

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ BƏRK MƏHLULLARININ MAQNİT XASSƏLƏRİ**R.E. HÜSEYNOV**

*Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu,
Bakı, Az 1143, H. Cavid, 131
r.e.huseynov@gmail.com*

Al atomlarının $x=0.1-1.2$ konsentrasiyası intervalında BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ bərk məhlullarının maqnit xassələri neytron difraksiyası və vibrasiyalı maqnitometriya metodları ilə tədqiq edilmişdir. Al atomlarının $x = 0.1-1.2$ konsentrasiyası intervalında BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ bərk məhlullarının kristal quruluşlarının dayanıqlı olması müəyyən edilmişdir. Birləşmələrə daxil olan hər bir Fe atomunun maqnit momenti təyin edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, birləşmələrin tərkibində Al³⁺ diamaqnit ionlarının konsentrasiyası artdıqca, Fe³⁺ ionlarının maqnit momentlərinin qiymətləri azalır. Xüsusi maqnit momentinin $\sigma = 49.6 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{kq}$ ($x = 0.1$) qiymətindən $\sigma = 32 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{kq}$ ($x = 1.2$) qiymətinə qədər azalması müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: Seqnetoelektrik, Ferromaqnit, Heksaferritlər, Multiferroik, Neytron difraksiyası

PACS: 81.40.Vw, 61.05.C-, 77.80.B-

1. GİRİŞ.

Heksaqonal kristal quruluşa malik olan BaFe₁₂O₁₉ birləşməsi sabit maqnit xassələri göstərən və informasiya daşıyıcı material kimi çox əhəmiyyətli birləşmə olaraq son zamanlar geniş tədqiq edilir [1]. Məlumdur ki, eyni zamanda seqnetoelektrik və ferromaqnit xassələri müşahidə edilən multiferroiklər müasir elektronika üçün əvəzəilməz materiallardır. Lakin, bu materialların çoxunda maqnit xassələri aşağı temperatur oblastında maqnit xassələri göstərdikləri üçün, normal şəraitdə hər iki ferroik xassəni müşahidə etmək mümkün deyildir. Belə materiallara misal olaraq perovskit (BiMnO₃ və s.) [2] və ikiqat perovskit multiferroikləri (Bi₂MnO₃ və s.) [3] göstərmək olar. Otaq temperaturunda seqnetoelektrik və maqnit xassələrini müşahidə etmək üçün, güclü maqnit xassələrinə malik olan birləşmələrdə maqnit ionlarının diamaqnit ionlarla əvəz edilməsilə maqnetizmi zəiflətmək və seqnetoelektrikliyi gücləndirmək yolu ilə yeni multiferroiklər sintez edirlər. Belə birləşmələr arasında ən çox geniş tədqiq edilənlər barium heksaferritin əsasında alınmış bərk məhlullardır. Maqnit xassələrinin tədqiqi göstərir ki, BaFe_{12-x}Me_xO₁₉ (Me=Al, In, Ga və s.) bərk məhlulları $0.1 \leq x \leq 1.2$ intervalında hekzaqonal simmetriyalı kristal quruluşlarını saxlayırlar və maqnit xassələrinə malik olurlar [4-6].

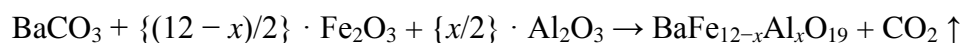
Gorter tərəfindən irəli sürülmüş P6₃/mmc fəza qrupuna malik olan M tip hekzaqonal quruluşda maqnit aktiv olan Fe³⁺ ionları beş qeyri-ekvivalent kristalloqrafik mövqələrdə yerləşirlər ki, bunlar da oksigen atomları ilə əhatə edilmiş oktaedr (Fe1-2a, Fe4-4f_{VI} və Fe5-12k), pentaedr (bipiramida) (Fe2-2b) və tetraedr (Fe3-4f_{IV}) şəklində olurlar [7]. Bu birləşmələrin maqnit xassələrinin tədqiqi göstərmişdir ki, ferrimaqnit-paramaqnit fəza keçidi temperaturu $T_C \approx 740 \text{ K}$ Kюри temperaturundan aşağı temperaturlarda 12 Fe³⁺ kationu, biri birinə antiparalel olan 5 fərqli qəfəsaltı maq-

nit yaradır: 1·Fe1↑, 2·Fe2↓, 1·Fe3↑, 2·Fe4↓, 6·Fe5↑ [8].

Neytron difraksiyası metodu, kristal quruluşa malik materialların kristal və maqnit quruluşlarının öyrənilməsi üçün ən dəqiq metod hesab edilir. Belə ki, digər difraksiya metodlarından fərqli olaraq neytron difraksiyası tərkibində yüngül element atomları və yaxın sıra nömrələrinə malik element atomlarının olduğu kristalların quruluşunu öyrənməyə imkan verir ki, bir çox hallarda (xüsusilə yüngül atomların olduğu sistemlərdə) rentgen və elektron difraksiyası metodlarının köməkliyi ilə bu tədqiqatları aparmaq çətindir. Neytronlar spinə malik olduqlarına görə, maqnit xassələrinə malik olan element atomlarının daxil olduqları sistemlərin öyrənilməsi zamanı yalnız kristal quruluş haqqında deyil, həm də maqnit quruluşu haqqında məlumat almağa, müxtəlif kristalloqrafik mövqələrdə yerləşən atomların maqnit momentlərinin təyin edilməsinə imkan yaradır.

2. TƏCRÜBƏ.

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ ($x = 0.1, 0.3, 0.6, 0.9$ və 1.2) bərk məhlullarının ovuntu halında hazırlanmış keramika nümunələri yüksək temperatur sobalarında standart metodla “yüksək təmiz” markalı Fe₂O₃, Al₂O₃ və BaCO₃ oksidlərindən sintez edilmişdir. Sintez prosesi zamanı ilkin mərhələdə oksidlər və barium karbonat müvafiq miqdarda və qaydada qarışdırılmış, ikinci mərhələdə açıq havada 1200°C temperaturda 6 saat qızdırılmışdır. Son mərhələdə isə açıq havada 1300°C temperaturda 6 saat qızdırılmışdır. Sintez prosesindən sonra nümunələr yavaş aşağı sürətlə soyudulmuşdur (100°C saat⁻¹). BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ ($x = 0.1, 0.3, 0.6, 0.9$ və 1.2) bərk məhlullarının ovuntu halında olan nümunələrinin alınma reaksiyaları aşağıdakı şəkildə ifadə olunur:



Alınmış nümunələrin kristal quruluşları rentgen difraksiyası metodu ilə D8 Advance (Bruker) difraktometrində tədqiq edilmişdir. D8 Advance rentgen di-

fraktometrinin parametrləri: 40 kV, 40 mA, CuK_α-şüalanma ($\lambda=1.5406\text{Å}$) kimidir. Alınmış rentgen difraksiyası spektrləri çoxkanallı analizatorda saxlanılmış, il-

kin mərhələdə barium heksaferrit və onun bərk məhlullarının quruluş parametrlərinin baza məlumatları ilə müqayisə edilərək faza analizləri aparılmışdır. Sonrakı mərhələdə isə birləşmələrin kristal quruluşları ətraflı analiz edilmişdir. Kristal quruluşun analizi FullProf proqramının 2016 versiyası ilə Ritveld metodu ilə aparılmışdır.

Neytron difraksiyası tədqiqatları IBR-2 impuls reaktorunda yerləşən (BNTI, Dubna, Rusiya) yüksək dəqiqlikli Furje difraktometrində otaq temperaturunda yerinə yetirilmişdir. Neytonoqrammalar $\pm 152^\circ$ bucaq altında yerləşən detektorlar vasitəsilə $0,6 \div 3,6 \text{ \AA}$ müstəvilərə məsafələr intervalında qeyd edilmişdir. Alınmış spektrlər Ritveld metodu ilə FullProf proqramı vasitəsilə analiz edilmişdir [9].

Helium və otaq temperaturunda tədqiqat nümunələrinin maqnit xassələrinin xarici maqnit sahəsindən asılılığı, vibrasiyalı maqnitometriya metodu ilə, "Helium Free Liquid" universal ölçü sistemi vasitəsilə $\pm 2T$ xarici maqnit sahəsində yerinə yetirilmişdir.

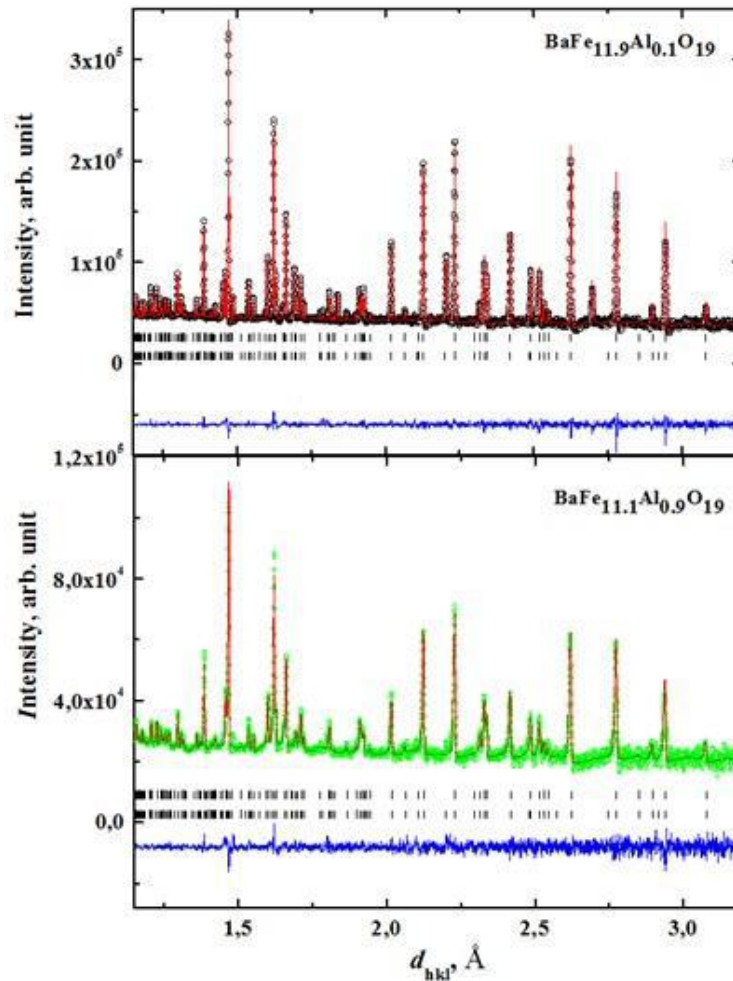
3. NƏTİCƏLƏRİN MÜZKİRƏSİ

a) Neytron difraksiyası.

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ multiferroik birləşmələrində müxtəlif kristalloqrafik mövqələrdə yerləşən Fe atom-

larının maqnit momentlərini təyin etmək üçün Al atomlarının $0.1 \leq x \leq 1.2$ konsentrasiyası intervalında toz halında alınmış nümunələr otaq temperaturunda və normal şəraitdə neytron difraksiyası metodu ilə tədqiq edilmişdir. BaFe_{11.9}Al_{0.1}O₁₉ və BaFe_{11.1}Al_{0.9}O₁₉ birləşmələrinin nümunələri üçün alınmış neytron difraksiyası spektrləri şəkil 1-də verilmişdir. Difraksiya spektrlərinin analizindən alınmışdır ki, bu birləşmələrin kristal quruluşları P6₃mmc fəza qruplu heksaqonal kristal quruluşa tam uyğun gəlirlər. BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ ($x=0.1-1.2$) birləşmələrinin qəfəs parametrlərinin qiymətləri: $a \approx 5.8 \text{ \AA}$, $c \approx 23.1 \text{ \AA}$ qiymətlərinə uyğun gəlir ki, bu da rentgen difraksiyası metodu ilə alınmış nəticələrə uyğundur.

Neytron difraksiyası spektrlərinin analizindən müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrin hər biri otaq temperaturunda ferrimaqnit xassələrə malikdirlər. Fe³⁺ ionları heksaqonal kristal quruluşda $O\bar{c}$ oxu istiqamətində düzülmüşdür. Cədvəl 1-də Al atomlarının x konsentrasiyasının müxtəlif qiymətlərində BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ ($x = 0.1-1.2$) bərk məhlullarında fərqli kristalloqrafik mövqələrdə ($2a$, $2b$, $4fIV$, $4fVI$ və $12k$) yerləşən dəmir ionlarının maqnit momentlərinin qiymətləri verilmişdir.



Şəkil 1. BaFe_{11.9}Al_{0.1}O₁₉ və BaFe_{11.1}Al_{0.9}O₁₉ nümunələrinin otaq temperaturunda ölçülmüş və Ritveld metodu ilə analiz edilmiş neytron difraksiyası spektrləri.

Cədvəl 1.

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x = 0.1-1.2) birləşmələrinin müxtəlif kristalloqrafik mövqelərdə yerləşən Fe atomlarının maqnit momentləri.

Konsentrasiya					
X	0.1	0.3	0.6	0.9	1.2
Dəmir atomlarının maqnit momentləri (μ _B)					
Fe1 (2a)	3.82	3.77	3.25	3.36	2.16
Fe2 (2b)	4.08	4.11	3.09	3.74	2.18
Fe3 (4f _{IV})	3.65	3.68	3.25	3.60	1.47
Fe4 (4f _{VI})	4.09	4.15	3.75	3.57	1.25
Fe5 (12k)	3.59	3.55	3.25	3.12	2.07

Al atomlarının konsentrasiyasının ən az olduğu halda (x=0.1) 2a mövqeyində yerləşən Fe1 atomlarının maqnit momentinin qiyməti μ = 3.82 μ_B olur, lakin konsentrasiyasının ən yüksək olduğu halda (x=1.2) maqnit momentinin qiyməti azalır və μ=2.16μ_B qiymətinə malik olur. Göründüyü kimi maqnit momentinin qiymətində Δμ = 1.66 μ_B olmuşdur ki, bu da 43.5% təşkil edir. Digər dəmir atomlarının maqnit momentlərinə də baxsaq görərik ki, Al atomlarının konsentrasiyasının artması onlara da kifayət qədər təsir göstərir. Ən çox təsir 4f_{VI} kristalloqrafik mövqeyində yerləşən Fe4 atomlarında müşahidə edilir. Al atomlarının ən kiçik qiymətinə malik olan BaFe_{11.9}Al_{0.1}O₁₉ birləşməsində maqnit momentinin ən yüksək qiyməti 4f_{VI} kristalloqrafik mövqeyində yerləşən Fe4 atomunda müşahidə edildiyi halda (μ = 4.09 μ_B), Al atomlarının ən böyük qiymətinə malik olan

BaFe_{10.8}Al_{1.2}O₁₉ birləşməsində maqnit momentinin ən yüksək qiyməti 2b kristalloqrafik mövqeyində yerləşən Fe2 atomunda müşahidə edilir (μ = 4.09 μ_B). Bu onunla əlaqədardır ki, Al atomlarının hansı mövqedə dayanmış Fe atomlarını əvəz etməsi ehtimal xarakteri daşıyır. Dəmir və alüminium atomları kristal quruluşunda eyni mövqedə dayanırlar. Ona görə də, c̄ oxu istiqamətində ardıcıl olaraq bir neçə Al atomu yerləşərsə, bu zaman maqnit momentlərinin qiymətində əsaslı şəkildə azalma müşahidə edilə bilər. Lakin, əksinə, bir neçə Fe atomu ardıcıl gələrsə, o zaman maqnit momentinin qiyməti barium heksaferrit birləşməsində Fe atomları üçün alınmış maqnit momentlərinin qiymətlərinə yaxınlaşır.

Elementar qəfəsinin ümumi maqnit momentini aşağıdakı düsturla hesablamaq mümkündür :

$$M_{\text{Total}}(T) = 1[\mu_{2a}(T)] + 1[\mu_{2b}(T)] - 2[\mu_{4f_{IV}}(T)] - 2[\mu_{4f_{VI}}(T)] + 6[\mu_{12k}(T)]$$

burada T – maqnit momentlərinin hesablandığı temperaturdur. Otaq temperaturunda BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ bərk məhlulları üçün ümumiləşmiş maqnit momentini hesablasaq görərik ki, BaFe_{11.9}Al_{0.1}O₁₉ birləşməsi üçün μ_{Total} = 13.96 μ_B, BaFe_{10.8}Al_{1.2}O₁₉ birləşməsi üçün μ_{Total} = 11.32 μ_B qiymətinə malik olur. Al atomlarının 0.1 ≤ x ≤ 1.2 konsentrasiyası intervalında ümumiləşmiş maqnit momentlərinin qiymətləri cədvəl 2-də verilmişdir. Cədvəldən görürük ki, birləşmələrin kristal qəfəslərində diamaqnit Al³⁺ ionlarının sayı çoxaldıqca, maqnit momentlərinin qiymətlərində azalma müşahidə

edilir ki, bu da uzaq maqnit nizamlılığının zəifləməsinə səbəb olur. Məlumdur ki, T = 0 K temperaturda barium heksaferritdə Fe³⁺ ionlarının maqnit momentləri μ=5μ_B olmalıdır [10]. Bu halda BaFe₁₂O₁₉ birləşməsi üçün μ_{Total} = 20 μ_B alınır. Nəzərə alsaq ki, istilik rəqslərinin yaranması hesabına mütləq sifir temperaturda müqayisədə otaq temperaturunda maqnit momentinin qiyməti xeyli aşağı düşür və bu zaman BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ bərk məhlullarında Al atomlarının 0.1 ≤ x ≤ 1.2 intervalında maqnit xassələri kifayət qədər saxlanılır.

Cədvəl 2.

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (0.1 ≤ x ≤ 1.2) bərk məhlulları üçün ümumiləşmiş maqnit momentləri.

Konsentrasiya	Birləşmə	Ümumi maqnit momenti
x = 0.1	BaFe _{11.9} Al _{0.1} O ₁₉	13.96 μ _B
x = 0.3	BaFe _{11.7} Al _{0.3} O ₁₉	13.52 μ _B
x = 0.6	BaFe _{11.4} Al _{0.6} O ₁₉	11.84 μ _B
x = 0.9	BaFe _{11.1} Al _{0.9} O ₁₉	11.48 μ _B
x = 1.2	BaFe _{10.8} Al _{1.2} O ₁₉	11.32 μ _B

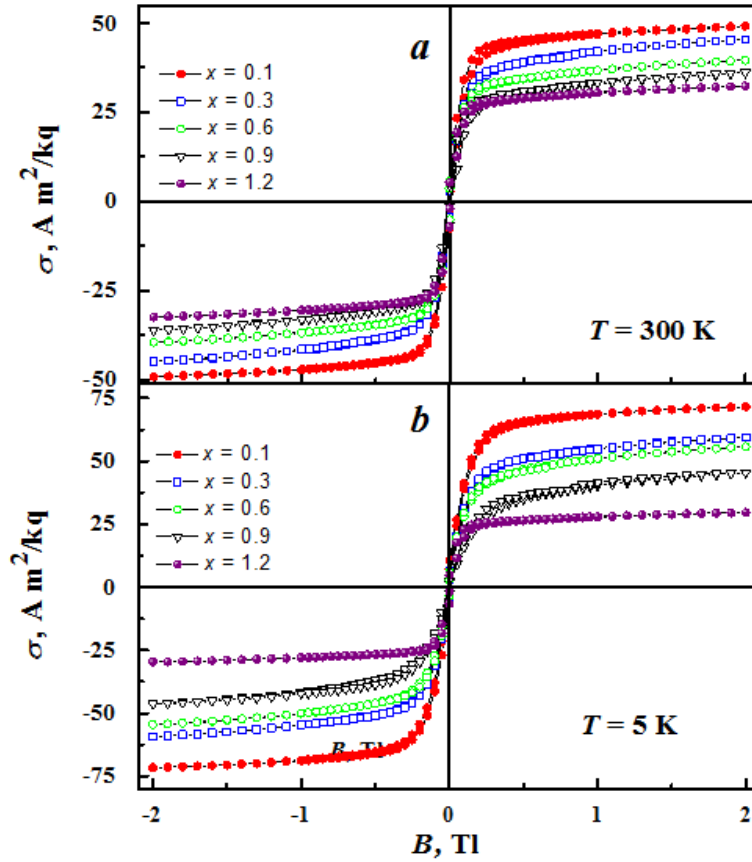
b) Vibrasiyalı maqnitometriya

Ferromaqnit, antiferromaqnit və ferrimaqnit xassələrə malik olan materialların maqnit xassələrinin dəyişmə mexanizminin öyrənilməsi üçün tətbiq edilən və ən geniş yayılmış metodlardan biri də vibrasiyalı maqnitometriya metodudur. Bu metod bizə imkan verir ki,

temperatur və xarici sahənin təsiri altında maqnit materiallarının xüsusi maqnit momentlərini təyin edək. Tədqiqat obyektləri olan BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x = 0.1-1.2) bərk məhlullarının maqnit xassələrinin kompleks şəkildə öyrənilməsi və neytron difraksiyası metodu ilə alınmış nəticələrin bir daha təsdiq edilməsi məqsədi ilə vibrasiyalı maqnitometriya metodu ilə tədqiqatlar

aparılmışdır. Məlumdur ki, aşağı temperaturlar oblas-
tında maqnit xassələrə malik olan materialların kristal
quruluşlarında atomların istilik rəqslərinin amplitudu-
nun və fluktuasiyaların azalması hesabına uzaq maqnit
nizamlılığının güclənməsi baş verir. Xarici maqnit sa-
həsinin təsiri ilə aşağı temperaturlar oblas-
tında alınmış histerezis əyri-
ləri, materialların maqnit xassələri
haqqında geniş məlumatlar əldə etməyə imkan verir.
Ona görə də, $B = \pm 2$ Tl xarici maqnit sahəsinin təsiri
altında vibrasiyalı maqnitometriya metodu ilə otaq
temperaturundan $T = 5$ K-ə qədər aşağı temperaturlar
oblas-
tında BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ ($x=0.1-1.2$) heksaferritlərinin
nümunələrinin maqnit xassələri tədqiq edilmişdir.
Birləşmələrin tərkibində Fe³⁺ maqnit ionlarının Al³⁺
diamaqnit ionları ilə qismən əvəz edilməsi zamanı
maqnit xassələrinin dəyişməsi müəyyən-
ləşdirilmişdir. Otaq temperaturunda və $T = 5$ K temperaturda (helium
temperaturunda) Al atomlarının $0.1 \leq x \leq 1.2$ konsen-
trasiyası intervalında BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ bərk məhlul-
larının təyin edilmiş xüsusi maqnit momentlərinin xa-
rici maqnit sahəsindən asılılıqları (histerezis əyri-
ləri) şəkil 2-də verilmişdir. Asılılıqlardan görünür ki, xarici
maqnit sahəsinin təsiri ilə xüsusi maqnit momentinin
qiymətində yüksəlmə baş verir ki, bu da sahənin təsiri
ilə uzaq maqnit nizamlılığının daha da güclənməsi ilə
əlaqədardır. Digər tərəfdən, birləşmələrin tərkibində
Al diamaqnit ionlarının konsentrasiyası yüksəldikcə,
xüsusi maqnit momentinin qiymətində azalma müşa-
hidə edilir. Otaq temperaturunda ($T=300$ K)

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ birləşmələrinin tədqiqat nümunələrinin
tərkiblərində Al atomlarının konsentrasiyası artdıqca,
 $B=\pm 2$ Tl xarici maqnit sahəsinin təsiri ilə xüsusi maq-
nit momentinin qiymətində $\sigma = 49.6$ A·m²/kq ($x = 0.1$)
qiymətindən $\sigma = 32$ A·m²/kq ($x = 1.2$) qiymətinə qədər
azalması baş vermişdir ki, bu da Al³⁺ diamaqnit ionları-
nın təsiri ilə uzaq maqnit nizamlılığının pozulmasının
nəticəsidir. $\Delta\sigma=17.6$ A·m²/kq etmişdir ki, bu da xarici
maqnit sahəsinin təsiri altında xüsusi maqnit momen-
tinin qiymətinin 35.5% azalması deməkdir. Alümini-
um atomlarının müxtəlif konsentrasiyalarında
BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ bərk məhlullarında xüsusi maqnit momen-
tinin qiymətləri cədvəl 3-də verilmişdir. Tərkibin-
də Al diamaqnit ionlarının konsentrasiyası yüksəldik-
cə, xüsusi maqnit momentinin qiymətində azalma müşa-
hidə edilir. Otaq temperaturunda ($T = 300$ K)
BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ birləşmələrinin tədqiqat nümunələrinin
tərkiblərində Al atomlarının konsentrasiyası artdıqca,
 ± 2 Tl xarici maqnit sahəsinin təsiri ilə xüsusi maqnit
momentinin qiymətində $\sigma = 49.6$ A·m²/kq ($x = 0.1$)
qiymətindən $\sigma = 32$ A·m²/kq ($x = 1.2$) qiymətinə qədər
azalması baş vermişdir ki, bu da Al³⁺ diamaqnit ionları-
nın təsiri ilə uzaq maqnit nizamlılığının pozulma-
sının nəticəsidir. $\Delta\sigma = 17.6$ A·m²/kq etmişdir ki, bu da
xarici maqnit sahəsinin təsiri altında xüsusi maqnit
momentinin qiymətinin 35.5% azalması deməkdir. Al
atomlarının müxtəlif konsentrasiyalarında
BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ bərk məhlullarında xüsusi maqnit momen-
tinin qiymətləri cədvəl 3-də verilmişdir.



Şəkil 2. Otaq temperaturunda (a) və $T = 5$ K temperaturda (b) BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ ($x = 0.1, 0.3, 0.6, 0.9$ və 1.2) bərk məhlullarının xüsusi maqnit momentlərinin xarici maqnit sahəsindən asılılıqları.

Cədvəl 3.
Müxtəlif konsentrasiyalarda $\text{BaFe}_{12-x}\text{Al}_x\text{O}_{19}$
bərk məhlullarında xüsusi maqnit
momentinin qiymətləri.

Konsentrasiya	Maqnit momenti, $\text{A}\cdot\text{m}^2/\text{kq}$
$x = 0.1$	49.6
$x = 0.3$	45.3
$x = 0.6$	39.5
$x = 0.9$	36.1
$x = 1.2$	32.0

Şəkil 2- dən görünür ki, azalma əyrilərində əsasən xarici sahənin ± 0.2 Tl qiymətinə qədər güclü dəyişiklik baş verir. Sonradan qərarlaşma gedir və xarici sahənin ± 2 Tl qiymətində maksimum müşahidə edilir. Xarici maqnit sahəsinin təsiri altında eyni zamanda aşağı temperaturların təsiri ilə xüsusi maqnit momentinin qiymətinin dəyişmə mexanizmi bir qədər də dəyişir. Şəkilə nəzər salsaq görürük ki, aşağı temperaturların təsiri ilə $\text{BaFe}_{12-x}\text{Al}_x\text{O}_{19}$ sistemində xüsusi maqnit momentinin qiymətində daha da güclənmə müşahidə edilmişdir ki, bu hadisə aşağı temperaturlar oblastında kristal quruluşu təşkil edən atomların istilik rəqslərinin amplitudunun azalması mexanizminə uyğun olaraq izah edilir.

Vibrasiyalı maqnitometriya metodu ilə $\text{BaFe}_{12-x}\text{Al}_x\text{O}_{19}$ ($x=0.1-1.2$) birləşmələrinin maqnit

xassələrinin tədqiqi nəticələri digər $\text{BaFe}_{12-x}\text{Me}_x\text{O}_{19}$ ($x = 0.1-1.2$) bərk məhlulları üçün aparılmış neytron difraksiyası tədqiqatları nəticələri ilə müqaisə etdikdə görünür ki, barium heksaferritin bərk məhlullarının demək olar ki, hamısı üçün maqnit xassələri və bu xassələrin dəyişmə mexanizmi eynidir. Fe atomlarını əvəz edən Me diamaqnit element atomlarının ion radiuslarından asılı olaraq, maqnit xassələrdə baş verən fərqləri müşahidə etmək mümkündür.

4. NƏTİCƏ.

Beləliklə, toz halında olan $\text{BaFe}_{12-x}\text{Al}_x\text{O}_{19}$ ($x=0.1-1.2$) bərk məhlullarının nümunələri normal şəraitdə, $P6_3/mmc$ fəza qəfəsli heksaqonal simmetriyaya malikdirlər və konsentrasiyanın $x=0.1-1.2$ intervalında bu kristal quruluş saxlanılır. Birləşmələr neytron difraksiyası metodu ilə tədqiq edilmiş, müxtəlif kristalloqrafik mövqələrdə yerləşən Fe^{3+} ionlarının maqnit momentləri təyin edilmişdir. Raman və infraqırmızı spektroskopiyaya metodları ilə atom dinamikası tədqiqatları aparılmış, modaların dəyişmə dinamikasının mexanizmi izah edilmişdir. Vibrasiyalı maqnitometriya metodu ilə Xüsusi maqnit momenti təyin edilmiş və $\sigma=49.6 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kq}$ ($x = 0.1$) qiymətindən $\sigma = 32 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kq}$ ($x=1.2$) qiymətinə qədər azalması müəyyən edilmişdir.

-
- [1] V.G. Kostishin, L.V.Panina, L.V.Kozhitov, A.V.Timofeev, A.K. Zyuzin, A.N. Kovalev. Technical Physics, 2015, v.60, p. 1189.
- [2] D.P. Kozlenko, N.T. Dang, S.H. Jabarov, A.A.Belik, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, C. Lathe, L.S. Dubrovinsky, V.Yu. Kazimirov, M.B. Smirnov, B.N. Savenko, A.I. Mammadov, E. Takayama-Muromachi, L.H. Khiem. J. Alloy Compd., 2014, v.585, p.741.
- [3] D.P. Kozlenko, N.T. Dang, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, A.M. Pashayev, A. I. Mammadov, S.H. Jabarov, L.S. Dubrovinsky, H.P. Liermann, W. Morgenroth, R.Z. Mehdiyeva, V.G.Smotrakov, B.N. Savenko. Phys. Rev. B., 2015, v.92, p. 134409.
- [4] A.V. Trukhanov, N.T. Dang, S.V. Trukhanov, S.H. Jabarov, I.S. Kazakevich, A.I. Mammadov, R.Z. Mekhdiyeva, V.A. Turchenko, R.E. Huseynov. Physics of the Solid State, 2016, v. 58, p. 992.
- [5] S.V. Trukhanov, A.V. Trukhanov, V.A. Turchenko, V.G. Kostishin, L.V. Panina, I.S. Kazakevich, A.M.Balagurov. J. Mag. Mag. Mat., 2016, v. 417, p. 130.
- [6] S.V. Trukhanov, A.V. Trukhanov, V.G. Kostishin, L.V. Panina, I.S. Kazakevich, V.A. Turchenko, V.V. Oleinik, E.S. Yakovenko, L.Yu.Matsui. J. Exp.Theor. Phys., 2016, v. 123, p.461.
- [7] E.W. Gorter. IEEE Suppl. B., 1957, v. 104 p.255.
- [8] A.B. Труханов, С.В. Труханов, В.Г. Костишин, Л.В. Панина, М.М. Салем, И.С. Казакевич, В.А. Турченко, В.В. Кочервинский, Д.А.Кривченя. ФТТ, 2017, v.59, p.721.
- [9] J.Rodriguez-Carvajal. Physica B, 1993, v.192, p.55. S.Trukhanov, A.Trukhanov, V.Turchenko. Journal of Alloys and Compounds, 2016, v.689, p.383.
- [10] С.В.Труханов, И.О.Троянчук, А.В.Труханов, И.А.Бобриков, В.Г.Симкин, А.М.Балагуров. Письма в ЖЭТФ, 2006, v.84, p.310.
- [11] Л.Т.Бугаенко, С.М.Рябых, А.Л.Бугаенко. Вестн. Моск. Ун-та. Сер.2.,Химия., 2008, v.49, p.363.
- [12] S Jabarov., A.Trukhanov, E.Kornieva. Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2014, v.8, No.6, p. 1198.

R.E. Huseynov

INVESTIGATION OF THE MAGNETIC PROPERTIES OF BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ SOLID SOLUTIONS

The magnetic properties of BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ solid solutions in Al atom concentration interval $x=0.1-1.2$ are investigated by neutronography methods and oscillation magnetometry method. It is established that the crystal structures of BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ solid solutions are stable in Al atom concentration interval from $x=0.1$ up to 1.2. The magnetic moment of each Fe atom being in BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ solid solutions is defined and the decrease of magnetic moments of Fe³⁺ ions with the decrease of Al³⁺ diamagnetic ion concentration is established. The decrease of specific magnetic moment from $\sigma = 49.6 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ ($x=0.1$) up to $\sigma = 32 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ ($x=1.2$) is observed.

Р.Э. Гусейнов

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ BaFe_{12-x}Al_xO₁₉

Исследованы магнитные свойства твердых растворов BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ в диапазоне концентраций атомов Al $x=0.1-1.2$ методами нейтрографии и методом колебательной магнитометрии. Установлено, что кристаллические структуры твердых растворов BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ стабильны в диапазоне концентраций атомов Al от $x=0.1$ до 1.2. Определен магнитный момент каждого атома Fe, входящего в твердые растворы BaFe_{12-x}Al_xO₁₉, и установлено уменьшение магнитных моментов ионов Fe³⁺ с уменьшением концентрации диамагнитных ионов Al³⁺. Наблюдается уменьшение удельного магнитного момента от $\sigma = 49.6 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$ ($x=0.1$) до $\sigma = 32 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$ ($x=1.2$).

Qəbul olunma tarixi: 03.05.2019