

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ BƏRK MƏHLULLARININ LÜMINESSENSİYA XASSƏLƏRİ**Ə.İ. MƏMMƏDOV, R.Z. MEHDİYEV, S.H. CABAROV, R.E. HÜSEYNOV***Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu**H.Cavid pr. 131, AZ-1143, Bakı, Azərbaycan**r.e.huseynov@gmail.com*

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x=0.1-1.2) bərk məhlullarının kristal quruluşu və lüminessensiya xassələri öyrənilmişdir. Bu bərk məhlulların normal şəraitdə P6₃/mmc fəza qrupuna malik olması müəyyən edilmişdir. Al və Fe atomlarının ion radiusundan asılı olaraq Al atomlarının konsentrasiyasının artması ilə kristal quruluşda atomlararası məsafənin və qəfəs parametrlərinin azalması müşahidə edilmişdir. BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x=0.1-1.2) kristalları 375 və 435 nm dalğa uzunluqlu lazer şüaları ilə həyəcanlandırılmış və birləşmələrin lüminessensiya xassələri tədqiq edilmişdir. Lüminessensiya spektrlərindən görünür ki, Fe³⁺ ionlarını diamagnet Al³⁺ ionları ilə əvəz etdikdə, spektrlərin intensivliyi artır. 435 nm dalğa uzunluqlu lazer ilə həyəcanlandırılma zamanı, ultrabənövşəyi oblastda antistoks lüminessensiyası müşahidə edilmişdir.

Açar sözlər: multiferroik, kristal quruluş, lüminessensiya xassələri.

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

1. GİRİŞ

Yeni müxtəlif funksiyalı materialların alınması və öyrənilməsi kondensə olunmuş hal fizikasının əsas istiqamətlərindən biridir [1-7]. Bu tədqiqatlarda seqnetoelektrik və ferromagnet xassəli materiallar vacib rola malikdirlər [8-9]. Müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif ion radiuslu atomlarla əvəzləmələr zamanı onların kristal quruluşlarına nisbətən fiziki xassələrində daha çox dəyişiklik etmək mümkündür [10-11].

Son zamanlarda heksaqonal kristal quruluşa malik barium ferritlərə (BaFe₁₂O₁₉) və barium ferrit əsaslı birləşmələrdə Fe atomlarının müxtəlif konsentrasiyaları Al, Ga, In, və s. ilə qismən əvəzlənməsindən alınmış bərk məhlullarına maraq kəskin artmışdır [12-14]. Bunun səbəbi bu birləşmələrdə müşahidə olunan geniş fiziki hadisələrlə əlaqələndirilir: müxtəlif təbiətli struktur faza keçidləri; ferroelektrik və ferrimagnet xassələr; maqnetoelektrik effekt və s. [15-16]. Bu xüsusiyyətlərinə görə barium heksaferritlər ferrimagnet, multiferroik və mikrodalğalı materiallar kimi perspektivli materiallardır [13].

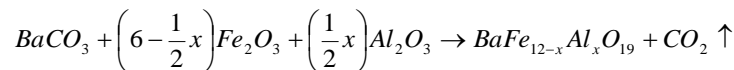
Əvvəlki tədqiqatlardan məlumdur ki, BaFe₁₂O₁₉ kristallarında fotolüminessensiya xassələri müşahidə edilmir. Lakin, müxtəlif nadir torpaq elementləri ilə legirə olunmuş BaAl₁₂O₁₉ kristalları ağ işıq diodları üçün lüminofor materialdır [17,18]. Kristallara Mn və Tb daxil etməklə yaşıl oblastda şüalanma maksimum-

ları müşahidə edilmişdir və göstərilmişdir ki, bu maksimumlar Mn və Tb atomlarının atomdaxili keçidləri ilə əlaqədar yaranırlar [15]. Eu ilə legirə olunmuş BaAl₁₂O₁₉ kristallarında aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, Eu atomlarının daxil olunması nəticəsində mavi oblastda 444 nm Eu atomdaxili keçidi hesabına (4f⁶5d-4f⁷) şüalanma müşahidə edilir [20]. Göstərilmişdir ki, kristal yenidən qızdırıldıqda bu şüalanma pikinin intensivliyi keskin artır və 438 nm-ə sürüşür. Eu ilə əvəz edilmiş BaAl₁₂O₁₉ kristallarında 438 nm, 462 nm və 511 nm qiymətlərinə malik üç şüalanma maksimumu müşahidə olunan 375-600 nm oblastında geniş lüminessensiya spektri müşahidə olunmuşdur [20].

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ kristallarının bir çox fiziki xassələrinin öyrənilməsinə baxmayaraq, onların fotolüminessensiya xassələri kifayət qədər öyrənilməmişdir. Təqdim edilən işdə, ilk dəfə olaraq otaq temperaturunda x = 0.1-0.6 intervalında BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ polikristallarının lüminessensiya xassələri tədqiq edilmişdir.

2. TƏCRÜBƏ

Tədqiq edilən 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 sobasında standart metodla “yüksək təmiz” markalı Fe₂O₃, Al₂O₃ oksidlərindən və BaCO₃ karbonatından sintez edilmişdir.



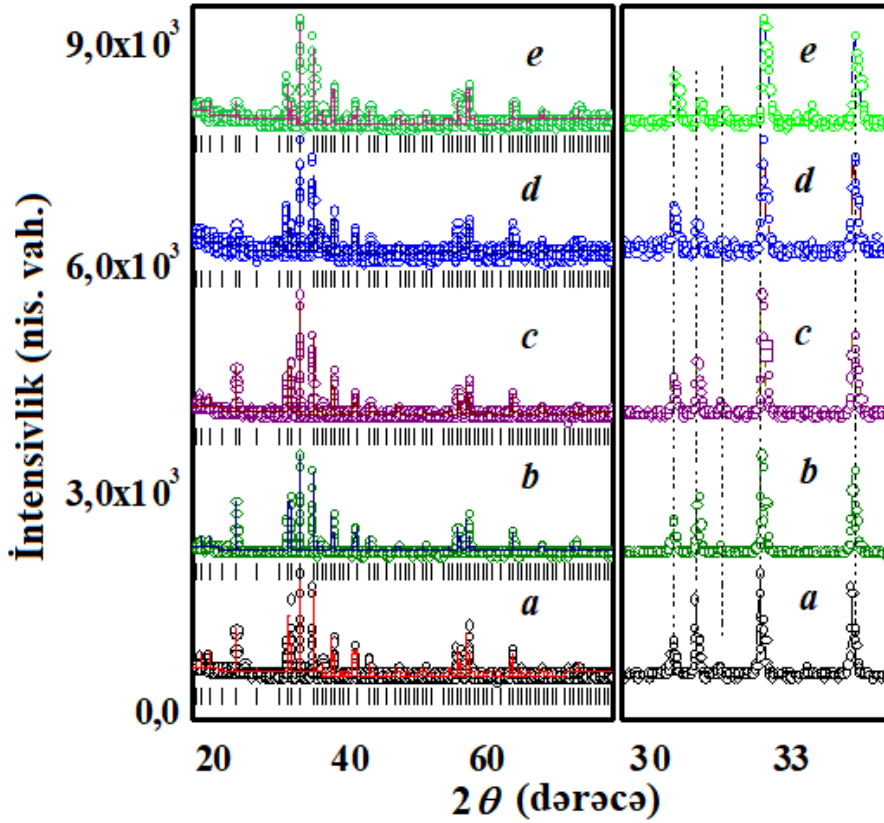
İlkin mərhələdə oksidlər və karbonat müvafiq miqdarda qarışdırılmış, açıq havada 1473 K temperaturda 6 saat, son mərhələdə isə açıq havada 1573 K temperaturda 6 saat qızdırılmışdır. Sintez prosesindən sonra nümunələr tədricən soyudulmuşdur (100 K·saat⁻¹).

Alınmış ovuntu halında olan nümunələrin kristal quruluşları rentgen difraksiyası metodu ilə, D8 Advance (Bruker) difraktometrində tədqiq edilmişdir. D8 Advance rentgen difraktometrinin parametrləri: 40 kV, 40 mA, CuK_α-şüalanma (λ=1.5406 Å) kimidir. Kristal quruluşun analizi FullProf proqramında Ritveld metodu ilə aparılmışdır (21,22).

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x=0.1-1.2) kristalları 375 və 435nm dalğa uzunluqlu lazer şüaları ilə həyəcanlandırılmış və birləşmələrin lüminessensiya xassələri tədqiq edilmişdir. Tədqiqat otaq temperaturunda aparılmışdır.

3. NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ**3.1. Kristal quruluş**

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x=0.1, 0.3, 0.6, 0.9 və 1.2) birləşmələrinin normal şəraitdə və otaq temperaturunda alınmış rentgen difraksiyası spektrləri şəkil1-də verilmişdir.



Şəkil 1. $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ birləşmələrinin otaq temperaturunda alınmış rentgen difraksiyası spektrləri: a) $BaFe_{11.9}Al_{0.1}O_{19}$, b) $BaFe_{11.7}Al_{0.3}O_{19}$ c) $BaFe_{11.4}Al_{0.6}O_{19}$ d) $BaFe_{11.1}Al_{0.9}O_{19}$ e) $BaFe_{10.8}Al_{1.2}O_{19}$ (23).

Normal şəraitdə $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ birləşmələrinin difraksiya spektrləri, əvvəllər əldə edilmiş nəticələrdə olduğu kimi, $P6_3/mmc$ fəza qruplu heksoqonal kristal quruluşa uyğundur [23]. Kristal quruluşda qəfəs parametrləri cədvəl 1-də göstərilmişdir. Alüminium ionlarının konsentrasiyasının artması ilə qəfəs parametrlərində azalma müşahidə edilmişdir. Bu böyük ion radiusuna malik Fe^{3+} ($r = 0.645 \text{ \AA}$) ionlarının daha kiçik ion

radiuslu Al^{3+} ($r = 0.535 \text{ \AA}$) ionları ilə əvəz edilməsi ilə izah olunur [24]. Oksigen atomları dəmir və ya onu əvəz edən alüminium atomları ilə birlikdə $Fe(1)/Al(1)O_6$, $Fe(4)/Al(4)O_6$, $Fe(5)/Al(5)O_6$ oktaedrləri, $Fe(2)/Al(2)O_5$ bipiramidaları və $Fe(3)/Al(3)O_4$ tetraedrləri əmələ gətirirlər.

Cədvəl 1.

$BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ ($x = 0.1-1.2$) bərk məhlullarının otaq temperaturunda qəfəs parametrləri.

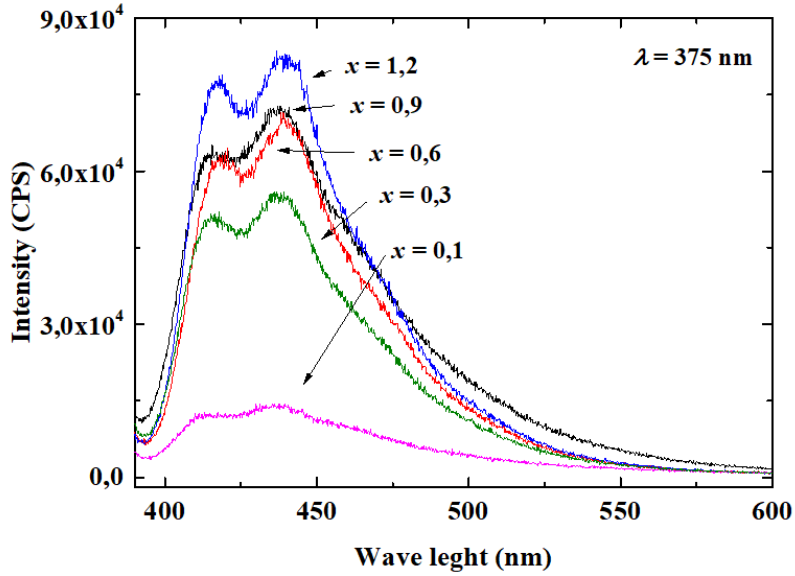
Konsentrasiya					
X	0.1	0.3	0.6	0.9	1.2
Qəfəs parametrləri					
a = b	5.8899(2)	5.8854(1)	5.8846(1)	5.8809(2)	5.8700(2)
c	23.1972(6)	23.1756(5)	23.1719(3)	23.1686(9)	23.1268(9)

3.2. Lüminessensiya xassələri

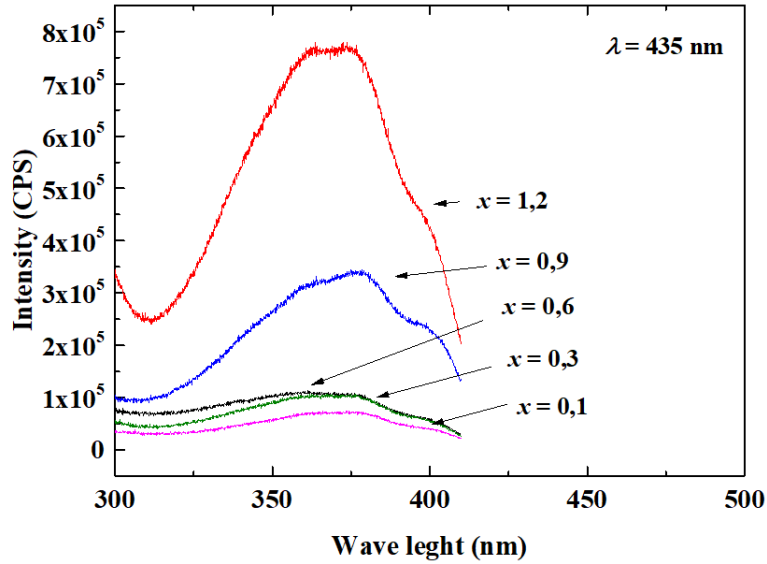
Məlumdur ki, $BaFe_{12}O_{19}$ kristallarında lüminessensiya müşahidə olunmur. $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ kristallarında isə lüminessensiya xassələrinin meydana gəlməsinin səbəbi Al atomlarının olduğunu söyləyə bilərik. Kristallarda Al atomlarının konsentrasiyasının $x=0.1-1.2$ aralığında artması ilə şüalanma artır. Bu, işıq udan və ona görə də lüminessensiya yaradan atomların konsentrasiyasının artması ilə izah olunur.

375 nm dalğa uzunluqlu lazerlə mavi oblastda maksimumu 420 nm, 444 nm və nisbətən zəif 470 nm olan üç şüalanma piki müşahidə edilir (şəkil 2). Ədəbiyyatda 444 nm, 470 nm-dəki piklər Eu ilə legirə

olunmuş $BaFe_{12}O_{19}$ kristalında da müşahidə edirik [25, 26]. Belə qənaətə gəlmək olar ki, bu piki yalnız Eu və Al keçidi ilə bağlamaq olmaz. 444 nm pik təmiz kristalda da nisbətən geniş və əlavə iki bitişik piklə müşahidə olunur. Ehtimal etmək olar ki, Eu keçidinin (444 nm) kristalın öz şüalanma maksimumu ilə üst-üstə düşməsi və defektlərin yerini doldurması pikin daralmasına, intensivliyin artmasına və bunun nəticəsi olaraq nisbətən əlavə (420 nm) pikin itməsinə səbəb olur. 435nm dalğa uzunluğu ilə nümunələri həyəcanlandıran zaman, ultrabənövşəyi oblastda 355 nm və 380 nm-də (şəkil 3) iki maksimumda antistoks lüminessensiyasının mövcud olması müşahidə edilir [24].



Şəkil 2. BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x=0.1-1.2) birləşmələrinin dalğa uzunluğu $\lambda=375$ nm olan lazerlə həyəcanlanma zamanı lüminessensiya spektrləri,



Şəkil 3. BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x=0.1-1.2) birləşmələrinin dalğa uzunluğu $\lambda=435$ nm olan bir lazerlə həyəcanlanma zamanı lüminessensiya spektrləri,

4. NƏTİCƏ.

BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x = 0.1-1.2) bərk məhlulları sintez edilmiş, alınmış tədqiqat nümunələrinin kristal quruluşları və lüminessensiya xassələri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu bərk məhlulların kristal quruluşları barium heksaferritin kristal quruluşuna oxşar olaraq P6₃/mmc fəza qruplu heksaqonal simmetriyaya malik olurlar. Al və Fe atomlarının ion radiuslarından asılı olaraq Al atomlarının konsentrasiyasından asılı

olaraq kristal quruluşda atomlararası məsafələrdə və qəfəs parametrlərində azalmalar müşahidə edilmişdir.

Alüminium atomlarının x=0.1-1.2 konsentrasiyası intervalında alınmış BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ birləşmələri 375 və 435 nm dalğa uzunluqlu lazer şüası ilə həyəcanlandırılmış və birləşmələrin lüminessensiya xassələri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Al və Fe atomlarının ion radiuslarından asılı olaraq kristal quruluşda müşahidə edilən dəyişikliklər lüminessensiya xassələrinə də müşahidə edilir.

[1] N.T. Dang, D.P. Kozlenko, T.L. Phan, S.E. Kichanov, N.V. Dang, T.D. Thanh, L.H. Khiem, S.H. Jabarov, T.A. Tran, D.B. Vo & B.N.Savenko. J. Electron. Mater., 2016, v. 45, p. 2477.

[2] Y.I. Aliyev, Y.G. Asadov, R.D. Aliyeva, T.G. Nəghiyev, S. H. Jabarov. Mod. Phys. Lett. B, 2019, v. 33, p. 1850128.

[3] Rəfiqə Z.Mehdiyeva, Ali I.Mammadov, Sakin H.Jabarov, Niyazi Demirci, Tuba Coşkun,

- MirHasan Yu. Seyidov. *J. Alloys Compd.*, 2015, v. 645, p. 496.
- [4] E.M. Huseynov, T.G. Naghiyev, *Adv. Phys. Res.* 2019, v. 1(2), p. 99.
- [5] S.H. Jabarov, A.V. Trukhanov, E.A. Kornieva, R.Z. Mehdiyeva, S.E. Kichanov, A.I. Mammadov, E.V. Lukin, R.E. Huseynov. *J. Surf. Invest. X-ray, Synchrotron Neutron Tech.*, 2014, v. 8, p. 1198.
- [6] N.T. Dang, V.S. Zakhvalinskii, D.P. Kozlenko, The-Long Phan, S.E. Kichanov, S.V. Trukhanov, A.V. Trukhanov, Yu. S. Nekrasova, S.V. Taran, S.V. Ovsyannikov, S.H. Jabarov, E.L. Trukhanova. *Ceram. Int.*, 2018, v. 44, p. 14974.
- [7] S.G. Asadullayeva, T.G. Naghiyev, G.A. Gafarova. *Adv. Phys. Res.*, 2019, v. 1(2), p. 81.
- [8] S.H. Jabarov, A.I. Mammadov, A.V. Trukhanov. *J. Surf. Invest. X-ray, Synchrotron Neutron Tech.*, 2017, v. 11, p. 223.
- [9] S.V. Trukhanov, A.V. Trukhanov, N.T. Dang, V.S. Zakhvalinskii, D.P. Kozlenko, The-Long Phan, S.E. Kichanov, S.V. Ovsyannikov., S.H. Jabarov, An. V. Trukhanov. *Mater. Res. Express*, 2018, v. 5, p. 086108.
- [10] A.S. Alekperov, S.H. Jabarov, M.N. Mirzayev, E.B. Asgerov, N.A. Ismayilova, Y.I. Aliyev, T.T. Thabethe, N. T. Dang. *J. Mod. Phys. Lett. B*, 2019, v. 33, p. 1950104.
- [11] Y.I. Aliyev, T.M. Ilyasli, A.O. Dashdemirov, M.R. Allazov, A.V. Trukhanov, Y.G. Asadov, S.H. Jabarov, N.T. Dang. *J. Ovonic Res.*, 2018, v. 14, p. 165.
- [12] R.E. Huseynov, A.I. Mammadov, R.Z. Mehdiyeva, A.V. Trukhanov, S. V. Trukhanov, V. A. Turchenko, T.P. Hoang, N.T. Dang & S.H. Jabarov. *J. Korean Phys. Soc.*, 2019, v. 74, p. 584.
- [13] S.H. Jabarov. *Int. J. Mod. Phys. B* 32 (2018) 1850303.
- [14] A.V. Trukhanov, V.G. Kostishyn, L.V. Panina, S.H. Jabarov, V.V. Korovushkin, S.V. Trukhanov, E.L. Trukhanova. *Ceramics Int.* 2017, v. 43(15), p. 12822.
- [15] S.V. Trukhanov, A.V. Trukhanov, V.A. Turchenko, V.G. Kostishin, L.V. Panina, S. Kazakevich, A.M. Balagurov. *J. Alloys Compd.*, 2016, v.417, p. 130.
- [16] A.V. Trukhanov, S.V. Trukhanov, V.G. Kostishin, L.V. Panina, M.M. Salem, I.S. Kazakevich, V.A. Turchenko, V.V. Kochervinskii, D.A. Krivchenya. *Phys. Solid State*, 2017, v. 59(4), p.737.
- [17] V.R. Panse, N.S. Kokode, S.J. Dhoble. *Chem. Bio. Phy. Sci. Sec. B.*, 2014, v. 14(4), p.3736.
- [18] V. Singh, R.P.S. Chakradhar, J.L. Rao, I. Ko, H.Y. Kwak. *J. Lumin.* 2010, v.130(4), p. 703.
- [19] D. Ravichandran, Shikik T. Johnson, S. Erdei, Rustum Roy, William B. White. *Displays*, 1999, v.19, p. 197.
- [20] L. Xiao et al.. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2010, v.10 (3), p. 2131.
- [21] A.M. Balagurov. *Neutron News*, 2005, v.16 (3), p. 8.
- [22] J. Rodriguez-Carvajal, *Physica B*, 1993, v. 192, p. 55.
- [23] A.V. Trukhanov, N.T. Dang, S.V. Trukhanov, S.H. Jabarov, I.S. Kazakevich, A.I. Mammadov, R.Z. Mehdiyeva, V.A. Turchenko, R.E. Huseynov., *Phys. Solid State*, 2016, v. 58, p. 992.
- [24] L. T. Bugaenko, S. M. Ryabykh, A. L. Bugaenko. *Mosc. Univ. Chem. Bull.*, 2008, v. 63, p. 303.
- [25] E.W. Gorter, *Proc. IEEE Suppl.*, 1957, v.104B, p. 225.
- [26] A. Jaboski. *Nature*, 1933, v. 131, p. 839.

A.I. Mammadov, R.Z. Mehdiyeva, S.H. Jabarov, R.E. Huseynov

LUMINESCENT PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS BaFe_{12-x}Al_xO₁₉

The crystal structure and luminescent properties of Al-substituted BaFe₁₂O₁₉ are studied. It is established that under normal conditions the samples are characterized by the space group P6₃/mmc. BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ crystals (x = 0.1 - 1.2) are excited by a laser with wavelengths of 375 nm and 435 nm and their luminescent features are studied. From the obtained luminescent spectra, it is seen that the intensity of the spectra increases at the replacement of magnetic Fe³⁺ ions by diamagnetic Al³⁺ ions. During laser excitation by wavelength of 435 nm, anti-Stokes luminescence is observed in the ultraviolet region.

А.И. Маммадов, Р.З. Мехдиева, С.Г. Джабаров, Р.Э. Гусейнов

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ BaFe_{12-x}Al_xO₁₉

Исследованы кристаллическая структура и люминесцентные свойства Al-замещенных BaFe₁₂O₁₉ составов. Установлено, что при нормальных условиях образцы характеризуются пространственной группой P6₃/mmc. Кристаллы BaFe_{12-x}Al_xO₁₉ (x = 0.1-1.2) возбуждены лазером с длиной волн 375 нм и 435 нм, изучены их люминесцентные особенности. Из полученных люминесцентных спектров видно, что при замещении магнитных ионов Fe³⁺ диамагнитными ионами Al³⁺, интенсивность спектров возрастает. При возбуждении лазером с длиной волны 435 нм, в ультрафиолетовой области наблюдается антистоксовая люминесценция.

Qəbul olunma tarixi: 26.01.2021