

MÜASİR FERRİTLƏR, ONLARIN ALINMA TEXNOLOGİYALARI VƏ FİZİKİ XASSƏLƏRİ

G.Z. İSKƏNDƏROVA, G.Ə. QAFAROVA

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Bakı, Az 1143, Bakı şəhəri, H.C. prospekti 131

gunay_080881@mail.ru

Ferrit nanokristallarının alınmasının müxtəlif texnoloji üsulları, onların elektrik, dielektrik, maqnit xassələrinin, mikrostruktur parametrlərinin, hissəciklərin ölçülərindən asılılığının tədqiqi üsulları icmal şəklində təqdim olunmuşdur.

Açar sözlər: elektrik keçiriciliyi, dielektrik nüfuzluğu, maqnit xassələri, elektromaqnit enerjisi.

PACS: 41.20Gz;42.72Ai

Hazırda geniş praktik əhəmiyyətə malik olan ferrit materialların öyrənilməsinə maraq bu materialların müasir texnologiyada tətbiqinin artması hesabına aktual olaraq qalmaqdadır. Ferritlər maqnit materialları kimi müxtəlif sahələrdə, radiotexnikada, elektronika-da, avtomatlaşdırmada, hesablama texnikasında (elektromaqnit dalğalarının ferrit absorberləri, antenalar, nüvələr, yaddaş elementləri, daimi maqnitlər və s.) istifadə olunur. Ferritlər həm tətbiqi, həm də nəzəri cəhətdən vacib materiallardır. Hazırda yüksək maqnit xassələri ilə aşağı elektrik keçiriciliyinin birləşməsi səbəbindən ferritlər yüksək tezlikli texnologiyada (100 kHz-dən çox) geniş istifadə olunur. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, meqahers tezlikli şüalar hazırda hərbi və sənaye sahələrində geniş istifadə olunan dalğalardır.

Ferritlərin əsas üstünlüyü, maqnit və dielektrik sabitlərin yüksək dəyərlərinin birləşməsi səbəbindən meqahers dalğa uzunluğu diapazonunda yüksək sındırma əmsalıdır (1000-dən çox), bu da kiçik qalınlıqda effektiv radiouducu örtüklər istehsal etməyə imkan verir (10 mm-dən az). Tədqiqatlar göstərir ki, ferritin səthindən əks olunan elektromaqnit şüalarının gücünün zəifləməsi həm müdaxilə prosesləri, həm də ferritdə yayılma zamanı elektromaqnit enerjisinin səpilmə prosesləri ilə əlaqədardır. Meqahers diapazonunda sındırma əmsalı ilə elektromaqnit şüalanma tezliyi arasında tərs mütənəsb əlaqə ferrit örtüklərinin sabit qalınlığında əks olunan şüalanmanın minimum olması üçün şərait yaradır. Yüksək sındırma əmsalı ferritlərdə elektromaqnit dalğalarının yayılma sürətini ləngidir, bu da onların enerjisinin yayılması proseslərini gücləndirir. Ferritlərin əsas kimyəvi tərkibinin, aşqarların, mikrostruktur parametrlərinin və texnoloji şəraitin onların maqnit və dielektrik sabitliklərinə təsiri haqqında tədqiqatlar təqdim olunur. Ferritlərin xassələrinə sintez prosesində istifadə olunan xammalın təmizliyi, həmçinin qarışığın hazırlanma prosesində çirklənməsi də təsir edir [2].

Ferritlərin alınması üçün ilkin komponent olaraq oksidlər, hidrokisidlər, oksalat və karbonatlar (bəzən onları məhlulda birgə çökdürürlər) və yaxud duzlarının (nitratlar, sulfatlar, ikiqat sulfatlar) buxarlanması ilə alınan tərkiblərdən istifadə olunur. Həll olan ferritlər üçün natriumun karbonat və ya hidrokisid, həmçinin ammonium xlorid məhlullarının hidrotermal işləmələrindən istifadə olunur. Metal ferritlərin məlum

sintez üsulları aşağıdakılardır: yüksəktemperaturlu hidrotermal işləmə və həmçinin uyğun tərkib hissələrinin bişirilməsidir ki, bu zaman çox böyük enerji sərf olunur. Ferritlərin formalaşmasının son mərhələsində bərk fazaların qarşılıqlı təsirinə sürətini yüksəltmək məqsədi ilə, son zamanlar termiki üsulla yanaşı, reaksiya qarışığına mexaniki, ultrasəs təsiri ilə, yaxud müxtəlif digər fiziki vasitələrin təsiri ilə işlər aparılır. Ultra yüksək tezlikli elektromaqnit sahəsində ferritlərin alınması enerji və vaxt baxımından daha perspektivlidir.

Məlumdur ki, temperatur artdıqca ferrit materiallarının maqnitləşməsi azalır və temperatur müəyyən bir səviyyəyə - Kuri nöqtəsinə çatdıqda o, yox olur və ferrit paramaqnit olur. Buna görə də, tərkibindən asılı olaraq müxtəlif ferrit materialları üçün Kuri nöqtəsi də fərqli qiymətə malik olur.

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritləri son illər böyük elmi maraq kəsb edir. Ferritlərin xarakteristik xüsusiyyəti onların bir-biri ilə dolaylı mübadilə qarşılıqlı təsirdə olan 2 maqnit alt qəfəsə malik olmalarıdır (hər bir alt qəfəsin atomları arasındakı dipol qarşılıqlı təsir müxtəlif alt qəfəslərin atomları arasındakı dipol qarşılıqlı təsirdən daha azdır). Bu ferritlərin öyrənilmiş tərkiblərinin digər xüsusiyyəti, simmetriya dəyişmədən çevrilmiş şpinel quruluşdan ($NiFe_2O_4$) normal şpinel quruluşuna ($ZnFe_2O_4$) tədricən keçməsidir və bu zaman ferromaqnit düzülüşdən antiferromaqnit düzülüşə keçid müşahidə olunur [1].

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x = 0, 0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75, 1$) ferritlərin sintez olunmuş bütün tərkibləri 960°C temperaturda bişirilmiş. Əldə olunmuş nümunələr üyüdülməklə dənəciklərinin ölçüsü ~20 nm olan nanotoz halına salınmışdır. Göstərilmişdir ki, əldə olunmuş bütün ferritlərin $Fd\bar{3}m$ fəza simmetriya qruplu şpinel quruluşuna ($Fd\bar{3}m-O_h^7$ fəza simmetriya quruluşuna) malikdir. Elementar qəfəs parametrləri təyin edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritləri 1100°C temperaturuna kimi öz quruluş və simmetriyalarını saxlayırlar [1].

Ferritlərin bütün fərqli tərkibləri ifrat təmiz ZnO, NiO, Fe_2O_3 tozlarının yüksək temperaturlu sintezi ilə əldə edilmişdir [2,4]. Ətraflı olaraq, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərin sintezi texnologiyası [2] işində dərc edilmişdir. [2] işindən məlum olduğu kimi $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində NiO və ZnO-in artıq qalan miqdarı həll ol-

mur. Fe_2O_3 artıq qalan miqdarı tərkibində Fe_3O_4 maqnetitin olduğu bərk məhlulu əmələ gətirir. [2] işində göstəriləndiyi kimi şpinel strukturlarda dayanıqlı hal yaranana qədər nöqtəvi defektlər və vakansiyalar şəklində nizamsızlığın müxtəlif formaları yaranır. Termodinamik tarazlıq pozulmayana qədər bu nizamsızlıqlar və onların konsentrasiyası praktiki olaraq dəyişməyəcək. Ferritlərin sintezi prosesində reaksiyanın tam getməsi üçün oksidlərdən ibarət qarışıq qızma mərhələsində 900°C -dən 1000°C -ə temperatura qədər sintez olunmalıdır.

Qeyd edək ki, tərkibdə sinkin miqdarı artdıqca, ferritlərin maqnit nüfuzluğu artır (ZnFe_2O_4 üçün $\mu\text{H}=55$), $\text{Ni}_{0.28}\text{Zn}_{0.72}\text{Fe}_2\text{O}_4$ tərkibində maksimuma çatır ($\mu\text{H}=4200$) və sonra kəskin azalır [2]. Polikristal $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ nümunələrinin kiçik bucaqlı neytron səpilməsinə dair aparılan tədqiqatlara həsr olunmuş məqalələrdə adi keramika texnologiyası ilə sintez edilmiş bu ferritlərin $x=0.75$ konsentrasiyasında 0.60, 0.68 konsentrasiyalarında aşağı temperaturlarda qeyri-kollinear maqnit struktur üçün xarakterik olan yüksək sahə qavrayıcılığı qeydə alınır. $T=4.2\text{K}$ temperaturda bu tərkiblərdə maqnit momentlərinin z -proyeksiyalarının maqnit qeyri-bircinsliyinin (orta ölçü: 1-10nm) əmələ gəlməsi nəticəsində kiçik bucaqlı intensiv neytron səpilməsi müşahidə olunur [5]. $\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ferritləri Küri temperaturundan aşağı bütün temperaturlarda qəfəslərərası və qəfəslərdaxili mübadilə qarşılıqlı təsirlərin rəqabəti nəticəsində yaranan qeyri-bircins struktura malikdir. Eyni zamanda, qeyri-bircins maqnit struktur bu ferritlərdə uzununa dalğa maqnit həyəcanlanma vəziyyətinin sıxlığının artmasına səbəb olur. Messbauer spektrlərinin tədqiqlərində görüldüyü kimi, $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ -ferritlərinin struktur analoqu olan maqnetit nanotozlarında (dənəciklərin ölçüsü $\sim 15-45$ nm) zəif maqnit faza mövcuddur [5].

[6] işində müəlliflər Nikel ferrit tozlarını (NiFe_2O_4) impulsu məftil axıdılması üsulu ilə sintez etmişlər. X-şüalarının difraksiyası (XRD) və ötürücü elektron mikroskopiyası (TEM) analizləri göstərir ki, tozlarda yalnız nikel-ferrit şpineldən başqa kənar faza müşahidə olunmayıb. Yaranan hissəciklərin orta hissəcik ölçüsü oksigen təzyiqindən çox asılı idi: daha yüksək oksigen təzyiqi Brunauer-Emmett-Teller (BET) üsulu ilə müəyyən edildiyi kimi, daha böyük toz ölçüsünə uyğun gəlir. Otaq temperaturunda sintez edilmiş tozların doyma maqnitləşməsi tozun ölçüsündən asılı olaraq 42-46 emu/q olmuşdur. Bu tozlar həmçinin təxminən $280-360^\circ\text{C}$ temperaturda xlorla yüksək həssaslıq və xlor konsentrasiyasından asılı olaraq yaxşı xətti həssaslıq göstərmişdir.

Nikel ferrit NiFe_2O_4 əks şpineldir. Onda tetraedral mövqələr (A) Fe^{3+} ionları və oktaedral mövqələr (B) Fe^{3+} ionları tərəfindən tutulur. Bu material yarımkeçirici xüsusiyyətinə görə kataliz və qazın tədqiqində geniş istifadə olunur. Son zamanlar nanokristal ferritlərin idarə olunan istehsalına çox diqqət yetirilmişdir və məlum olmuşdu ki, onlar bir-biri ilə analoqdur, çünki kationların paylanması və nəticədə yaranan maqnit xassələri onların kütləsinin xassələrindən fərqlənir.

[3] işində müəlliflər tərəfindən keramika üsulu ilə kiçik konsentrasiyalı Cu əvəzləməli $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ferrit materiallar sintez olunub və tədqiq edilmişdir. Ferritlərə Cu ionunun əlavəsi daha aşağı temperaturlarda kompozit almağa imkan verir, ancaq Cu ionu nümunələrin xüsusi müqavimətini aşağı salır ki, bu da onların yüksək tezliklərdə istifadəsi üçün əlverişsizdir. Ona görə də, lazım olan xüsusiyyətlərə malik material hazırlamaq üçün, Ni, Zn və Cu-un miqdarı nisbəti, onların məxsusi xüsusiyyətləri nəzərə alınmalıdır. [3] işdə Cu əvəzləməsinin $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ -ferritin mikrostrukturuna təsiri müxtəlif eksperimentlərlə tədqiq edilmişdir. Sintez olunmuş $\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x=0-0.6$) - ferrit nümunələrinin rentgen faza analizi səthə mərkəzləşmiş bir fazalı kubik strukturun formalaşmasını təsdiq edir. Müşahidə olunan bütün maksimumlar $\text{Fd}3m-O_h^7$ fəza simmetriya quruluşuna malik şpinel strukturlu ferritlərin rentgen spektrlərinə xarakterikdir. $\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.6-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ferritlərinin qəfəs parametrləri hesablanmış və müəyyən olunmuşdur ki, Cu^{2+} ionunun konsentrasiyasının artması qəfəs parametrlərinin 8.3963 Å-dən 8.3425 Å qədər azalmasına səbəb olur.

Ədəbiyyat icmalının təhlili nəticəsində demək olar ki, ferritlər və onlardan hazırlanmış məmulatlar digər maqnit materiallarından fərqli olaraq, radioelektronika və kompüter texnologiyasında daha geniş istifadə olunur. Ferrit məmulatları əksər hallarda digər materiallardan hazırlanmış məhsulları effektiv şəkildə əvəz edə bilər, həmçinin onlar heç bir başqa materiala xas olmayan bir sıra unikal fiziki-kimyəvi, maqnit və elektrik xüsusiyyətlərinə malikdirlər. Ferrit məhsullarının hesablamada istifadəsi yaddaş qurğularının və kommutasiya cihazlarının əhəmiyyətli dərəcədə miniatürləşdirilməsinin mümkünlüyü səbəbindən hesablama prosesini əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirir, bu da öz növbəsində daha dəqiq xüsusiyyətlərə malik ferrit məmulatları istehsalına tələbatı artırır. Qeyd olunanlardan belə nəticə hasil olur ki, ferrit materialların alınmasını, xassələrini və xassələrini dəyişdirmə yollarını öyrənmək hələ də aktual məsələ olaraq qalır.

[1] A.Ə.Sadıqova, Ş.Ə.Əhmədova, Ş.N.Əliyeva, T.R.Mehdiyev. $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ferrit nanotozlarının İQ spektrləri. AJP FİZİKA 2018 volume XXIV № 1, section: Az, s.26-32

[2] H.H. Шольц, К.А. Пискарев. Ферриты для радиочастот. Энергия, М., 1966, 258 с.

[3] İ.F.Yusibova. Cu əvəzləməli Ni-Zn ferritlərinin struktur xüsusiyyətləri. AJP Fizika 2020 volume XXVI № 2, section: Az, s.44-49

[4] B.H. Глазков. Магнетизм. Свойства магнитноупорядоченных кристаллов, МФТИ, М. 2016.

[5] Ю.Н. Михайлов, В.А. Казанцев. ФТТ, 2010, 52, 894.

[6] P.Y. Lee, K. Ishizaka, H. Suematsu, W. Jiang and K. Yatsui. Magnetic and gas sensing property of nanosized NiFe_2O_4 powders synthesized by pulsed wire discharge, Journal of Nanoparticle Research (2006) 8: 29–35.

G.Z. Iskandarova, G.A. Gafarova

**MODERN FERRITES, THEIR PRODUCTION TECHNOLOGIES AND
PHYSICAL PROPERTIES**

The review presents various technological methods for producing ferrite nanocrystals, methods for studying their electrical, dielectric, magnetic properties, microstructure parameters, and dependences on particle sizes.

Г.З. Искендерова, Г.А. Гафарова

**СОВРЕМЕННЫЕ ФЕРРИТЫ, ИХ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

В виде обзора представлены различные технологические методы получения нанокристаллов ферритов, методы исследования их электрических, диэлектрических, магнитных свойств, параметры микроструктуры, зависимости от размеров частиц.