə oksid birləşmələri ilə birlikdə, möhkəm maqnit xüsusiyyətlərinə malikdir və bu materiallarda ferromaqnit və antiferromaqnit xüsusiyyətlərinə dair geniş araşdırmalara səbəb olur [6-8]. Xüsusilə, müəyyən materiallar, o cümlədən dəmir oksidi nanohissəcikləri yüksək udma qabiliyyəti nümayiş etdirir [9-10]. Nanotexnologiyanın gəlişi bu sahədə araşdırmaları daha da gücləndirdi, çünki nanoölçülü materiallar tez-tez fərqli funksionallıqlar nümayiş etdirir [11-12]. Tərkibində Fe_3O_4 olan nanokompozit materialların elektromaqnit dalğalarının udulması da daxil olmaqla güclü elektromaqnit xassələri nümayiş etdirdiyi müəyyən edilmişdir [13-14]. Vacib olaraq müəyyən edilmişdir ki, $f=12.0$ GHz tezliyi Al ilə örtülmüş Fe_3O_4 nanohissəcikləri üçün səciyyəvidir [14].

Yeni laylı sistemlərə, xüsusən də elektromaqnit uducu materiallara ehtiyac yaranmışdır. Laylı sistemlər iki mühit arasında aralıqda elektromaqnit dalğalarının sınıması vasitəsilə əks olunan şüanın istiqamətini təkcə udmur, həm də istiqamətini dəyişir. Nəticədə, belə materiallardan elektromaqnit dalğalarının əks alınması minimuma endirilir [15]. Müəyyən edilmişdir ki,

materialların xassələri Al-un nazik təbəqələrində və Fe_3O_4 -ün nazik təbəqələrində saxlanılır [16]. Belə sistemləri inkişaf etdirmək üçün Al təbəqələri üzərində olan nazik Fe_3O_4 laylarından ibarət model struktur hazırlanmışdır. Dəmir oksidi və alüminium nazik təbəqələrinin ayrı-ayrı tədqiqatları mövcud olsa da, onların birləşmiş sistem kimi öyrənilməsi nisbətən tədqiq edilməmiş bir sahədir. Bu materiallardan maraqlı optik və maqnit xassələri gözləyirik. Bu materiallar elektromaqnit dalğalarını udan sistem yaratmaq üçün istifadə edilə bilər. Birincisi, onların struktur xüsusiyyətlərini öyrənərək bu sistemi əldə etməliyik.

Nazik təbəqələr xüsusi texnologiyalardan istifadə etməklə istehsal olunur. İstehsal üsulu altlıqdan və materialdan asılı olaraq seçilir. Bir neçə materialdan nazik təbəqələr əldə etmək daha çətinidir. Çünki bu materialların hər biri öz mərhələsini təşkil etməlidir. Əks halda nazik təbəqə bu materialların qarışığı olacaq və fərq etməyəcək. Al& Fe_3O_4 sisteminin alınması yeni texnoloji imkanlar açar bilər. Ona görə də, bu sistemin alınması vacibdir. Bu iş şüşə altlıqlarda müxtəlif optimal şəraitdə nazik Al və Fe_3O_4 təbəqələrindən ibarət laylı sistemlərin qurulması və sonradan onların struktur xüsusiyyətlərinin təhlili məqsədi daşıyır. Nümunələrin strukturunun öyrənilməsində kristal strukturunun öyrənilməsi üçün unikal üsul hesab edilən XRD üsullarından, səth strukturunun öyrənilməsi üçün AQM və SEM metodlarından istifadə edilmişdir.

2. Materiallar və metodlar

2.1. Nazik layların hazırlanması

Nazik təbəqələr SkySpring Nanomaterials istehsalı olan $d=50$ nm ölçülü Al və $d=30$ nm ölçülü Fe_3O_4 nanohissəciklərindən alınmışdır. Laylı təbəqələr 25×19 mm ölçülü şüşə altlıq üzərində termik tozlandırma metodu ilə alınmışdır. Əvvəlcə şüşənin üzərinə alüminium çökdürülmüş, sonra isə üzərində dəmir oksid təbəqəsi çökdürülmüşdür. Müxtəlif qalınlıqda iki Al- Fe_3O_4 nazik təbəqə alınmışdır. Təcrübələr Leybold-

Herause L-560 markalı vakuum qurğusunda ($P=2 \cdot 10^{-5}$ mbar) aparılmışdır. Nazik təbəqələrin alınmasından əvvəl şüşə altlıqın səthində 800Vt gücündə ion təmizlənməsi aparılmışdır. Tozlanma prosesini yaxşılaşdırmaq məqsədilə şüşə altlıq vakuum kamerasında 100°C -ə qədər qızdırılmışdır. Tozlandırma prosesi 25 san müddətində aparılmışdır [17].

2.2. Rentgen difraksiya analizi

Alınmış nümunələrin struktur faza analizi D8 Advance XRD difraktometrindən (Bruker, Almaniya) istifadə edilməklə rentgen difraksiya üsulu ilə aparılmışdır. Difraktometrin parametrləri: 40 kV, 40 mA, $\text{CuK}\alpha$ – şüalanma, $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$. Təcrübələr otaq temperaturunda aparılmışdır. Alınmış spektrlər Origin proqramlarında analiz edilmişdir. Difraksiya maksimumları Al və Fe_3O_4 kristallarının ştrix diaqramı ilə müqayisə edilmiş və nazik təbəqələrin kristal quruluşları müəyyən edilmişdir.

2.3. Tarayıcı Elektron Mikroskopiya (SEM) təhlili

Şüşə altlıq üzərində alınmış Al/ Fe_3O_4 nazik təbəqələrin analizi ZEISS SIGMA VP cihazından istifadə edilərək tarayıcı elektron mikroskopiya (SEM) vasitəsilə öyrənilmişdir. Bu xüsusi mikroskop nanoölçülü materialların morfologiyasını ayırd etmək və onların kimyəvi tərkibini müəyyən etmək üçün elementar analiz aparmaq imkanı verir. Bu tədqiqat kontekstində kimyəvi elementlərin faiz tərkibini üz çıxaran nazik təbəqələr üzərində elementar analiz aparılmışdır.

2.4. Atom Qüvvə Mikroskopiyası (AFM)

Nazik Al və Fe_3O_4 təbəqələrinin səth quruluşu N8 NEOS atom qüvvəsi mikroskopundan istifadə etməklə tədqiq edilmişdir. Bu texnika histoqramların, eləcə də müxtəlif qalınlığa malik nazik təbəqələri təsvir edən 2D və 3D təsvirlərin yaradılmasına imkan verdi. Toplanmış məlumatlar səth strukturunun və nazik təbəqələrin qalınlığının müəyyən edilməsini asanlaşdıran hərtərəfli təhlildən keçmişdir.

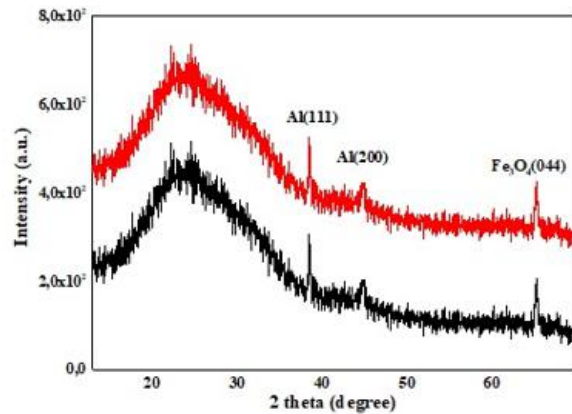
3. Nəticələr və müzakirələr

Alüminium və dəmir oksid sistemindən ibarət laylı nazik təbəqələr şüşə altlıqlar üzərində termik tozlandırma üsulu ilə alınmışdır. Altlıq qismində istifadə olunan 25×19 mm ölçülü şüşə lövhə ion təmizlənməsi metodu ilə kimyəvi təmizlənməmişdir. Təbəqələrin müxtəlif qalınlıqlarda alınması məqsədi ilə uyğun optimal rejimlər seçilmişdir. Əvvəlcə $h=15$ və 30 nm qalınlıqlı Al nazik təbəqələri alınmış, sonra isə onların üzərinə $h=15$ və 30nm qalınlıqlı Fe_3O_4 nazik təbəqələri çökdürülmüşdür. $h=30$ və 60 nm qalınlıqlı Al- Fe_3O_4 sisteminin foto şəkilləri şəkil 1-də göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi nazik təbəqələrin səthi dəmir oksid təbəqəsidir və qeyri-şəffaf mühitdir. Qalınlıqları iki dəfə fərqli olmasına baxmayaraq nümunələrin rəngləri demək olar ki, fərqlənmirlər. Bu onunla əlaqədardır ki, dəmir oksid nazik təbəqələri optik şüalar üçün uducu mühit hesab olunur. Təbəqələrin səthi boyunca rəngin

dəyişməməsindən görünür ki, termik tozlandırma metodu ilə alınmış təbəqələr kifayət qədər bircins alınmışdır. Bu xüsusiyyətlər materialın fiziki-kimyəvi xassələrinin tədqiqi zamanı alınmış nəticələrin dəqiqliyini və etibarlılığını artırır.

Nazik təbəqələrin struktur incəliklərini araşdırmaq üçün otaq temperaturunda rentgen şüalarının difraksiya metodundan istifadə edərək, şüşə altlıqlar üzərində Al- Fe_3O_4 sistemi daxilində kristal quruluşun dərin təhlili aparılmışdır. Standart şəraitdə əldə edilmiş rentgen şüalarının difraksiya spektrləri şəkil 1-də əyani şəkildə göstərilmişdir. Spektrlərin Origin proqramında analiz edilmişdir. $10^{\circ} \leq 2\theta \leq 70^{\circ}$ difraksiya bucağı intervalında üç maksimum müşahidə edilmişdir. Nazik təbəqələrdə əlavə fon da yaranmışdır ki, bu da bərk cisimlər fizikasında məlum olan amorflaşma ilə əlaqədardır. X-Ray şüaları spektrlərinin müqayisəli təhlili vasitəsilə, əvvəlki nəticələrə uyğun olaraq [18, 19], həm Al kristallarının, həm də Fe_3O_4 kristallarının birmənalı şəkildə nazik təbəqələrdə mövcud olduğu müəyyən edilmişdir.

Diffuz rentgen şüalarının difraksiyasının maksimumları və eyni zamanda əlavə vahid fonun tətbiqi nazik təbəqənin səthə yaxın təbəqəsində və onun səthlər-arası uzun məsafəli ardıcılıqla nizamın pozulması ilə izah olunur. Kondensasiya olunmuş mühitdə atomlar və ionlar təyin olunmuş fəza qrupu ilə səciyyələndirilən xüsusi fəza simmetriya elementləri qrupuna uyğun olaraq nizamlı düzülüş nümayiş etdirirlər. Bu fəza qrup birmənalı olaraq elementar özəyin quruluşunu xarakterizə edir. Bununla belə, səthə yaxın təbəqədə daim müşahidə olunan qüsurlar və gərginliklər olduqda, atom və ion quruluşlarının uzun məsafəli nizamı pozulur və nəticədə vahid özəyin simmetriyası azalır. Tamamilə amorflaşdırılmış vəziyyətin sərhəddində atomların və ionların düzülüşündə simmetriya yoxdur.



Şəkil 1. Şüşə altlıq üzərində hazırlanmış 30 nm (qara rəngdə təsvir) və 60 nm (qırmızı rəngdə təsvir) qalınlıqlı Al- Fe_3O_4 nazik təbəqələrinin rentgen şüalarının difraksiya spektri.

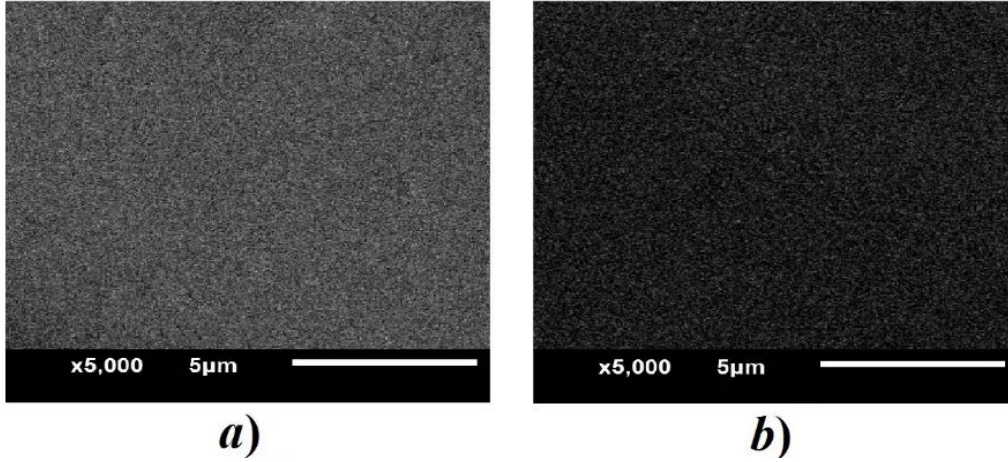
Difraksiya diaqramlarının rentgen difraksiyası spektrləri ilə müqayisəsindən müəyyən edilmişdir ki, nazik təbəqələrdə həm Al kristalları, həm də Fe_3O_4 kristalları formalaşmışdır. Spektrlərdə $2\theta=38.57^{\circ}$ və 44.79° difraksiya bucaqlarında müşahidə edilən iki difraksiya maksimumu Al kristallarına uyğun gəlmişdir. Analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu atom

müstəviləri Fm-3m fəza qruplu kubik simmetriyalı kristal quruluşunda (111) və (200) atom müstəvilərinə uyğun gəlir. Spektrlərdə $2\theta=65.18^\circ$ difraksiya bucaqlarında müşahidə edilən üç difraksiya maksimumu Fe_3O_4 kristallarına uyğun gəlmişdir. Analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu atom müstəviləri Fd-3m fəza qruplu kubik simmetriyalı kristal quruluşunda (044) və (200) atom müstəvilərinə uyğun gəlir.

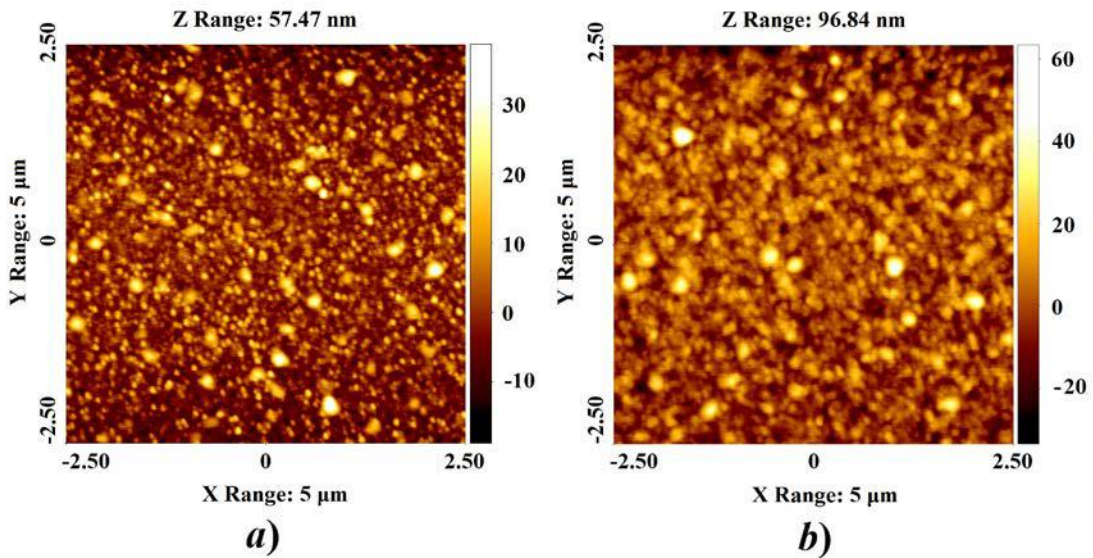
Maraqlıdır ki, bu struktur tədqiqatları zamanı, nisbətən kiçik ölçülərə baxmayaraq, bu nazik təbəqələrdə kristal quruluşun əmələ gəldiyi müəyyən edilmişdir. Xüsusilə, həm Al, həm də Fe_3O_4 nazik təbəqələrinin daha kiçik ölçülərlə (qalınlığı $d=15$ və 30 nm) ayrı-ayrı-

lıqda alındığını nəzərə alsaq, bu müşahidənin əhəmiyyəti artır. Bu dəyişiklik, bu maddələrin hər birinin əsas kristal təbiəti ilə əlaqələndirilə bilər. Bunun əsas səbəbi ondan ibarətdir ki, bu maddələrin hər biri kifayət qədər yüksək simmetriyaya malik kubik sinqoniyada kristallaşır. Ona görə termik tozlandırma metodu ilə şüşə üzərinə çökdürülərkən Al nazik təbəqəsi və onun üzərində Fe_3O_4 nazik təbəqəsi yarana bilər.

Şüşə altlıqlar üzərində termal çökmə yolu ilə hazırlanmış Al və Fe_3O_4 nazik təbəqələrinin səth quruluşunun tədqiqi tarayıcı elektron mikroskopun tətbiqi ilə aparılmışdır. Nümunələr üçün səth strukturlarının 2D təsvirləri şəkil 2-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 2. Al və Fe_3O_4 nazik təbəqələrinin SEM təsvirləri, alt şəkil (a) 30 nm qalınlığında nümunə haqqında məlumat verir, alt şəkil (b) isə 60 nm qalınlığında nümunə təqdim edir.



Şəkil 3. Al və Fe_3O_4 nazik təbəqələrinin ikiölçülü AFM görüntüsü.

Göründüyü kimi, bu mikroqraflar alüminium və dəmir oksidin nanohissəciklərinin şüşə altlıq üzərində olduqca bircins çökməsini təsvir edir, həmçinin vahid bir mühit yaradır. Nümunə səthlərində rəng dəyişikliyi nəzərə çarpır ki, bu da ayrı-ayrı təbəqələrin qalınlığından asılı olaraq optik xassələrin uyğunsuzluğu ilə əlaqələndirilə bilər. Bu nazik təbəqələrin səth quruluşu 5000 faktor miqyasında əhəmiyyətli dərəcədə böyüdülrək mikron miqyasında çəkilmişdir.

Şəkil 3 nazik təbəqələrin dəqiq bircinsliyini vurğulayır. Ümumiyyətlə vahid olsa da, səthdə incə çıxıntılar nəzərə çarpır və səthin üzərindəki dəmir oksidi nanohissəciklərin mövcudluğunun sübutu kimi xidmət edir. Bundan əlavə, SEM analizi zamanı bu nazik təbəqələrin kimyəvi tərkibini müəyyən etmək üçün elementar analiz aparılmışdır. Bu elementar təhlilin nəticələri cədvəl 1-də ümumiləşdirilmişdir.

Cədvəl 1. Şüşə altlıqda Al və Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin kimyəvi tərkibinin təhlili

nümunə a		nümunə b	
Element	%	Element	%
O	46.01	O	46.93
Si	12.81	Si	27.62
Al	30.83	Al	10.65
Fe	4.82	Fe	8.69
Ca	2.40	Ca	4.03
Na	1.87	Na	1.06
Mg	1.26	Mg	1.03
Ümumi	100	Ümumi	100

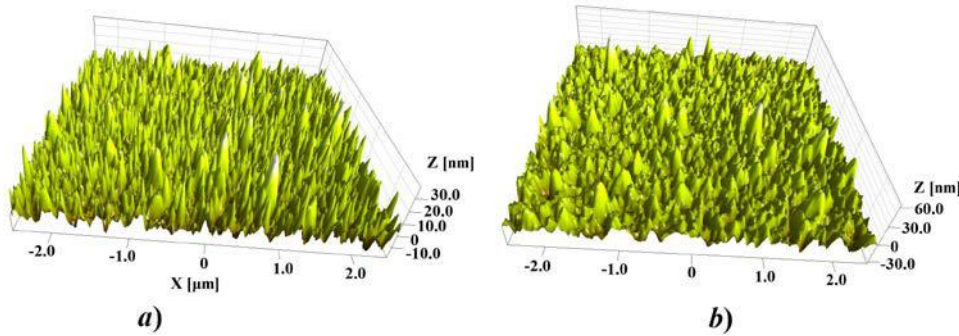
Cədvəl 1-də təsvir olunduğu kimi elementar tərkibinin təhlili nümunələrdə xeyli sayda silisium (Si) atomunun olduğunu aşkar edir. Bu, Al və Fe₃O₄-ün nazik təbəqələrinin hazırlandığı əsas şüşə altlıq ilə uyğunlaşır. Bundan əlavə, analiz Al və Fe elementar tərkibi ilə yanaşı oksigen (O) atomlarının əhəmiyyətli mövcudluğunu açıqlayır. Əhəmiyyətli odur ki, (a) və (b) analizlərindən nümunələrdə dəmir (Fe) atomlarının konsentrasiyasının təbəqələrin qalınlığına uyğun artım nümayiş etdirdiyi aydın olur. Bu müşahidə vurğulayır ki, Fe₃O₄ təbəqəsinin formalaşması daha qalın təbəqələr kontekstində daha çox uyğunluq əldə edir. Al/Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin qalınlığını və səthinin hamarlığını qiymətləndirmək üçün atom qüvvəsi mikroskopundan

istifadə etməklə tədqiqatlar aparılmışdır. Şəkil 3 nümunələrin səth quruluşlarının 2D təsvirini təqdim edir, onların struktur atributları haqqında qiymətli fikirlər təklif edir.

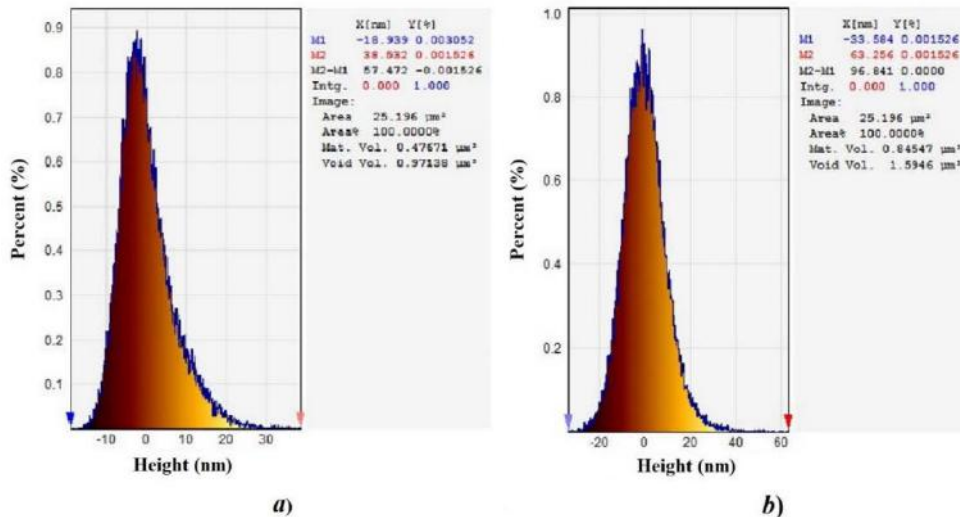
Şəkil 3-də təsvir olunan səth strukturları, hazırlanmış nazik təbəqələrin səthinin tamamilə pozuntulardan məhrum olmadığını aydınlaşdırır. Bu 2D təsvirlər (a) və (b) kimi qeyd olunan nümunələrin hər birinin ölçüləri 98×98 nm olan səth strukturlarını təmsil edir. Nazik təbəqələrin səth quruluşunun daha dəqiq və hərtərəfli təsviri üçün 3D təsvirlər alınmışdır. Bu 3D təsvirlərin nəticələri şəkil 4-də təqdim olunur, nazik təbəqələrin struktur incəlikləri haqqında daha ətraflı məlumatları təmin edir.

Şəkil 4-də aşkar edilmiş səth strukturları Al/Fe₃O₄-ün nazik təbəqələrinin müxtəlif qalınlıqlarda uğurla əldə edildiyini təsdiqləyir. Konkret olaraq müəyyən edilmişdir ki, nümunə qalınlığı (a) $d_a=30$ nm, nümunə qalınlığı (b) isə $d_b=60$ nm-ə uyğundur. Əsas odur ki, nümunələrin qalınlığı ilə bağlı AFM tədqiqatlarının nəticələri SEM tədqiqatları zamanı səth strukturunun və tərkibinin təhlili nəticəsində əldə edilən məlumatlara tam uyğundur.

Tədqiq olunan nümunələrin səthi pürüzlülüyünü başa düşmək üçün AFM məlumatlarından istifadə edərək histqramlar diqqətlə qurulmuşdur. Al&Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin səth xüsusiyyətlərini əhatə edən bu histqramlar şəkil 5-də vizual olaraq təqdim olunur.



Şəkil 4. Al və Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin üçölçülü atom qüvvəsi mikroskopiyası (AFM).



Şəkil 5. Al & Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin histqramları.

Atom qüvvə mikroskopiyası vasitəsilə əldə edilən səth histoqramları Al-Fe₃O₄ nazik təbəqələrində qalınlığın dəyişməsinə dair inandırıcı sübutlar təqdim edir. Aydın ki, bu qalınlıq fərqləri təyin olunmuş ölçülərə uyğundur, d_a ölçüsü 30 nm və d_b ölçüsü 60 nm-dir. Səth histoqramları və təyin olunmuş qalınlıqlar arasındakı bu uyğunlaşma nazik təbəqənin hazırlanması prosesinin dəqiqliyini və ardıcılığını vurğulayır.

Nazik təbəqələrdə faza əmələ gəlməsi prosesləri böyük elmi-texniki əhəmiyyətə malikdir. Çünki materialda mövcud olan fiziki xassələri faza formalaşması prosesində müşahidə etmək olar. Əks halda, bu kristalın xüsusiyyətlərinə malik bir material kimi nazik təbəqədən istifadə etmək mümkün deyil. Buna görə də, nazik təbəqələrdə faza əmələ gəlmə prosesləri son vaxtlar geniş şəkildə öyrənilir [20]. XRD, SEM və AFM-dən istifadə etməklə Al-Fe₃O₄ nazik təbəqələri üzərində aparılmış tədqiqatlar zamanı məlum olmuşdur ki, bu materiallar $d=30-60$ nm qalınlığında olan nazik təbəqələrdə belə öz struktur xüsusiyyətlərini saxlayır. Buna görə də, bu sistemləri müxtəlif sistem və qurğularda istifadə etmək mümkündür.

5. Nəticələr

Al-Fe₃O₄ sistemindən ibarət laylı nazik təbəqələr şüşə altlıq üzərində uğurla istehsal edilmişdir. Rentgen

şüalarının diffraksiya tədqiqatı göstərdi ki, həm Al, həm də Fe₃O₄ maddələri $d = 30$ və 60 nm qalınlığı olan nazik təbəqələrdə kristal quruluşunu saxlamaq qabiliyyətinə malikdir. Bu dözümlülük ilk növbədə onların müvafiq olaraq Fm-3m və Fd-3m fəza qrupları ilə uyğunlaşan kubik simmetriya kristal quruluşu ilə əlaqələndirilir. Rentgen şüalarının diffraksiya spektrlərinin təhlili aydınlaşdırdı ki, Al kristallarına uyğun gələn maksimalar (111) və (200) atom müstəvilərinə, Fe₃O₄ kristallarına aid edilən maksimumlar isə (044) atom müstəvisinə uyğundur. Eksperimental nəticələr sübut edir ki, həm Al, həm də Fe₃O₄ Al-Fe₃O₄ sisteminin laylı nazik təbəqələri daxilində struktur bütövlüyünü qoruyur. Bu nəticələrdən aydın olur ki, qalınlığı $d \geq 30$ nm olan təbəqələr elektron tətbiqlərdə səmərəli şəkildə istifadə edilə bilər. Bu iş nazik təbəqə materiallarının quruluş xüsusiyyətlərini başa düşməyimizə kömək edir və elektron cihazlarda onların potensial faydalılığını vurğulayır. Tədqiqatlar zamanı müəyyən edilmişdir ki, qalınlığı $d = 30-60$ nm olan Al və Fe₃O₄ nano ölçülü laylarda kristal fazalar əmələ gəlir. Buna görə də, müxtəlif sahələrdə bu materialların nazik təbəqələrini tətbiq etmək mümkündür.

- [1] G. Oroumi, R. Monsef, E.A. Dawi, A. Aljeboree, A.M. Alubiady, M.H.S. Al-Ani, A.M. Salavati-Niasari. Achieving new insights on rational design and application of double perovskite Y₂CrMnO₆ nanostructures as potential materials for electrochemical hydrogen storage performance. Journal of Energy Storage. 2024, 85, 111161. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111161>
- [2] M. Salavati-Niasari. Ship-in-a-bottle synthesis, characterization and catalytic oxidation of styrene by host (nanopores of zeolite-Y)/guest ([bis(2-hydroxyanil)acetylacetonato manganese(III)]) nanocomposite materials (HGNM). Microporous and Mesoporous Materials. 2006, 95, 248-256. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2006.05.025>
- [3] J. Gao, G. He, Sh. Liang, D. Wang, B. Yang. Comparative study on in situ surface cleaning effect of intrinsic oxide-covering GaAs surface using TMA precursor and Al₂O₃ buffer layer for HfGdO gate dielectrics. J. Mater. Chem. C 2018, 6, 2546-2555. <https://doi.org/10.1039/c8tc00070k>.
- [4] S.A. Hasanova. Compared the efficiency of TiO₂ and N-doped TiO₂ to degrade BTEX. Adv. Phys. Res. 2021, 3, 123-128.
- [5] T.T. Abdullayeva, S.H. Jabarov, S. Huseynli, B.A. Abdurakhimov, A.S. Abiyev, M.N. Mirzayev. Effect of electron beam on the crystal structure of nanoscale Al particles. Mod. Phys. Lett. B 2020, 34, 2050231. <https://doi.org/10.1142/s0217984920502310>.
- [6] M. Ilatovskaia, H. Becker, O. Fabrichnaya, A. Leineweber. The η-Al₅Fe₂ phase in the Al-Fe system: The issue with the sublattice model. Journal of Alloys and Compounds. 2023, 936, 168361. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.168361>
- [7] N.O. Golosova, D.P. Kozlenko, S.E. Kichanov, E. V. Lukin, L.S. Dubrovinsky, A.İ. Mammadov, R.Z. Mehdiyeva, S.H. Jabarov, H.P. Liermann, K.V. Glazyrin, T.N. Dang, V.G. Smotrakov, V.V. Eremkin, B.N. Savenko. Structural, magnetic and vibrational properties of multiferroic GaFeO₃ at high pressure. J. Alloys Compd. 2016, 684, 352-358. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.04.316>.
- [8] S.H. Jabarov, A.V. Trukhanov, S.V. Trukhanov, A.İ. Mammadov, V.A. Turchenko, R.Z. Mehdiyeva, R.E. Huseynov. XRD, DTA and TGA investigations of the BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x = 0.3, 0.9 and 1.2) solid solutions. Optoelectr. Adv. Mater.-Rap. Comm. 2015, 9, 468-470.
- [9] F.G. Agayev, S.H. Jabarov, G.Sh. Ayyubova, A.V. Trukhanov, S.V. Trukhanov, M.N. Mirzayev, T.G. Naghiyev, N.T. Dang. Ferrimagnetic-paramagnetic phase transition in BaFe_{11.7}In_{0.3}O₁₉ compound. J. Super. Nov. Magn. 2020, 33, 2867-2873. <https://doi.org/10.1007/s10948-020-05544-9>.
- [10] A.V. Trukhanov, N.T. Dang, S.V. Trukhanov, S.H. Jabarov, İ.S. Kazakevich, A.İ. Mammadov, R.Z. Mehdiyeva, V.A. Turchenko, R.E. Huseynov. Crystal structure, magnetic properties, and raman spectra of solid solutions BaFe_{12-x}Al_xO₁₉. Phys. Sol. St. 2016, 58, 992-996. <https://doi.org/10.1134/s1063783416050267>.

- [11] I.Ali, G.T. Imanova, A.A. Garibov, T.N. Agayev, S.H. Jabarov, A.S.A. Almalki, A. Alsubaie. Gamma rays mediated water splitting on nano-ZrO₂ surface: kinetics of molecular hydrogen formation. *Rad. Phys. Chem.* 2021, 183, 109431. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109431>.
- [12] F.G. Agayev, S.H. Jabarov, G.Sh. Ayyubova, M.N. Mirzayev, S.V. Trukhanov, E.L. Trukhanova, M.A. Darwish, S.V. Podgornaya, D.A. Vinnik, T.P. Hoang, N.T. Dang, A.V. Trukhanov. Structure and thermal properties of BaFe_{11.1}In_{0.9}O₁₉ hexaferrite. *Phys. B* 2020, 580, 411772. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2019.411772>.
- [13] Ch.Zou, Y.Yao, N.Wei, Y.Gong, W.Fu, M.Wang, L.Jiang, X.Liao, G.Yin, Z.Huang, X.Chen. Electromagnetic wave absorption properties of mesoporous Fe₃O₄/C nanocomposites, *Compos. B* 2015, 77, 209-2014. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.030>.
- [14] A. Jafarinejad, M. Salavati-Niasari, R. Monsef, H. Bashiri, Flower-shaped magnetically recyclable ZnS/ZnIn₂S₄/Fe₂O₃ nanocomposites towards decolorization of colored pollutants. *International Journal of Hydrogen Energy.* 2023, 48, 3440-3455. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.227>
- [15] R.R. Guseynov, V.A. Tanriverdiyev, G.L. Belenky, Y.N. Kipshidze, Kh.V. Aliyeva, Aliguliyeva, E.G. Alizade, Kh.N. Akhmadova, N.A. Abdullayev, N. Mamedov, V.N. Zverev. Electrical and optical properties of unrelaxed InAs_{1-x}Sb_x heteroepitaxial structures. *Semicond.* 2019, 53, 906-910. <https://doi.org/10.1134/s1063782619070091>.
- [16] Kh.N. Ahmadova, S.H. Jabarov, Obtaining of Al nanosized thin layers and their structural properties. *Arabian Journal for Science and Engineering.* 2023, 48, 8083-8088.
- [17] X. Wang, Y. Liao, D. Zhang, T. Wen, Z. Zhong. A review of Fe₃O₄ thin films: synthesis, modification and applications. *Journal of Materials Science & Technology.* 2018, 34, 1259-1272.
- [18] A.D. Fortes, I.G. Wood, L. Vočadlo, K.S. Knight, W.G. Marshall, M.G. Tucker, F. Fernandez-Alonso. Phase behaviour and thermoelastic properties of perdeuterated ammonia hydrate and ice polymorphs from 0 to 2 GPa. *J. Appl. Crystallogr.* 2009, 42, 846-866. <https://doi.org/10.1107/s0021889809027897>.
- [19] F.F. Ferreira, E. Granado, Jr.W. Carvalho, S.W. Kycia, D. Bruno, Jr.R. Droppa. X-ray powder diffraction beamline at D10B of LNLS: application to the Ba₂FeReO₆ double perovskite. *J. Synchr. Rad.* 2005, 13, 46-53. <https://doi.org/10.1107/s0909049505039208>.
- [20] L.N. Ibrahimova, N.M. Abdullayev, M.E. Aliyev, G.A. Garashova, Y.I. Aliyev. Phase formation process in CdSe thin films. *East European Journal of Physics.* 2024, 1, 493-496. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-1-54>

X.N. Ahmadova

DESIGN, FABRICATION AND STUDY OF LAYERED METAL-OXIDE NANOSTRUCTURES

Metal (Al) and metal oxide (Fe₃O₄) nanostructures in the form of thin films of different thicknesses were prepared by thermal spraying methods on a glass substrate. The processes of phase formation of the resulting thin films were studied. The initial samples consisted of aluminum layers with a thickness of 150 nm and Fe₃O₄ layers with a thickness of 30 nm. The manufacturing process involved the deposition of an aluminum layer on a glass substrate, followed by the successive deposition of an iron oxide layer, resulting in a layered system of ultra-thin layers. The application of different modes of operation made it possible to obtain thin layers with a thickness of 30 and 60 nm. Complex structural analysis of these systems was carried out using X-ray diffraction at room temperature. It was determined that the crystal structure of Al nanolayers is Fm-3m, and the structure of Fe₃O₄ nanolayers corresponds to cubic symmetry with space group Fd-3m. The results showed that, in general, both aluminum and iron oxide phases maintain structural integrity within these thin films. Nevertheless, the presence of significant diffuse X-ray scattering patterns indicates atomic disorder and the formation of an amorphous or non-crystalline state in the near-surface layers.

X.N. Ахмедова

СТРУКТУРНЫЙ ДИЗАЙН, ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТЫХ МЕТАЛЛОКИСДНЫХ НАНОСТРУКТУР

Наноструктуры металлов (Al) и оксидов металлов (Fe₃O₄) в виде тонких пленок различной толщины были изготовлены методами термического напыления на стеклянную подложку. Изучены процессы фазообразования полученных тонких пленок. Исходные образцы состояли из слоев алюминия толщиной 150 нм и слоев Fe₃O₄ толщиной 30 нм. Процесс производства заключался в нанесении слоя алюминия на стеклянную подложку с последующим нанесением слоя оксида железа, в результате чего получалась слоистая система ультратонких слоев. Применение разных режимов работы позволило получить тонкие слои толщиной 30 и 60 нм. Комплексный структурный анализ этих систем был проведен методом рентгеновской дифракции при комнатной температуре. Установлено, что кристаллическая структура нанослоев Al Fm-3m, а структура нанослоев Fe₃O₄ соответствует кубической симметрии с пространственной группой Fd-3m. Результаты показали, что в целом фазы оксидов алюминия и железа сохраняют структурную целостность внутри этих тонких пленок. Тем не менее наличие значительных картин диффузного рассеяния рентгеновских лучей указывает на атомный беспорядок и образование аморфного или некристаллического состояния в приповерхностных слоях.

Qəbul olunma tarixi: 25.11.2024