

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

(CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ VƏ Co Fe AMORF MAQNETİKLƏRİN MAQNİT VƏ MAQNİTOOPTİK XASSƏLƏRİ

İxtisas: 2211.01 - Bərk cismlər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Aida Əjdər qızı İsayeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2022

Dissertasiya işi Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin "Fizika və kimya kafedrası" nəzdindəki "Metal və ərintilərin fizikası" Elmi Tədqiqat Laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: fizika - riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Tahir Musa oğlu Pənahov

fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Zabit Səməd oğlu Musayev

Rəsmi opponətlər:

fizika - riyaziyyat elmləri doktoru, dosent
Fərhad Ərəstun oğlu Rüstəmov

fizika elmləri doktoru, professor
Məntiq Bahadur oğlu Cəfərov

fizika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Səidə Qılman qızı Əsədullayeva

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:



fizika elmləri doktoru, dosent
Hüseyn Mikayıl oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:



fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Bəxtiyar Gülmah oğlu Paşayev

Elmi seminarın sədri:



İmzayı təsdiq edirəm
BAKİ DÖVLƏT UNIVERSİTETİ
ELMI KATİB
prof. V.M.SALMANOV
«28» 01 2022

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi: Amorf materialların təxminən 60 il əvvəl kəşf edilməsinə baxmayaraq, onların quruluşunun və maqnit xassələrinin öyrənilməsinə olan maraq bu gün də azalmamışdır. Bunu ilk növbədə istehsalda kiçik vəsait sərf etməklə alınan amorf materialların müasir mikroelektronikada geniş yayılması təsdiq edir. Ən məşhur amorf maqniyumşaq materialları 70-80% dəmir və ya Co atomları olan ərintilərdir.

Metal xəlitələrin aşqarlanması ilə hazırlanan materialların xassələrindəki xüsusiyyətlərin tədqiqi istiqamətində metal fizikasının uğurlu inkişafı son illərdə «Stels» texnologiyasının həyata keçirilməsinə səbəb olmuşdur. Ferromaqnit metal və ərintilərin fiziki xassələrinə Si və B aşqar elementlərinin təsirinin öyrənilməsi bərk cisimlər fizikasında perspektivli istiqamətlərdən biri hesab olunur. Əsas tədqiqat və praktiki tətbiqlər baxımından lent şəklində olan amorf materiallar xüsusi diqqətə layiqdir. Bu lentlərin tətbiq sahəsi sensor elementlərinin istehsalı baxımından genişdir. Belə materiallarda maqnitooptik xassələrin tədqiqi onların yeni xüsusiyyətlərinin aşkar edilməsi və tətbiq sahələrinin genişləndirilməsi üçün bir sıra aktual məsələlərin həllinə imkan verir. Co-Fe və Ni-Fe kimi ferromaqnit xəlitələrin nazik təbəqələrinin sənaye miqyasında alınma texnologiyası əsasında alınmış nümunələrin maqnit xassələrinin tədqiqi və onların termoelektronikada praktiki tətbiqinin aşkar edilməsi də dissertasiya işinin aktuallığının digər aspektidir. Müasir texnologiyanın yaradılması və inkişafı fundamental tədqiqatlara əsaslanmışdır. Maqnitooptik xassələrin öyrənilməsi bu baxımdan daha aktualdır. Müasir dövrümüzdə sənayedə müəyyən fiziki və kimyəvi xassələrə malik materiallardan istifadə edilməsi texnologiyanın bütün istiqamətlərində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Materialların emalının yüksək effektiv texnologiyalarının işlənməsi, onlardan sənaye məmulatlarının hazırlanması üçün istifadə edilməsi heç də az əhəmiyyət kəsb etmir. Bərk cisimlər fizikası, xüsusən də metallar

fizikası texnologiyası oblastında inkişafın əldə olunması bu yolda əsas istiqamətlərdən biridir.

Amorf maqniyumşaq materiallar, müəyyən cəhətdən maqniyumşaq kristallik ərintilərinin xassələrindən üstün olan nadir xassələrə malikdirlər. Amorf materialların elektrik müqavimətinin çox böyük olmaqla yanaşı temperaturdan zəif asılılığı, başlanğıc və maksimal maqnit nüfuzluğunun yüksək, koersitiv qüvvənin və maqnit anizotropluğu sabitinin kiçik qiyməti və maqnitostriksiyasının sıfıra yaxın olması onların fərqləndirici xüsusiyyətləridir.

Amorf ərintilərinin doyma maqnitlənməsi, koersitiv qüvvəsi, histerezis ilgəyinin düzbucaqlılığı, maqnit nüfuzluluğu geniş diapazonda qiymət alır. Hətta gərginliklər tam götürüldükdən sonra belə itkilərin qiyməti maqnitostriksiyadan asılı olur. Bu zaman alt zonalarda spinlərin vəziyyəti nəzərə alınmalıdır. Bu deyilənlərin nəzərə alınması nəticə etibarı ilə müxtəlif fiziki parametrlər və effektlərin hesablanmasına imkan verir. Bu ərintilərin maqnit və maqnitooptik xassələri onların quruluşu və kimyəvi tərkibi ilə əlaqədardır. Onların praktiki əhəmiyyətli xassələrinin formalaşmasında termomaqnit (sabit və dəyişən maqnit sahələrində) əlverişli kimi xarici təsirlərin böyük əhəmiyyəti vardır. Bu cür təsir nəticəsində gətirilmiş anizotropluğun xarakteri, histerezis ilgəyinin forması dəyişir və s. Odur ki, bu hadisələrin öyrənilməsi həm elmi və həm də praktiki əhəmiyyəti baxımından aktualdır.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. İşdə tədqiqat obyekti olaraq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ və CoFe lent nümunələri götürülmüşdür. Tədqiqat predmeti tədqiq olunan amorf lent nümunələrində müxtəlif termik əlverişli şəraitlərindən asılı olaraq maqnit və maqnitooptik xassələrin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi müxtəlif xarakterli termik, həm sabit, həm də dəyişən maqnit sahələrində termomaqnit emallara məruz qalmış $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ və CoFe maqnetiklərin maqnit və maqnitooptik xassələrində yaranan xüsusiyyətlərin mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi və onların praktiki tətbiq imkanlarının

araşdırılmasından ibarətdir. Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

1. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ və CoFe amorf lent nümunələrin alınması;
2. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ və CoFe amorf maqnetiklərin havada, vakuumba, suda aparılan müxtəlif termik və termomaqnit emallardan sonra maqnit xassələrinin araşdırılması;
3. Co-Fe lent nümunələrində maqnit itkilərinin və gətirilmiş maqnit anizotropiyanın borun miqdarından asılılığının müəyyənəndirilməsi;
4. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ lentinin maksimal maqnit nüfuzluğuna müxtəlif termik emal proseslərində baş verən diffuziya proseslərin təsirinin araşdırılması;
5. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf nümunəsində qalınlığın maqnit və maqnitooptik xassələrinə təsirinin araşdırılması;
6. CoFe və NiFe lentləri əsasında yeni maqnit termocüt nümunəsinin əldə olunması və onun tətbiq imkanlarının araşdırılması;

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində tədqiq olunan materiallar xırdalandıqdan sonra УПН-60-2 induksiya sobası vasitəsilə arqon mühitində əridilmişdir. Nümunələrin tab alınması CYOJI-0,15,1,1./12MP-H3 elektrik sobasında aparılmışdır. Maqnit induksiyasının ölçmək üçün Φ 4354/1 teslametrindən istifadə olunmuşdur. İşdə tədqiq olunan lentin mikroquruluşu haqqında məlumat əldə etmək üçün

- Rentgen quruluş tədqiqi Dron-3 difraktometri,
- Atom qüvvə mikroskopu (AQM),
- Skanedic elektron mikroskopu (SEM)

kimi metodlardan istifadə edilmişdir.

Dissertasiya işində maqnitooptik xassələrin tədqiqi metodu olaraq Bitti metodu və Ekvatorial maqnitlənmə maqnitooptik qurğu üzərində qurulmuşdur.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqniyümşaq lent nümunəsinin maqnit sahəsində suda tablamanın maqnit itkilərinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması prosesində rolu;
2. Co-Fe amorf maqniyümşaq lent nümunələrində maqnit itkilərinin

və gətirilmiş maqnit anizotropiyanın borun miqdarından asılılığının müəyyənləşdirilməsi;

3. CoFe - NiFe permalloy lentindən hazırlanmış maqnit termocütlərdən laboratoriya şəraitində və sənayedə istifadə imkanlarının qiymətləndirilməsi;

4. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ lentinin maksimal maqnit nüfuzluğuna müxtəlif termik emal temperaturunda, soyuma sürətində və termik emal müddətlərində baş verən diffuziya proseslərinin rolu;

5. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ nümunələrinin tab alma müddətinin Kerr effektinin qiymətinə təsirinin araşdırılması;

6. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf lent nümunəsinin səthə yaxın təbəqəsində quruluşun formalaşmasına maqnit sahəsində tab alma müddətinin təsiri;

7. Tədqiq olunan (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf lent nümunəsinin maqnit impedans effektinə müxtəlif termik emal temperaturu və emal müddətindən asılılığının müəyyənləşdirilməsi;

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. Co-Fe tərkibli ərintilərdə maksimal maqnit nüfuzluluğu almaq üçün ən optimal termik emal temperaturunun 400-420⁰C arasında olması müəyyən edilmişdir.

2. Aparılan maqnit və maqnitooptik xassələrin tədqiqi göstərir ki, Si-B kimi legirləyici elementlərdən asılı olaraq doyma maqnitlənməsinin azalması xətti xarakter daşıyır.

3. Göstərilmişdir ki, (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ lentini kristallaşmanın başlanğıcında termomaqnit və ya tab alma ilə emal etməklə əldə edilən gətirilmiş eninə maqnit anizotropluğu, xarici maqnit sahəsinin 2-10E oblastında lentvari nümunələrdə sabit maqnit nüfuzluqlu düzbucaqlı histerezis ilgəyi yaradır.

4. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf maqniyumşaq ərinti lentlərində havada termik emaldan sonra soyuma sürətindən asılı olaraq amorf və ya amorf kristallik təbəqə formalaşması müşahidə olunur.

5. Müəyyən olunmuşdur ki, EKE-nin sahə asılılıqlarında (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf nümunənin maqnit və maqnitooptik xassələri qalınlıqdan asılı olaraq dəyişir. EKE-nin sahə asılılıqlarından müəyyən edilmişdir ki, zamanın artması ilə səthaltı qatda amorf lentlər daha maqnit bərk olur.

6. Göstərilmişdir ki, induksiya cərəyanları ilə əlaqədar ayrılan istilik səbəbindən dəyişən maqnit sahəsindəki temperatur ölçmələrində xətalı minimuma endirməyə imkan verən termoelektrik sensorlar istehsalına yararlı materiallar kimi Co-Fe və Ni-Fe əsasında olan nazik maqnit lentlər istifadə oluna bilər.
7. Perkolyasiya astanası yaxınlığında Ekvatorial Kerr effektinin kifayət qədər böyüməsi, ferromaqnit komponentin konsentrasiyasının sonrakı artması zamanı isə Ekvatorial Kerr effektinin tədricən azalması müşahidə edilir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işində müəyyən olunmuşdur ki, CoFe əsaslı amorf lentlərdən bərk cisim elektronikasında, transformatorların təkmiləşdirilməsində, termocütlərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

Dissertasiya işi üzrə aparılmış təcrübələrdə CoFe və NiFe amorf lentlərindən termocüt hazırlanmışdır.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin mövzusunə dair elmi işlərin nəticələri aşağıda adları qeyd edilən Beynəlxalq və Respublika konfranslarında müzakirə edilmiş və materiallarında dərc olunmuşdur:

“Fizikanın müasir problemləri” VI Respublika konfransının materialları “Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası” 14-15 dekabr 2012, Bakı;

Magistrantların və gənc tədqiqatçıların “Fizika və Astronomiya Problemləri” Respublika Elmi Konfransının Materialları, 19 may 2012, Bakı;

Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVIII respublika elmi konfransının materialları, 19-20 dekabr 2013, Bakı;

Metallar fizikasının müasir problemləri V Beynəlxalq Elmi-Praktik konfransının materialları, 10-11 iyun 2016, Bakı;

Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XX Respublika Elmi konfransının materialları, 24-25 may 2016; Bakı;

Магнитные фазовые переходы Сборник трудов XII международного семинара, Институт физики ДНЦ РАН, 60 лет, 7 сентября 2017 г. Махачкала;

Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika Elmi

konfransının materialları I bölmə, 24-25 oktyabr 2017, Bakı;

Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktul məsələləri
Respublika Elmi konfransının materialları 30-31 may 2019,
Sumqayıt.

Nəşr olunmuş elmi işlər: Dissertasiya işinin materialları 12 məqalə və 8 konfrans materialı olmaqla yerli və xarici jurnallarda dərc edilmişdir. Məqalələrdən ikisi xaricdə, Beynəlxalq Xülasələndirmə və İndeksləmə Sistemlərinə daxil olan impakt faktorlu jurnallarda, ikisi isə təkmüəllifli çap edilmişdir

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin Fizika və kimya kafedrasının nəzdində “Metal və ərintilərin fizikası” Elmi Tədqiqat Laboratoriyası.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi:

Dissertasiya işi kompüter mətni həcmində 175 səhifədən, cədvəllər, şəkillər, ədəbiyyat siyahısı, şərti işarələr istisna olmaqla 208504 işarə, Giriş 14306 işarə, I fəsil 75799 işarə, II fəsil 34872 işarə, III fəsil 59225 işarə, IV fəsil 22114, nəticə 2188 işarədən ibarət olub, tərkibinə 7 cədvəl, 43 şəkil və 164 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı daxil edilmişdir.

TƏDQİQATIN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və işin əsas müdafiə halları göstərilmişdir. Burada həmçinin mövcud nəzəri və təcrübi işlərin qısa xülasəsi verilmişdir.

I fəsildə Ədəbiyyat icmalında amorf metallik ərintilər, onların tətbiqinin perspektivləri, amorf maqniyumşaq ərintilərin quruluşu, maqnit xassələri, amorf ərintilərin domen quruluşu, amorf materiala termik, termomaqnit emal və əlavə gərginliklərin təsiri, həmçinin nanokompozitlərin maqnitooptik xassələri təhlil edilmişdir. Bu fəsildə CoFe tərkibli amorf lent nümunələrinin maqnit xassələri

haqqında məlumat toplanmışdır. Həmçinin bu materialların tətbiqinin aktuallığı əsaslandırılmışdır.

II fəsildə Metallar və ərintilərin optik xarakteristikaları, ferromaqnitlərdə maqnitooptik hadisələr, CoFe əsaslı ərintilərin maqnit və maqnitooptik xassələrinin ölçü metodikası, qurğunun hazırlanması, quruluşu və iş prinsipi haqqında məlumat verilir. Dissertasiya işində alınmış amorf lentin tərkib və quruluş analizlərini həyata keçirmək məqsədi ilə fiziki metodlardan istifadə edilmişdir. Alınan amorf lentlərin maqnit xassələri (qalıq maqnitlənmə, koersitiv qüvvə və s.) histerezis ilgəyindən təyin edilir.

AZMİU-nun “Metal və ərintilər fizikası” ETL - ində nümunənin optik və maqnitooptik parametrlərini eyni zamanda təyin etmək üçün polyarimetrik Bitti metodu və ekvatorial maqnitlənmə bir qurğu üzərində qurulmuşdur (şəkil 1). Qurğuda S-közərmə lampası, MDR-12 - monoxromator; EM - elektromexaniki modulyator; N- tədqiq edilən nümunə; EM- elektromaqnit; L-fokuslayıcı linza; P-polyarizator; A-analizator; İB-idarəedici blok; İG- yüksək giriş müqavimətli ilkin gücləndirici; FQ-fotodetektor; B7-22 -rəqəmli voltmetr; QB-1-qida bloku; K-impuls detektoru; B9-2-faza detektoru; U2-8 mikrovoltmetr; İK-ilkin gücləndirici; OC-optocüt; BB-bölmə bloku; SCK-sabit cərəyan gücləndiricisi; ÖYM – öz-özünə yazan ikikoordinatlı maşın, QB-2 qida blokudur [3 s.26-28]. Işıq mənbəyindən çıxan işıq modulyatordan keçir və ötürülən signal modulyasiya olunur. EMM-sabit cərəyan mühərriki bazasında yığılan və ötürülən signaldakı dəyişikliklərə uyğun olaraq daşıyıcı signalının parametrlərini dəyişən cihazdır. Bu proses modulyasiya adlanır və ötürülən signal modulyasiya olunur. EMM modulyasiya tezliyini sabit saxlayır. Modulyasiya olunan işıq spektral optik cihaz olan monoxramatordan keçir. MDR-12 monoxromatoru dəyişdirilə bilən difraksiya qəfəsi istifadə edilməklə 0,2 mkm-dən 16 mkm-ə qədər geniş spektral diapazonda tədqiq olunan nümunələrin optik xüsusiyyətlərini öyrənməyə imkan verir. Monoxramator vasitəsilə işıq optik spektrə ayrılır və dalğa uzunluğu seçilir. Monoxramatordan çıxan işıq polyarizatordan keçir və linzanın köməyi ilə tədqiq olunan ferromaqnit nümunənin səthinə fokuslanır. Ferromaqnit nümunə

üzərindən əks olunan işıq analizatordan keçir və fotodetektora linzanın köməyi ilə fokuslanır. Işığın polyarlaşması üçün polyarlaşma bucağını 1^0 dəqiqliklə təyin etməyə imkan verən 10^{-4} polyarlaşma dərəcəsinə malik Qlan-Tomson prizmaları istifadə olunur. Optik spektrin görünən oblastında fotomüqavimətdən, infraqırmızı oblastında isə fotodiodan istifadə edilir. Işıq signalı U2-8 mikrovoltmetrində qeyd olunur və B7-22 rəqəmli voltmetrə verilir. Işıq seli U2-8 mikrovoltmetrinə verilməmişdən əvvəl yüksək giriş müqaviməti olan İG – nin köməyi ilə gücləndirilir. İG-yüksək giriş müqavimətli operativ gücləndirici bazasında yığılmışdır.

Şəkil 1. Universal maqnitooptik qurğunun struktur sxemi

¹Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет / М. Изд.Мир, – 1981, –с.441

İşıq signalı İG-dən çıxdıqdan sonra nümunənin maqnitooptik və optik parametrlərinin müəyyən edilməsindən asılı olaraq müvafiq bölmələrə göndərilir. Tədqiq edilən nümunənin optik parametrlərini müəyyən etmək üçün işıq signalının İG-nin çıxışından sonra U2-8 mikrovoltmetrinin girişinə göndərilir. Alınan faydalı işıq signalını təyin etmək üçün U2-8 mikrovoltmetrindən çıxan signal B9-2 faza detektoruna verilir. Modulyatorun üstündə yerləşən optron cütdən keçən modullaşmış tezlikli sabit amplituda malik signal faza detektorunun girişinə verilir. Signal dedektə edildikdən sonra B7-22 rəqəmli voltmetrə verilir. Rəqəmli voltmetrindən çıxan signal ikikoordinatlı özü yazan maşın ilə təyin edilir [1, s. 26-28]. Bu materiallar üzərində tədqiqatlar aparmaq məqsədilə onların alınması texnologiyası işlənib hazırlanmışdır. Amorf struktura malik metallik şüşələrin alınmasının bir çox üsulu olsa da bunların içində ən əlverişlisi maye haldan tablama metodudur.

Maye haldan tablama qurğularının hamısında maye, fırlanan metal soyuducu diskin səthi üzərinə axaraq böyük sürətlə (10^5 - 10^7 C⁰/san) soyudulur və tez bərkiyir. Ərintinin tərkibinin sabit qaldığı zaman soyuma sürəti soyuducu üzərinə axıdılan maye ərintinin həcmindən və soyuducunun xarakteristikasından asılıdır. Amorf lentin alınması zamanı kristal quruluşun alınmaması üçün soyuma sürətinin 10^6 C⁰/san olması vacibdir [4, s.79-83]. İşdə CoFeSiB tərkibli amorf lentlərə baxılmışdır. Rentgen tədqiqatlarının nəticələri lentlərin amorf halında olduğunu göstərdi [10, s. 68-71].

Tədqiqat işində istifadə olunan materiallar ərintilərin emalında ilkin xam maddələr kimi FeSi, Fe, Co və B-dan istifadə olunmuşdur. FeSi ərintisini almaq üçün elektroqövs sobasından istifadə olunur. Tədqiqat işində istifadə olunan Fe, Co, B elementləri Almaniyanın Sigma Aldrich şirkətindən alınmışdır. Co, Fe, Si və B tərkibli maddələr 0.3 mm tərtibində kiçik hissəciklərə xırdalanmışdır. Xırdalandıqdan sonra VIII-60-2 induksiya sobası vasitəsilə arqon mühitində əridilmişdir [12, s.136-143]. CoFe əsaslı amorf lent fırlanan yüksək sürətlə soyudulan barabanın üzərindən axaraq əldə edilmişdir. Tədqiq edilən nümunələrin tabının alınması $T=1200^{\circ}\text{C}$ -yə qədər qızdırılıla bilinən CYOJI-0.15.1.1./12MP-H3 elektrik sobasında

aparılmışdır.

III fəsildə Co əsaslı amorf maqnitiumşaq ərintilər, $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf ərintisinin maqnit strukturu, maqnit itkiləri, maqnit itkilərinin termik emal rejimindən və tərkibindən asılılığı, amorf ferromaqnit ərintilərdə maqnit müqaviməti effekti, Fe-Co-Cr-Si-B tərkibli amorf maqnit ərintilərin maqnit və impedans xassələrinə temperaturun təsiri tədqiq edilmişdir [2, s.113-115]. Amorf $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ lentinin rentgen quruluşu çəkilmişdir.

Maqnitiumşaq materialların quruluş xüsusiyyətləri bu materialların maqnit xassələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Öz növbəsində onların quruluş xüsusiyyətləri də bir sıra xarici təsir: termik, termomaqnit (sabit və dəyişən maqnit sahələrində) emallar nəticəsində kəskin dəyişir [6, s. 15]. Beləliklə, xarici təsirin tətbiq edilməsi nəticəsində bu sistemlərdə quruluş xüsusiyyətləri ilə əlaqədar maqnit xassələrinin dəyişməsinə əlaqələndirmək kimi mühüm bir məsələ meydana çıxır. İşdə bu məsələlərin təhlilinə də baxılmışdır. Borun miqdarı 8, 9, 10, 11 və 12% olan beş tərkibin tam və histerezis elektromaqnit itkiləri 80 kHs tezlikdə, induksiyanın $B_m=0,3 \text{ Tl}$ amplitud qiymətində ilkin halda və vakuumdə 300 °C temperaturda uzununa maqnit sahəsində, eninə maqnit sahəsində ardıcıl tab almalardan, həmçinin 420°C temperaturdan tablamadan sonra maqnit xassələri öyrənilmişdir. Tam və histerezis itkilərinin müqayisəsi göstərir ki, histerezis itkiləri tam itkilərin bir neçə faizini təşkil edir. 8.1 və 9.1 at.% B-a malik ərintilər üçün maqnit sahəsində tab alma nəzərə cəpacaq gətirilmiş anizotropiya yaradır və itkilərin səviyyəsi uzununa və eninə maqnit sahələrində tab almaya məruz qalan nümunələrin itkilərindən kəskin fərqlənir. İtkilərin histerezis komponenti uzununa maqnit sahəsində tab alma zamanı zəif dəyişir, tam itkilər isə demək olar ki, iki dəfə artır. Bu o deməkdir ki, burulğanlı cərəyanlara aid olan itkilər iki dəfədən çox artmışdır ($P_t=P_h+P_b$). Bunu domenlərin eninin artması ilə əlaqələndirmək olar [3, s. 10-12].

²Herzer. G Modern soft magnets: Amorphous and nanocrystalline materials/ /Acta Materialia –2013. v.61, – p.718–734.

Eninə maqnit sahəsində tab almadan sonra tam itkilər azalır. Belə ki, eninə maqnit tekusturasının əmələ gəlməsi zamanı meydana çıxan domen quruluşu xırdalandığından, burulğanlı cərəyanlara olan itkilər azalır. 9,1 at.% B-a malik ərintilərdə maqnit sahəsi olmadan tab alma, tam və histerezis itkilərinin əhəmiyyətli dərəcədə (təqribən 8 dəfə) artmasına gətirir. Baxmayaraq ki, bu tab alma daxili gərginlikləri və lentin toroidə sarınması zamanı yaranan gərginlikləri yox edir. İtkilərin ən çox azalması 420 °C temperaturdan suda tablamadan sonra müşahidə edilir. 10 at.%-dən çox B malik ərintilərdə tab alma temperaturu yüksək olduğundan itkilərin tablamadan sonrakı qiyməti itkilərin göstərilən qiymətindən kiçikdir. Borun miqdarı az olan ərintilər üçün tab alma zamanı lokal induksiyanlanmış anizotropiyanın aradan qaldırılması və domen quruluşunun destabilləşməsi əhəmiyyətli dərəcədədir[3,s.10-12].

Beləliklə, tədqiqat göstərir ki, borun miqdarı $x < 10$ olan ərintilər üçün maqnit tab alma, maqnit itkilərin qiymətinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir

Amorf maqniyumuşaq ərintidən hazırlanmış lentin maqnit xassələrinə termik emalın, amorf kristallik təbəqənin qalınlığının, tab alma müddəti və temperaturunun, tab alma mühitinin təsiri araşdırılmışdır. Müxtəlif quruluş halına malik amorf maqniyumuşaq ərintilərin tədqiqi maqnit itkilərinin formalaşmasının əsas fiziki səbəblərini aşkar etməyə imkan verir. Müəyyən edilmişdir ki, termik emal yolu ilə yüksək maqnit xassələrinə nail olmaq üçün optimal qalınlıqlı amorf kristallik səth təbəqəsinin formalaşması zəruridir. [15, s.987- 990].

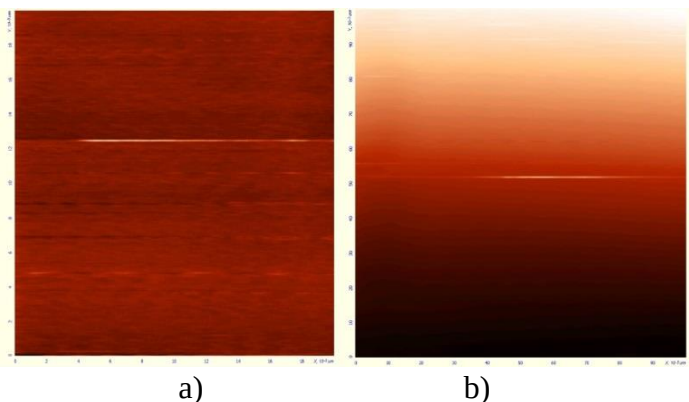
Temperaturun ölçməsi və qeyd edilməsi üçün ən səmərəli sensorlarından biri də termocütdür. Termocütlər eksperimental temperatura dözərək, titrəmələr və hətta ionlaşdırıcı radiasiyaya baxmayaraq, müxtəlif mühitlərdə etibarlı işləyirlər. Termocütlər laboratoriya şəraitində və ya sənayedə tez-tez kənar, adətən arzuolunmaz və nəzarətsiz maqnit sahələrinin təsirinə məruz qalır. Bu zaman, ənənəvi metaldan hazırlanan termocüt sensorlarının parametrləri maqnit sahəsinin təsiri ilə təhrif olunur. Bu işdə, permalloy lentindən hazırlanmış termocütlər tədqiq edilmişdir

Co-Fe və Ni-Fe amorf ərintiləri əsasında maqnit termocütlər hazırlanmış və Xromel-Alümel termocütü ilə müqayisə edilmişdir. İlk öncə Co-Fe və Ni-Fe ərintilərinin maqnit yumşaq lentlərini əldə etmək üçün maye haldan tablama qurğusundan istifadə olunur [12, s.136-143]. Puta içində metal əridilir. İki soyuma valının arasındakı boşluğa tökülərək lent alınır. Vallar maye azot buxarının axını ilə soyudulur. Lentin 300-400 °C temperatura qədər soyudulması prosesi azot və digər inert qazlar qarışığı mühitində aparılır. Lentin qalınlığı 100-200 mkm arasında dəyişir, eni isə 3 sm-dir. Alınmış lentdən eni 1.5 mm və uzunluğu 20÷25 sm olan nümunə kəsilmişdir. NiFe lentinin ucları distillə edilmiş suda CoFe lentinin ucları ilə elektrik qaynağı üsulu ilə birləşdirilərək qaynaqlandı.

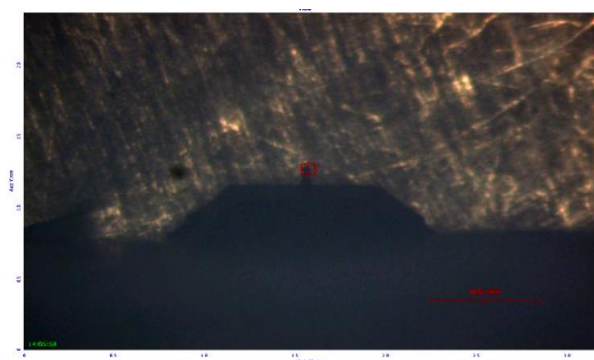
Xüsusilə, CoFe əsasında ferromaqnit materiallardan birbaşa təmasda ola bilən maqnit termocütləri istehsal etmək mümkündür. Co-Fe lentinin səthinin (50% Co və 50% Fe) atom qüvvə mikroskopu ilə səth şəkilləri çəkilməmişdir (şəkil 2). Şəkildən görüldüyü kimi, lentin strukturu bircinsdir və onun səthi olduqca hamardır. CoFe və NiFe lentləri rentgen quruluş analizi edilmişdir. Skanedic elektron mikroskopu vasitəsilə CoFe-NiFe lentinin arasındakı sərhəd şəkli çəkilməmişdir (şəkil 3). Şəkildə düz xətlər təmasın olduğu vaxtda CoFe ərintilərində kristallaşmanın yarandığını göstərir. Lenti 900°C temperaturdan havada tab aldıqda sərtlik dərəcəsi azalır, lentin səthinin oksidləşməsi baş verir. Lentin oksidləşməsi ilə bağlı kütlənin artımı müşahidə olunur. Eyni olmayan bu artım görünür ki, Co-ın ayrılması və tədqiq edilən oblastda dəmirin kiçik konsentrasiya gradientinin olması ilə bağlıdır [15, s.987- 990]. Diferensial termocütün birləşmələrindən biri 0°C, ikincisi isə -196 ilə 500°C arasında temperatur əldə etmək mümkün olduğu bir termostatda qoyuldu [15, s. 990]. Termo-Ehq kompensasiya üsulu ilə ölçülmüşdür.

³Gregor, G. G, Samo, B. Thermometers in low magnetic fields // Int. J. Thermophys – 2010. v.311, – p. 622–632.

⁴Farhad, S. Effect of Magnetic Field Dynamics on the Copper-Constantan Thermocouple Performance / S.Farhad, M.Catherine, H.Lawrence [et all.] // Journal Instrumentation Science & Technology –2005. v. 33, – p. 661-671.



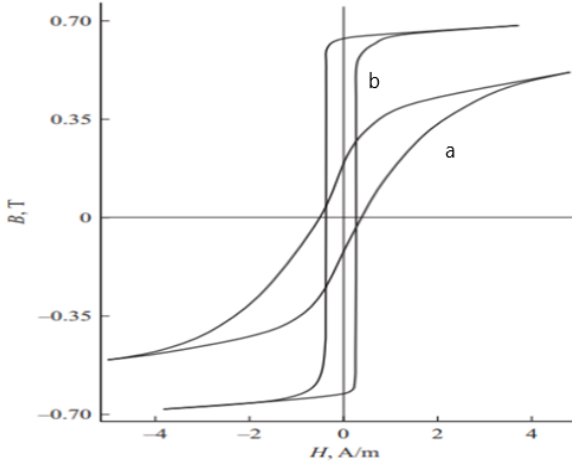
Şəkil 2. Co-Fe (50%- Co və 50%- Fe) lentinin atom qüvvə mikroskopu ilə çəkilmiş səth şəkilləri: a) tab almadan əvvəl; b) tab almadan sonra



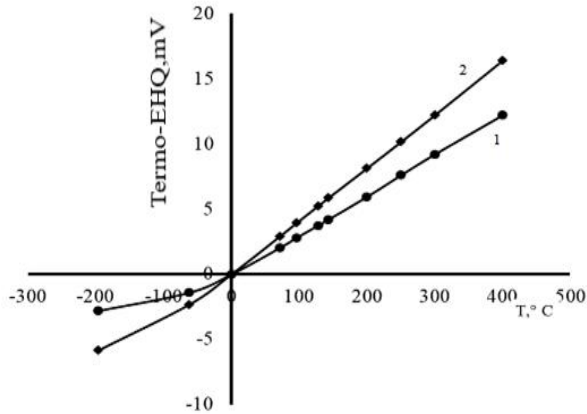
Şəkil 3. Skanedicci elektron mikroskopu vasitəsilə çəkilmiş CoFe-NiFe ərintilərinin arasındakı sərhəd

Qeyd etmək lazımdır ki, Co-Fe və Ni-Fe ərintilərinin lentləri yüksək koersitivliyə malikdir. Termocütün permalloyunun (TP) həssaslığı XAT-nın həssaslığından bir az aşağıdır. Lakin, permalloy termocütlər XAT üzərində bir sıra üstünlüklərə malikdir. Quraşdırılmış termocütlər maqnit sahə intensivliyinin $H=4,8\text{A/m}$ qiymətində maqnitləşdirilmişdir. Co-Fe permalloy lentinin 410°C temperaturda, dəyişən və sabit maqnit sahəsində suda tab alındıqdan

sonra çəkilmiş histerezis ilgəyi göstərilmişdir (şəkil 4).



Şəkil 4. 410⁰C temperaturda suda tab almadan sonra CoFe permaloy lentinin histerezis əyrisi: a) sabit; b) dəyişən maqnit sahəsində



Şəkil 5. Permaloy termocütünün Termo-EHQ-nin (əyri 1) və Xromel-Alyumel termocütünün (əyri 2) temperatur asılılığı

Co-Fe və Ni-Fe ərintilərindən hazırlanan termocütün differensial termo-EHQ temperatur asılılığı (α), α (T) şəkil 5.-də göstərilmişdir. Ərintilərin təməlində Co-Fe ərintisi müsbət potensiala malikdir. Paulinq miqyasında dəmir, kobalt və nikel elektrolitikliyi sırasıyla 1,83, 1,88 və 1,91 təşkil edir. Nəticədə, sərhəddəki qarşılıqlı təsir prosesində potansiallar fərqi Co-Fe dan Ni-Fe-a doğru elektronların diffuziya axını ilə formalaşır. Termocüt permalloyunun (TP) α (T) asılılığının əmələ gəlməsi, xromel-alümel termocütünün (XAT tipli K) oxşar xarakteristikası ilə eyni xarakter daşıyır (şəkil 5)

Histerezis ilgəyindən göründüyü kimi maqnit termocütün CoFe və NiFe paramaqnit və ferromaqnit gövdələrinin yaxşı yapışması üçün lentin maqnitlənməsi kifayət edir. Xüsusilə, Termocüt permalloyunun maqnitlənməsi, maqnit qarşılıqlı təsirinə görə tədqiq olan nümunənin birbaşa öyrənilən paramaqnit və ya ferromaqnit obyektə birləşməsinə imkan verir (şəkil 4).

Bu fəsilə (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ maqniyumşaq ərintisinin amorf lentlərində maksimal maqnit nüfuzluğuna termik emal zamanı izotermik saxlama temperaturunun və soyuma sürətinin təsiri öyrənilmişdir.

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, maksimal maqnit nüfuzluğunun izotermik saxlama temperaturundan asılılığı müəyyən izotermik saxlama temperaturunda termik emal zamanı baş verən diffuziya prosesləri ilə təyin edilir. Soyuma sürətinin artırılması maqnit xassələrinin səviyyəsinə bir mənalı olmayan təsir göstərir. Soyuma sürətinin artırılması termik emaldan sonra səthin amorf halında və müəyyən optimal qalınlığa yaxın səthi amorf - kristallik təbəqənin formalaşması zamanı reallaşdıqda maqnit xassələrinin yaxşılaşmasına səbəb olur.

Tədqiq edilən nümunə 100 x 10 x 0,022 mm ölçülü lövhə şəklində olmuşlar.

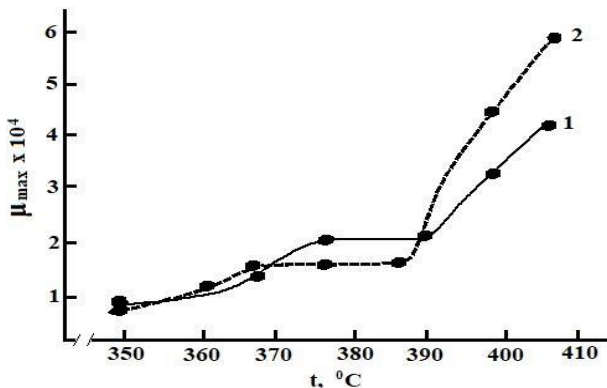
⁵Скулкина, Н.А., Иванов, О.А. Магнитомягкие материалы. Физические воздействия и магнитные свойства // Lambert Academic Publishing, –2010, – с.404

Amorf $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisinin termik emalı havada 360-430 °C temperaturdan təqribən 20 və 40 K/dəq soyuma sürətilə aparılmışdır.

Şəkil 6-da amorf maqnitiumşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunələrinin maksimal maqnit nüfuzluğunun havada izotermik saxlama müddəti $\tau = 5$ dəq olduqda, 20 və 40 K/dəq soyuma sürəti ilə termik emal temperaturundan asılılığı göstərilmişdir. İzotermik saxlama temperaturunun artırılması maksimal maqnit nüfuzluğunun yüksəlməsinə səbəb olur. Soyuma sürətinin artması bu etapda diffuziya proseslərinin artmasını məhdudlaşdırır. Buna görə də 360 °C temperaturdan 40 K/dəq sürəti ilə soyumada termik emaldan sonra tablama zamanı yaranan daxili gərginliklər daha az relaksasiya edir və nəticədə ortoqonal maqnitlənməli domenlərin nisbi həcmi daha böyük qiymət alır. Bu halda vəziyyət soyuma mərhələsində diffuziya proseslərinin axmasının məhdudlaşması nəticəsində səthdə lentin oxuna nəzərən eninə daxil olma atomlarının daha böyük konsentrasiyasının saxlanması ilə əlaqədar ola bilər. Bununla belə, μ_{max} -ın izotermik saxlama temperaturundan asılılığında həm 20, həm də 40 K/dəq sürəti ilə soyuma zamanı 380-400 °C temperatur intervalında çiyin müşahidə edilir. Müəyyən izotermik saxlama temperaturunda havada termik emal zamanı ilk növbədə ləndə baş verən diffuziya prosesləri ilə təyin edilən, maksimal maqnit nüfuzluğunun izotermik saxlama temperaturundan asılılığı ləndə maqnitlənmənin uyğun dəyişməsi ilə korellasiya edir. 400°C-dən yuxarı izotermik saxlama temperaturlarında diffuziya proseslərinin aktivliyi kifayət qədər yüksək olur. 420 °C-də izotermik saxlama müddətinin 5 dəq olması optimal sayılır ki, bu da optimal qalınlıqlı səthi amorf - kristallik təbəqənin formalaşmasına müvafiqdir. 400-420°C temperatur intervalında havada 20 K/dəq soyuma sürəti ilə termik emaldan sonra maksimal maqnit nüfuzluğunun artırması praktiki olaraq lentin səthi ilə havada olan su buxarının qarşılıqlı təsiri və ləndə səthi kristallaşma nəticəsində müstəvi dərəcəli gərginlikləri induksiyanması ilə əlaqədardır [13].

Beləliklə, bu temperatur intervalında tədqiq edilən amorf maqnitiumşaq ərintidən hazırlanmış nümunənin havada termik emalı zamanı, maksimal maqnit nüfuzluğu praktiki olaraq izotermik

saxlama temperaturundan asılı deyil və havada termik emaldan sonra əsasən səthin amorf halı reallaşır, ya da səthdə qalınlığı optimala yaxın olan amorf-kristallik təbəqə formalaşır.



Şəkil 6. Amorf maqniyumşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunəsinin maksimal maqnit nüfuzluğunun havada izotermik saxlama müddəti $\tau = 5$ dəq olduqda, 20 və 40 K/dəq (uyğun olaraq 1 və 2 əyriləri) soyuma sürəti ilə termik emal temperaturundan asılılığı.

İşdə amorf maqniyumşaq $\text{Fe}_{72}\text{Co}_3\text{Si}_{12}\text{B}_{13}$ ərintisi nümunəsinin maqnit nüfuzluğunun havada izotermik saxlama müddəti $\tau = 7$ dəq olduqda, 15 və 40 K/dəq (uyğun olaraq 1 və 2 əyriləri) soyuma sürəti ilə termik emal temperaturundan asılılıq əyriləri müqayisə edilmiş və praktik olaraq amorf maqniyumşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunəsinə yaxın nəticə alınmışdır [5, s.21-24].

IV fəsilə Ferromaqnitlərdə maqnitooptik hadisələrin fenomenoloji təsviri verilmiş, maqnitooptik Kerr effektləri tədqiq edilmişdir. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisində maqnit və maqnitooptik xassələri öyrənilmiş Ekvatorial Kerr effektindən istifadə edərək alınmış eksperimental nəticələr tədqiq edilmişdir. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentində EKE-nin spektral asılılıqları, EKE-nin sahə

asilılıqları, EKE-nin temperatur asılılıqları, EKE spektrlərində anizotropiya tədqiq edilmişdir. Təcrübi olaraq Ekvatorial Kerr effektinin qiyməti aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$\mathcal{S} = \sqrt{2} U/U_{\sim} = \sqrt{2}(I - I_0)/I_0.$$

I – maqnitlənmiş səthdən əks olunan işığın intensivliyi, I_0 – maqnitlənməmiş səthdən əks olunan işığın intensivliyidir.

EKE-nin sahə asılılıqları maqnit sahəsində amorf lent səthinə paralel və lentin oxuna perpendikulyar istiqamətdə təyin edilmişdir.

$$\frac{M}{M_s} = \frac{\delta(H)}{\delta(H_s)}.$$

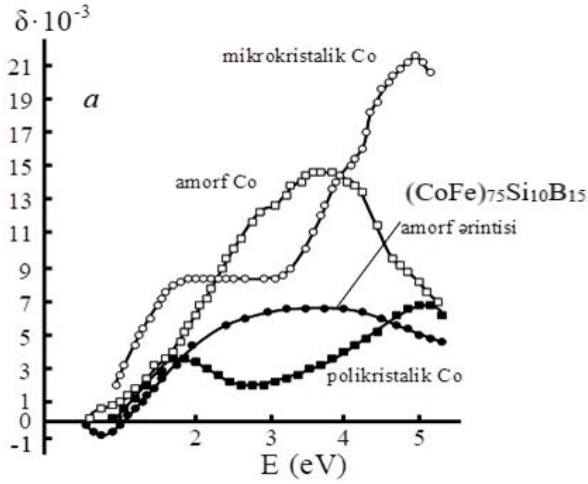
düsturunda $\delta(H)$ və $\delta(H_s)$ termik emal olunmamış və termik emal olunmuş nümunələr üçün uyğun olaraq H və H_s maqnit sahələrindəki Ekvatorial Kerr effektləridir. Tab olunmamış amorf lentin sahə asılılığında enerjinin 2 eV qiymətində səthi istiqamətində maqnit sahəsinin qiyməti 10 E olmuşdur. Səthin oxuna perpendikulyar istiqamətdə isə maqnit sahəsinin 300 E qiymətində doyma yaranır. Termik emal olunan nümunələrin maqnit xassələrinin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, amorf lentin termik emalına sərf olunan zaman artdıqca lentin səthinə paralel istiqamətində daha maqnityumşaqdır.

Maqnitooptik xassələrin eksperimental tədqiqatları emal edilməmiş $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ nümunəsi üçün, həmçinin havada və vakuumdə tabı alınmış nümunələrdə aparılmışdır. Örintilər alındıqdan sonra zəif maqnit sahəsində 420°S temperaturda (kristallaşma temperaturundan aşağı) havada və vakuumdə termiki işlənməyə məruz edilmişdir. Amorf lentin qalınlığı 25 mkm, uzunluğu 10 mm, eni isə 5 mm tərtibində olmuşdur. 2E və 3E sahə qiymətlərində havada tablanmış massiv nümunələr üçün spektrlərin forması və Kerr effektinin qiyməti tab alma müddətinin artması ilə aşağıdakı kimi dəyişir.

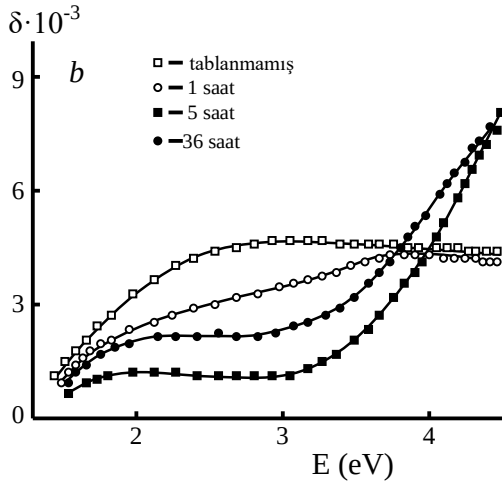
Emal olunmamış və 20 dəqiqə müddətində tabı alınmış lent nümunəsi üçün EKE-in qiyməti 1.5-2.5 eV intervalında düşən işığın enerjisi sahəsində artır. 3 eV-dan başlayaraq isə tədricən tezlikdən asılı olmayan görünüş alır. Alınmış nəticələr Co əsaslı amorf ərintilərin 3 eV sahəsində geniş maksimumla xarakterizə olunan məlum spektral EKE asılılıqları ilə müqayisə edilib. Aydınır ki, müqayisə olunan əyrilər oxşar formada olur və maqnitooptik effektin eyni qiymətini alır. Tab alma müddəti artdıqca tədqiq olunan amorf lentin EKE spektrləri daha da dəqiqləşir və bunu düşən işığın $h\nu \sim 4.5 \text{ eV}$ qiymətində meydana gələn anomaliya da sübuta yetirir. CoFe tərkibli ərintilər üçün oxşar spektral asılılıqlarla müqayisə (şəkil 7) belə fikir söyləməyə imkan verir ki, havada tablanmış amorf lentlərdə Ekvatorial Kerr effekti qiyməti artır, tədricən mikrokristallik Co ərintilərinə xas olan şəkllə düşür. Tab alma müddəti 5 saat və daha çox olan nümunə üçün Ekvatorial Kerr effektinin əyriləri kristallik Co ərinti üçün xarakterik olan formalaşmış şəkildə olurlar. Belə nümunənin EKE spektrlərində tab almada maqnit sahəsinin qiymətinin artması ilə MO effektin amplitudasının dəyişməsi aşkarlanıb. Bu zaman əyrilərin forması demək olar ki, dəyişilməz olub (şəkil 8). Belə lentin EKE-nin spektral asılılığı mikrokristal Co ərintilərinə xas olan $h\nu \sim 1.8 \text{ eV}$ və $h\nu \sim 4.5 \text{ eV}$ intervalında oxşar xüsusiyyətlərə malik olur.

Ancaq Ekvatorial Kerr effektinin forma və spektr qiymətlərinin dəyişməsi tab almaya uğradılmış mikrostrukturunun dəyişilməsini sübuta yetirir. Yəni, verilmiş amorf lentlərin maqnitooptik xassələrinin tədqiqatları nəticəsində müəyyən edilib ki, termiki emalın gedişi zamanı nümunələrin səthləri yaxınlığında ardıcılıqla mikrokristallaşmış qat formalaşır və inkişaf edir [14, s. 716-719].

Qeyd edək ki, yalnız havada aparılan tab alma prosesi səth ətrafı kristallik qatın yaranmasına səbəb olur. Nümunələrin vakuumda tab almaya uğradılmış EKE spektral asılılıqlarında hər hansı bir dəyişiklik müşahidə olunmamışdır.



Şəkil 7. Co əsaslı amorf ərintilər üçün nümunəvi EKE spektrləri



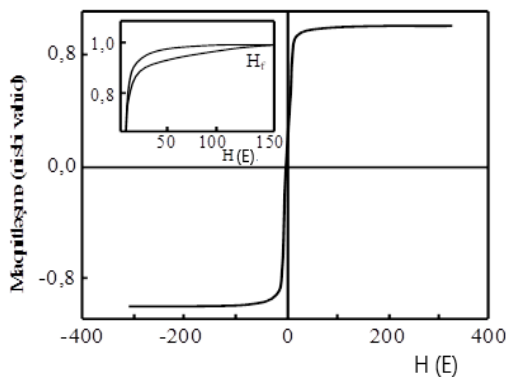
Şəkil 8. 2E sahəsində müxtəlif zaman müddətində havada tabı alınmış amorf lentin EKE spektrləri

Amorf mikrokrisatallik lentlərin səthində aşkarlanmış maqnit xassələrinin tədqiqi düşən işıq dalğalarının müxtəlif uzunluqlarında Ekvatorial Kerr Effektinin sahə asılılıqlarının və maqnitostatik ölçmələrin köməyiylə aparılmışdır. Termik emal olunmamış amorf lentin sahə asılılığında 2 eV-da paralel orientasiyada maqnit sahəsinin 10 E qiymətində, perpendikulyar istiqamətdə isə 300 E qiymətində doyma yaranır. Termik emal olunan nümunələrin maqnit xassələrinin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, termik emal müddəti artdıqca maqnit sahəsinə perpendikulyar istiqamətə nəzərən amorf lentin səthi boyunca olan istiqamət daha çox maqniyumşaqdır. Lakin termik emal olunma müddəti artdıqca nümunənin həm eni, həm də uzununu boyunca doyma halına nail olmaq üçün maqnit sahəsinin qiymətini artırmaq lazım gəlir. 2E maqnit sahəsində 5 saat müddətində termik emal olunmuş amorf lentlərin sahə asılılıqlarında paralel istiqaməti boyunca 200E-də doyma, perpendikulyar orientasiya zamanı isə doyma 400E-də müşahidə olunur [4, s.79-83]. Ekvatorial Kerr effektinin sahədən asılı olaraq özünü bu cür aparması onu göstərir ki, səth ətrafı təbəqənin maqnit quruluşu qalınlıq boyunca bircinsli deyil və səthə yaxın olan təbəqə daha çox maqnitbərkdir. Bu onu deməyə əsas verir ki, amorf nümunədə belə şəraitdə maqnit anizotropiyası yaranır. Amorf lentin maqnit xassələrində belə bir fərqi qiyməti havada termik emaldan sonra kiçik maqnit sahəsində daha da artır. Tədqiq olunan ərinti sıfıra yaxın maqnitostriksiyaya malik olur və onda olan maqnit anizotropiyasını amorf ərintinin hazırlanması zamanı yaranan daxili gərginlik və ya onun forma dəyişikliyinin təsiri ilə izah etmək olar [13].

Anizotropiyanın formasının amorf lentin maqnit xassələrinə təsirini aradan qaldırmaq üçün 2×2 mm ölçülü $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ nümunədə ekvatorial Kerr effektinin sahə asılılıqları öyrənilmişdir. Kvadrat formalı termik emal olunmamış amorf lentlər üçün iki istiqamətdə aparılan ölçmələrin nəticələri üst-üstə düşür və doyma asılılığında sahə intensivliyinin 150 E-də qiymətində müşahidə olunur. Emal olunmayan amorf lentin maqnit xassələrinin anizotropluğuna əsas təsiri göstərən amil daxili anizotropiyanın

forma dəyişikliyidir. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, 2E maqnit sahəsində havada 5 saat müddətində termik emal olunmuş kvadrat şəkilli nümunədə maqnit anizotropiyası dəyişməz qalır. Daha doğrusu termik emal olunmuş nümunə üçün qurulmuş Ekvatorial Kerr effektinin sahə asılılıqlarının özünü belə aparması yalnız onun formasından deyil, həm də səthə yaxın təbəqədə yaranmış kiçik kristalların və kristallitlərin xassələrindən asılı ola bilər.

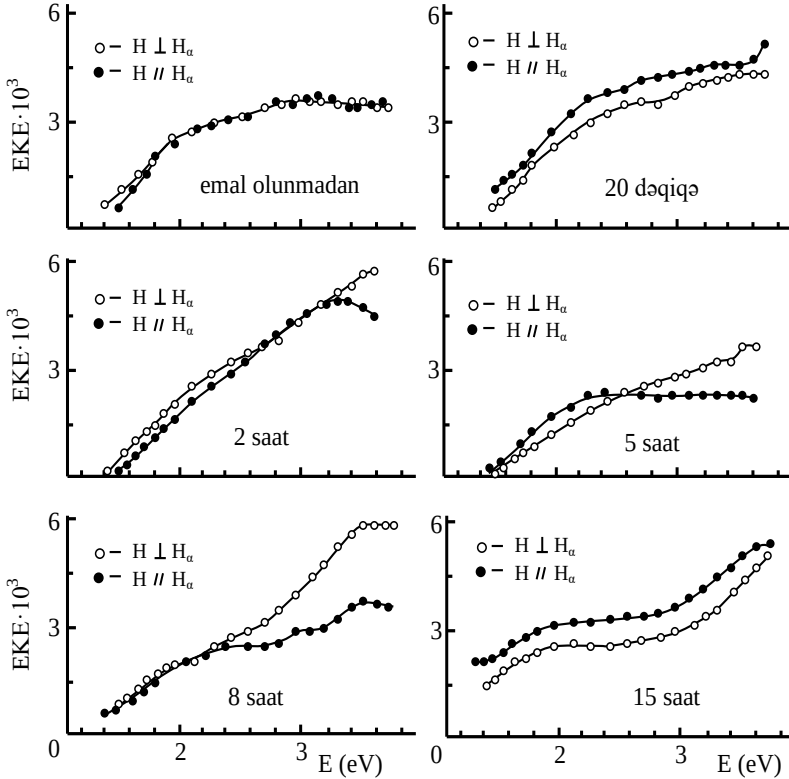
Tədqiq olunan, havada və vakuumda termik emal olunmuş amorf lentlərin otaq temperaturunda 8 kE-ə qədər maqnit sahəsində vibrasiyalı maqnitometrin köməyiylə histerezis ilgəyi qurulmuşdur (şəkil 9). Havada termik emal olunmuş nümunələr üçün 30-300 E maqnit sahəsində əlavə histerezis müşahidə edilmişdir ki, bu da yüksək koersitiv fazanın yaranmasının göstəricisidir. Məlumdur ki, vibrasiyalı maqnitometr də ölçmələr nümunənin bütün həcmi boyu orta nəticə verir. Belə ölçmələr zamanı səthə yaxın təbəqədə maqnitləşmənin dəyişməsi 5% təşkil edir [8, s. 191-195].



Şəkil 9. Emal olunmamış amorf lent üçün histerezis ilgəkləri

Şəkil 10-da sahə lentin səthi boyunca, həm də perpendikulyar istiqamətdə tətbiq edildiyi zaman ölçülmüş Ekvatorial Kerr effektlərinin spektrləri göstərilib. Tədqiq olunan lentin oxu

istiqlamətinə nisbətən maqnit sahəsinin perpendikulyar istiqamətdə ölçülmüş spektrlərin forması daha cəlbedici dəyişir. Ekvatorial Kerr effekti ayrıləri göstərir ki, anizotropluq 2 saatdan yuxarı müddətdə maqnit sahəsində tab almaya uğradılmış nümunədə yaranır. Tab alma müddəti 8 saatdan çox olduqda isə anizotropluq yox olur. Müəyyən olunmuşdur ki, 100 mE sahədə 8 saat müddətində tabı alınmış nümunədə maqnitooptik xassənin amplitudu müxtəlif temperatur dəyişmələrində praktiki dəyişməz qalır [9, s. 43-46].



Şəkil 10. Müxtəlif zaman müddətlərində 3E maqnit sahəsində tab almaya uğradılmış $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lent üçün EKE spektrləri.

Nümunənin profildə qığant maqnit impedansı simmetrik xarakter daşıyır, 8 saat müddətində tabı alınmış lentlər üçün çox güclü 5E

maqnit sahəsində maqnit impedansın sahədən kəskin asimmetrik asılılığı müşahidə edilir [11, s. 86].

Belə amorf lentlər üçün birinci dəfə qızdırıldıqda Kerr effektinin amplitudu azalır. Sonrakı tədqiqatlar göstərir ki, baxılan diapazonda maqnitooptik xassələrdəki bu dəyişiklik geri dönməzdir.

Belə ki, təkrar 420 K-ə qədər qızdırıldıqda və otaq temperaturuna qədər soyudulduqda amorf lentin Ekvatorial Kerr effekti praktik olaraq dəyişməz qalır [7, s.48-51]. Amorf ərintilərin kristallaşması termik emal prosesindən, tab alma temperaturundan və onun müddətindən asılıdır. Amorf lentlərin səthə yaxın qatında havada tab alma zamanı mikrokristallik fazanın qeyri bircins qalınlığında yavaş-yavaş formalaşır. Tab almadan sonrakı temperatur emalı amorf ərintilərin quruluşunun sonrakı düzülüşü baş verir, onun eni boyunca mikrokristallik qatı paylanır [9, s.43-46]. EKE ölçmələrində dəyişən maqnit sahələri boyunca (H_{par}), eləcə də sahəyə perpendikulyar istiqamətdə (H_{per}) tətbiq edilmişdir.

Ekvatorial Kerr effektinin sahə asılılıqlarının ölçülməsi nəticələrindən əldə edilir ki, həm paralel, həm perpendikulyar istiqamətdə ölçülmüş nümunənin maqnit xassələrinin müxtəlifliyi sahənin 300-400 E qiymətində yox olur. Bundan başqa, 3 E sabit maqnit sahəsində müxtəlif zaman müddətində havada tab almaya uğradılmış nümunələr üçün güclü maqnit sahəsində Ekvatorial Kerr effektlərinin qiymətlərinin anizotropiyası müşahidə edilmişdir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Müəyyən edilmişdir ki, $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqniyumşaq lent nümunəsində maqnit itkilərinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması, ən kiçik koersitiv qüvvə (0.4 A/m), yüksək maqnit nüfuzluluğu ($\mu = 1250\,000$), yüksək düzbucaqlılığa ($B_r/B_m = 0,94$) malik histerezis ilgəyi dəyişən maqnit sahəsində suda tablamanın hesabına yaranır. Tablama zamanı tablama gərginliklərinin meydana gəlməsi ilə əlaqədar olaraq domen quruluşunun xırdalanmasına gətirən böyük olmayan lokal maqnitoelastiki anizotropiya yaranır.

2. Göstərilmişdir ki, vakuumda və suda termik emaldan fərqli olaraq havada termik emal olunmuş nümunələrdə yüksək koersitiv fazanın yaranması ilə əlaqədar olaraq 30-300 E maqnit sahəsində əlavə histerezis əmələ gəlir.
3. Göstərilmişdir ki, induksiya cərəyanları ilə əlaqədar ayrılan istilik səbəbindən dəyişən maqnit sahəsindəki temperatur ölçmələrində xətalı minimuma endirməyə imkan verən termoelektrik sensorlar istehsalına yararlı materiallar kimi Co-Fe və Ni-Fe əsasında olan nazik maqnit lentlər istifadə oluna bilər.
4. Aşkar edilmişdir ki, $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ maqnitiumşaq amorf ərintilərin maksimal maqnit nüfuzluğuna izotermik saxlama temperaturunun və soyuma sürətinin təsiri termik emal zamanı baş verən diffuziya prosesləri ilə təyin edilir. 400-420 °C temperatur intervalında izotermik saxlama müddətinin 5 dəq olması və havada 40K/dəq soyuma sürəti ilə termik emal maksimal maqnit nüfuzluğu artırdığı üçün praktiki olaraq optimal termik emal rejimi sayıla bilər.
5. Müəyyən edilmişdir ki, 3 E maqnit sahəsində tabı alınmış $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ nümunəsinin EKE-nin maqnitooptik spektrlərində amorf lentlərin səthaltı təbəqəsində kristal və kristallitlərin yaranması nəticəsində 2 kE maqnit sahəsinə perpendikulyar istiqamətdə anizotropiya baş verir.
6. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentinin zəif maqnit sahəsində havada tablanması zamanı nanokristallik səthaltı təbəqədə anizotropiyanın qeyri bircinsliyi nəticəsində 2 E - 10 E sahədə QMİ effektinin güclənməsi və onun asimmetrik olması göstərilmişdir.
7. Ekvatorial Kerr effektinin spektral asılılıqları əsasında $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lenti 3 E maqnit sahəsində 2-8 saat aralığında tab almaya uğradıldıqda bu lentdə kristallik təbəqənin tam formalaşmaması nəticəsində maqnit sahəsinin anizotropiyanın yaranması müşahidə olunmuşdur. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentində temperaturu 350 K-dən 370 K qədər dəyişdikdə lentin səthə yaxın təbəqəsində mikrokristallik halın dəyişməsi nəticəsində maqnit impedansının 2 dəfə azalması aşkar edilmişdir.

Dissertasiya mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlər

1. İsayeva, A.Ə. Metalların optik və maqnitooptik xassələrin təyin etmək üçün qurğunun hazırlanması // – Bakı: XX Respublika Elmi konfransının materialları, Bakı,–2016. 24-25 may – s.26-28.
2. İsayeva, A.Ə. CoFeCrSiB tərkibli amorf ərintilərin maqnit və elektrik müqaviməti xassələrinə temperaturun təsiri // Bakı: - 2015. XVIII Respublika elmi konfransının materialları, – s. 113-115.
3. İsayeva, A.Ə. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf ərintisində maqnit itkilərinin termik emal rejimindən və tərkibindən asılılığı // – Bakı: Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika Elmi konfransının materialları I bölmə,–2017. 24-25 oktyabr – s.10-12.
4. İsayeva, A.Ə. CoFe əsaslı amorf lentin alınma texnologiyası və Kerr effektini sahə asılılıqlarının öyrənilməsi //– Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərlər, –2019. №3, –s.79-83.
5. İsayeva, A.Ə. Fe₇₂Co₃Si₁₂B₁₃ maqniyumşaq amorf lentin maqnit nüfuzluğuna soyuma sürətinin təsiri // – Bakı: Gənc Tədqiqatçı Elmi-praktiki jurnal -2021, №2 –c. 8. –s. 21-24.
6. Pənahov, T.M., Əhmədov V.İ., İsayeva A.Ə. Amorf maqniyumşaq lentin maqnit xassələrinə səth halının təsiri // Bakı:–2012 Fizikanın müasir problemləri VI respublika konfransı, –s.15-16.
7. Pənahov, T.M., İsayeva, A.Ə. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf lenti üçün Ekvatorial Kerr effektinin temperatur asılılıqları //– Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərlər, – 2017, №3 –s. 48-51.
8. Pənahov, T.M., İsayeva, A.Ə. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf ərintisi üçün histerezis ilgəklərinin alınması //– Bakı: Bakı Universitetinin Xəbərləri Fizika-Riyaziyyat elmlər seriyası, – 2017, №4, –s.191-195.
9. Pənahov, T.M., Musayev, Z.S., İsayeva, A.Ə. CoFe əsaslı amorf lentlərin ekvatorial Kerr effektinin spektrlərinin anizotropluğu,

- //– Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərləri, – 2017. №3, –s. 43-46.
10. Pənahov, T.M., İsayeva, A.Ə. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqnitiumşaq materialların maqnit strukturu və rentgen quruluş təhlili //– Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərlər, – 2018. №2, – s. 68-71.
 11. Pənahov, T.M., Musayev, Z.S., İsayeva, A.Ə. CoFe əsaslı amorf ferromaqnit ərintilərin maqnit müqaviməti effekti //– Bakı: Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri Beynəlxalq elmi-texniki jurnal, – 2019. №1 Cild 11– s. 86-89.
 12. Панахов, Т.М., Исаева, А.А., Рефиев, Н.М. Магнитооптические свойства аморфных лент на основе CoFe // Бюллетень науки и практике, –Нижневартовск: – 2018, т. 4. №8, – с. 136-143.
 13. Abdullayev, A. P., Ahmadov, V. I. and Isayeva, A. A. Magnetic penetration investigation on the bands made of amorphous magnetically soft $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ alloys under the thermal processing // International Journal of Modern Physics B – Singapur: – 2021.v.35, № 3.
 14. Isayeva, A.Ə. Magneto-Optical Features of Amorphous Ribbon $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ // International Journal of Science and Research (IJSR), – India: vol. 5. № 8, – August 2016. – p. 716-719.
 15. Panahov, T.M. Magnetic Thermocouples Made of CoFe and FeNi Permalloys / T.M Panahov, A.Ə. Isaeva, N.M.Rafiev, A.H. Huseynov // Technical physics –2019. v. 89, №.7. – p. 987-990.

Dissertasiyanın müdafiəsi 04 mart 2022 - ci il tarixində saat 15:00-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəh., Z.Xəlilov küç.23, Bakı Dövlət Universiteti, əsas bina

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi Kitabxanasında tanış olmaq olar.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 01 fevral 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 24.01.2022

Kağızın formatı: A5

Həcm: 36530

Tiraj: 100