

**Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> FERRİT NANOTOZLARININ ELASTİKLİK XASSƏLƏRİ****İ.F. YUSİBOVA<sup>1</sup>, Ş.N. ƏLİYEVƏ<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup> Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu, H. Cavid pr.131, AZ-1073, Bakı, Azərbaycan<sup>2</sup>Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, AZ1010 Azərbaycan

yusibova78@mail.ru

Cu əvəzləməli Ni-Zn ferritləri termik metodla sintez olunmuşdur. Alınmış nümunələrin rentgen faza və İQ spektrləri tədqiq edilmişdir və bircinsli kubik quruluşlu spinel ferritlərin alındığı müəyyən olunmuşdur. Analizlərdən əldə olunan parametrlərdən istifadə edərək elastiklik əmsalları hesablanmışdır və bu əmsalların Cu ionunun konsentrasiyasından asılılığı müəyyən edilmişdir.

**Açar sözlər** : ferritlər, termik metod, rentgen faza, İQ spektroskopiyası, altqəfəs, elastik xüsusiyyətləri.

**PACS**: 4120Gz, 42.72Ai

**GİRİŞ**

Son illərdə unikal fiziki xassələrə malik olduqları üçün geniş praktiki tətbiq imkanına malik olan spinel quruluşlu nanoferritlərin tədqiqinə maraq artmışdır. Mexaniki sərtlik, kimyəvi sabitlik, yüksək doyma maqnitlənməsi, massiv maqnit müqaviməti, yarımkeçirici-dielektrik keçidi, yüksək dielektrik nüfuzluğu kimi fiziki xassələrin mövcudluğu bu materialların spintronikada, yaddaş qurğularında, kompüter komponentlərində, maqnit qəbuledicilərində, maqnit qeydedici qurğularında, qaz detektorlarında, transformator içliklərində, biotibbdə və digər sahələrdə praktiki tətbiq imkanlarını genişləndirir. (A<sup>2+</sup>)[B<sup>3+</sup>]O<sub>4</sub><sup>2-</sup> ümumi formuluna malik ferrit spinelləri səthə mərkəzləşmiş kubik quruluşla malikdir [1, 2]. Onların üç növü mövcuddur: normal, çevrilmiş və qarışıq. A<sup>2+</sup> və B<sup>3+</sup> tetraedrik (A) və oktaedrik (B) altqəfəslərində yerləşən iki və üç valentli metal kationlarıdır. İki valentli kationlar hər iki altqəfəsdə yerləşə bilər. Bu kation tetraedrik altqəfəsdə yerləşdikdə normal spinel, hər iki altqəfəsdə məskunlaşdıqda isə çevrilmiş spinel formalaşır. Son zamanlar praktiki tətbiqin ən aktual məsələsi sintez olunan materialın fiziki, kimyəvi və elektromaqnit xüsusiyyətlərinin idarə olunmasıdır [3, 4]. Bir qayda olaraq materialın fiziki, kimyəvi, struktur və elektromaqnit xassələri tərkib, sintez prosesindən əvəzləmədə kəskin şəkildə asılıdır. Ədəbiyyat analizində [1-7] Ni-Zn ferrit materiallarında əvəzləmələrin nə kimi dəyişikliklər verdiyinin ətraflı şəkildə şərhinin olmaması bu materialların öyrənilməsinin hələ də aktual olduğunu göstərir.

Ferrit materiallarının mexaniki xassələrinin tədqiq olunması da vacibdir, çünki ferritlərin mexaniki xassələrinin, məsələn, elastiklik əmsalları və Debay temperaturunun müəyyən edilməsi rabitə qüvvələrinin təbiətini müəyyən etməyə imkan verir. Adətən, elastiklik əmsallarını müəyyən etmək üçün ultrasəs impulslarının ötürülməsi üsulundan istifadə olunur [8, 9, 16]. Ancaq bu metod bir sıra çatışmamazlığa malikdir. İlk növbədə çoxlu miqdarda material tələb olunur. Məlumdur ki, biz hər bir materialın strukturunu tədqiq etmək üçün rentgen və İQ spektral analizlərdən istifadə edirik. Aldığımız nəticələrdən istifadə edərək materialımızın elastiklik xüsusiyyətlərini təyin edə bilərik. Kristallların elastiklik xassələrini təyin etmək üçün, iki me-

tod mövcuddur: elastiki sərtlik əmsalının ( $C_{ij}$ ) və elastiki gərilmə əmsalının ( $S_{ij}$ ) vasitəsilə elastik xüsusiyyətlərinin təyini. Ümumilikdə otuz altı elastiklik əmsalı mövcuddur. Bircinsli kubik quruluşlu kristallar üçün üç elastiklik sabitinin ( $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{44}$ ) müəyyən olunması kifayət edir.

Bu məqalədə termik metodla sintez olunmuş Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) nanoferrit tozlarının elastiklik xüsusiyyətləri Valdron metodu ilə öyrənilmişdir. Belə ki, rentgen faza və İQ spektral analizlərdən əldə olunan parametrlərə əsasən elastiklik əmsalları hesablanmış və alınmış parametrlərin Cu ionunun konsentrasiyasından asılılığı təqdim edilmişdir.

**1. MATERIALLAR VƏ METODLAR**

Ferrit materiallarının xüsusiyyətləri onun kimyəvi tərkibindən və sintez üsulundan asılıdır. Sintez texnologiyası haqqında məlumat [8, 9, 11] işində dərc edilmişdir. Oksid əsaslı, müxtəlif konsentrasiyalı Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) nanoferrit tozları termik metodla sintez olunub. Xammal kimi təmizlik göstəricisi 99% olan NiO, CuO, ZnO və Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oksidlərində istifadə olunub.

Sintez olunmuş ferrit tozlarının keyfiyyəti XRDD8 ADVANCE (Bruker, Germany) rentgen difraktometri ilə qiymətləndirilmişdir. Kristalın ölçüləri Şerrer formuluna əsasən hesablanmışdır [12]. İQ spektrləri Furry Vertex70 spektrometri vasitəsi ilə (Bruker, Germany) əldə olunmuşdur.

**2. ALINMIŞ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ****2.1 Rentgen faza analizi**

Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) ferrit nanotozlarının rentgen difraksiya spektrləri [12-15] işlərində verilmişdir. Alınmış spektrlərdən kubik spinel quruluşla xas olan (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511) və (440) maksimumları tədqiq olunan ferrit nümunələrinin hər birində müşahidə olunmuşdur. Bu isə Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) nanoferritlərin Fd<sub>3m</sub>O<sub>7h</sub> fəza simmetriya quruluşlu ferritlər olmasını göstərir. Ən güclü əksolunma maksimumu (311) müstəvisində qeydə alınmışdır [14].

Difraksiya spektrlərində numunələrin qəfəs parametri, qəfəsin həcmi və rentgen sıxlığı məsaməlilik parametri hesablanmışdır. Alınmış nəticələr cədvəl 1-də təqdim olunmuşdur.

Ni–Zn ferritində apardığımız əvəzləmə nəticəsində qəfəs parametrinin azalmasını əvəzlənən

Cu<sup>2+</sup>(0.72 Å) ionunun ion radiusunun Zn<sup>2+</sup>(0.82 Å) ionunun ion radiusuna nisbətən kiçik olması ilə izah edə bilirik[1]. Digər parametrlərin də Cu<sup>2+</sup> ionunun konsentrasiyasından asılı olaraq kiçildiyini görə bilirik.

Cədvəl 1.

Müxtəlif konsentrasiyalı Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) ferritlərinin qəfəs parametri (a), qəfəs həcmi (V), həcmi sıxlığı (ρ<sub>bulk</sub>), rentgen sıxlığı (ρ<sub>X-ray</sub>), məsaməlik P(%), sıçrayış uzunluğu (L<sub>A</sub>, L<sub>B</sub>).

X	a (Å)	V(Å <sup>3</sup> )	ρ <sub>bulk</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>X-ray</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	P (%)	L <sub>A</sub> (Å)	L <sub>B</sub> (Å)
0.0	8.396	591.860	2.55	5.35	52.34	3.635	2.964
0.24	8.384	589.323	2.57	5.37	52.14	3.630	2.960
0.3	8.364	585.116	2.60	5.4	51.85	3.621	2.952
0.36	8.353	582.811	2.61	5.42	51.85	3.617	2.949
0.42	8.347	581.556	2.63	5.43	51.56	3.614	2.946
0.6	8.342	580.511	2.64	5.43	51.38	3.612	2.944

## 2.2 İQ- spektrlər

İQ spektrlərin təsviri və interpretasiyası [18] işlərində verilmişdir. Bildiyimiz kimi ferrit nano tozlarının İQ-spektrlərində tetraedrik və oktaedrik alt qəfəslərin metal ionlarının M-O əlaqəsinə uyğun iki udulma zola-

ğı müşahidə olunmalıdır. Bizim nümunələrin spektrlərində hər iki zolaq müşahidə olunur. Məlumdur ki, rəqslərin tezlikləri qüvvə sabitləri ilə əlaqəlidir və bu əlaqələrdən istifadə edərək Valdron modelinə əsasən müxtəlif konsentrasiyalarda Debay temperaturunu hesablaya bilmişik. Nəticələr cədvəl 2 verilmişdir [17, 18].

Cədvəl 2.

Müxtəlif konsentrasiyalı Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) ferritlərinin İQ- spektrlərinin udulma tezlikləri (ν<sub>1</sub>, ν<sub>2</sub>), qüvvə sabitləri (k<sub>T</sub> və k<sub>O</sub>) və Valdron modelinə əsasən hesablanmış Debay temperaturu

X	ν <sub>1</sub> (sm <sup>-1</sup> )	ν <sub>2</sub> (sm <sup>-1</sup> )	ν <sub>mean</sub> (sm <sup>-1</sup> )	k <sub>T</sub> *10 <sup>5</sup>	k <sub>O</sub> *10 <sup>5</sup>	k <sub>mean</sub> *10 <sup>5</sup>	ν <sub>1</sub> -ν <sub>2</sub> (sm <sup>-1</sup> )	θ <sub>DW</sub> (K)
0	563.74	476.43	520.09	2.33	1.66	2	87.31	748
0.24	554.10	475.33	514.75	2.25	1.66	1.96	78.77	740
0.3	570.06	485.86	527.96	2.38	1.73	2.06	84.2	759
0.36	552.12	481.87	517.025	2.24	1.7	1.97	70.31	743
0.42	571.96	471.20	521.58	2.4	1.63	2.02	100.76	750
0.6	587.00	481.62	534.31	2.53	1.7	2.12	105.38	768

## 3. ELASTİKLİK XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Müxtəlif konsentrasiyalı Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) nanoferrit tozlarının elastiklik parametrlərini İQ-spektral analizi vasitəsilə təyin edə bilirik [19].

Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) nanoferrit tozlarının müxtəlif konsentrasiyalarına uyğun hesablanmış C<sub>11</sub> və C<sub>12</sub> sərtlik əmsalları cədvəl 4-də verilmişdir. Cədvələ əsasən bu parametrlərin qiymətinin dəyişkən olduğunu müşahidə edirik. Ümumiyyətlə sərtlik əmsalına əsasən iki faktor təsir edir: atom əlaqələrinin sıxlığı və qüvvə sabiti. Cədvəl 3-də qüvvə sabitinin Cu<sup>+2</sup>

ionunun konsentrasiyasından asılılığında eyni mənzərə müşahidə edirik və bu dəyişiklik Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> kationları və O<sup>2-</sup> anionu arasındakı əlaqədən asılıdır. C<sub>11</sub> və C<sub>12</sub> əmsalları əsasında Yunq modulu (Y), sərtlik modulu (n) və həcmi sıxlıq modulu (B) hesablanmış və cədvəl 3-də verilmişdir. Cu<sup>+2</sup> ionunun konsentrasiyası artdıqca eyni tendensiya müşahidə olunur. Ən kəskin artım x=0.3 və 0.6 qiymətlərində müşahidə olunur. Həmçinin uzununa, eninə dalğanın sürətləri (ν<sub>l</sub>, ν<sub>s</sub>) və orta sürət (ν<sub>m</sub>) Cu ionunun konsentrasiyasından asılı olaraq hesablanmışdır.

Cədvəl 3

Müxtəlif konsentrasiyalarda Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0-0.6) ferritlərinin sərtlik əmsalları (C<sub>11</sub> və C<sub>12</sub>), Puasson əmsalı (σ), elastik dalğanın sürətləri (ν<sub>l</sub>, ν<sub>s</sub>, ν<sub>m</sub>), Yunq modulu (Y), həcmi sıxılma modulu (B), sərtlik modulu (n) [19-21].

x	C <sub>11</sub> (GPa)	C <sub>12</sub> (GPa)	σ	ν <sub>l</sub> (m/s)	ν <sub>s</sub> (m/s)	ν <sub>m</sub> (m/s)	Y (GPa)	B (GPa)	N (GPa)
0	238	41	0.147	6670	4301	5486	226	107	99
0.24	234	41	0.148	6602	4250	5426	222	105	97
0.3	246	43	0.149	6750	4324	5537	233	111	101
0.36	236	41	0.149	6598	4231	5415	224	106	97
0.42	242	43	0.150	6676	3742	5209	229	109	76
0.6	254	45	0.150	6839	3838	5339	240	115	80

## **NƏTİCƏ**

Bu tədqiqat işində  $\text{Ni}_{0.4}\text{Cu}_x\text{Zn}_{0.6-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ( $x=0-0.6$ ) nanoferrit tozları termik metoddla sintez olunmuşdur. Rentgen spektrləri təmiz, bircəfalı şpinel quruluşlu ferrit strukturların alındığını göstərir. Müəyyən olunmuşdur ki,  $\text{Cu}^{+2}$  ionunun konsentrasiyası artdıqca qəfəs parametri kiçilir. Bu iş əvəz olunan ionun radiusunun kiçik olması ilə izah olunur. İQ spektrlər rentgen struk-

tur analizinin nəticələrini təsdiqləyir. Bütün nümunələrin İQ–spektrlərində şpinel quruluşlu ferritlər üçün xarakterik olan spektral xətlər ( $478-600\text{ sm}^{-1}$ ) müşahidə edilir. Bu iki metod əsasında alınmış nəticələrə əsasən bu nümunələrin kristal qəfəslərində yayılan elastik dalğanın uzununa, eninə və orta sürəti ( $\nu_1, \nu_s, \nu_m$ ), həcmi sıxılma modulu ( $B$ ), möhkəmlik modulu ( $n$ ), Yunq modulu ( $Y$ ), Puasson əmsalı ( $\sigma$ ) və Debay temperaturu ( $\theta_{Dw}$ ) hesablanmışdır.

- [1] *M.F. Huq, D.K. Saha, R. Ahmed and Z.H.Mahmood.* Ni-Cu-Zn Ferrite Research: A Brief Review. *J.Sci.Res.*, 2013, 5(2),215-233.
- [2] *Wu, Y., Yang, X., Yi, X., Liu, Y., Chen, Y., Liu, G., and Li, R.* 2015, Magnetic nanoparticles for biomedicine applications, *J. Nanotechnol. Nanomed. Nanobiotechnol.*, 2, 003
- [3] *S. Hazra, N.N. Ghosh.* Preparation of nanoferrites and their applications, *J. Nanosci. Nanotechnol.* 14, 2014, 1983–2000.
- [4] *Swapnil Jadhav, Sandeep B. Somvanshi, Mangesh V. Khedkar, Supriya R. Patade, K.M.Jadhav.* Magneto-structural and photocatalytic behavior of mixed Ni–Zn nano-spinel ferrites: visible light-enabled active photodegradation of rhodamine B. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*
- [5] *J. Smit, H.P.J. Wiji.* Ferrites, Philips Technical Library, Eindhoven, The Netherlands, 1959, pp. 268–283.
- [6] *E. Oumezzine, S. Hcini, M. Baazaoui, E.K. Hlil, M. Oumezzine,* Powder Tech. 278, 189–195, 2015.
- [7] *T.R.Mehdiyev, A.M. Hashimov, Sh.N. Aliyeva, I.F. Yusibova, A.V. Agashkov, B.A. Bushuk.* Luminescent and optical properties of (Ni, Zn) ferrites, *IJTPE Journal.* 13 (1), 2021, 81-90.
- [8] *Sh.N. Aliyeva, T.R. Mehdiyev, S.H. Jabarov, Kh.N. Ahmadova, I.F. Yusibova.* Temperature dependences of the total spin moment in nanopowders of  $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$  ( $x=0.0; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0$ ) ferros spinels. *J.Supercond Magn.* 36, 2023, 367-371. <https://doi.org/10.1007/s10948-022-06458-4>
- [9] *M.S. Anwar, Faheem Ahmed, Bon Heun Koo.* Acta Mater., 71 (2014), p. 100
- [10] *Z. Yue, L. Li, J. Zhou, H. Zhang, Z. Gui.* Mater. Sci. Eng. B, 64 (1999), p. 68
- [11] *Yüksel Köseoğlu, Furkan Alan, Muhammed Tan, Resul Yilgin, Mustafa Öztürk* Ceram.Int., 38, 2012, p. 3625
- [12] *I.F. Yusibova.* Synthesis and physical properties of Cu-substituted Ni-Zn ferrites, *AJP Fizika* 25 (2), 2019, 42-45.
- [13] *Sh.N. Aliyeva, S. Babayev and T.R. Mehdiyev.* “Raman spectra of  $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanopowders”, *J. Raman Spectrosc.*, vol. 49, pp. 271–278, 2018.
- [14] *I.F.Yusibova.* Cu əvəzləməli Ni-Zn ferritlərinin struktur xüsusiyyətləri, *AJP Fizika*, Vol. XXVI, № 2 Section: Az, 2020, s. 44-49.
- [15] *I.F. Yusibova.*  $\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.3}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferritin quruluş və fiziki xassələri *Azerbaijan Journal of Physics*, vol. XXVII, № 3, Section: Az Oktober 2021, S. 53-56.
- [16] *Г.В. Фемусов.* Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. под редакцией Л.А. Асланова, М, ФИЗМАТЛИТ, 2007, 672с.
- [17] *R.D. Waldron.* Phys.Rev., 1955, 99, 1727.
- [18] *I.F. Yusibova, Sh.N. Aliyeva.* IR analysis of copper doped Ni-Zn nanoferrites, *AJP Fizika* 29 (4) (2023) 33-34.
- [19] *K.B. Modi, U.N. Trivedi, P.U. Sharma, V.K.Lakhani, M.C.Chhantbar and H.H.Joshi.* Indian Journal of Pure and Applied Physics 2006, v 44, pp 165-168
- [20] *N. Sharifa, M.K. Subrin, M. A. Matin, M. N. I. Khan, A. K. M. Akther Hossain, Md. D. Rahaman.* Journal of Materials Science: Materials in Electronics 2019, v 30, pp 10722-10741 <https://doi.org/10.1007/s10854-019-01417-7>
- [21] *Ch. Srinivasa, M. Deeptya, S.A.V. Prasada, G. Prasada, E. Ranjith Kumarb, Sher Singh Meenac, Naidu V. Seetalad, Darnel D. Willamsd, D.L.Sastrye.* Study of structural, vibrational, elastic and magnetic properties of uniaxial anisotropic Ni-Zn nanoferrites in the context of cation distribution and magnetocrystalline anisotropy, *Journal of Alloys and Compounds*, v 873, 2021,

**I.F. Yusibova, Sh.N. Aliyeva**

### **ELASTIC PROPERTIES OF $\text{Ni}_{0.4}\text{Cu}_x\text{Zn}_{0.6-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ NANOPOWDERS**

Cu-substituted Ni-Zn ferrites were synthesized using a thermal method. X-ray and IR spectra of the obtained samples were studied and it was confirmed that the samples are spinel ferrites with a single-phase cubic structure. Using the parameters obtained from the analyses, the elasticity coefficients were calculated and the dependence of these coefficients on the concentration of Cu ions was determined.

**И.Ф. Юсубова, Ш.Н. Алиева**

**УПРУГИЕ СВОЙСТВА Ni<sub>0.4</sub>Cu<sub>x</sub>Zn<sub>0.6-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> НАНОПОРОШКОВ**

Синтезированы Cu-замещенные Ni-Zn ферриты с термическим методом. Изучены рентгенофазовые и ИК спектры полученных образцов и подтверждено, что образцы представляют собой шпинельные ферриты с однофазной кубической структурой. С использованием параметров, полученных из анализов рассчитаны коэффициенты упругости и определена зависимость этих коэффициентов от концентрации ионов Cu.

*Qəbul olunma tarixi: 13.09.2024*