

## CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> BİRLƏŞMƏSİ VƏ İŞIQ DİODU ƏSASINDA AĞ İŞIQ MƏNBƏLƏRİNİN YARADILMASI VƏ SPEKTRAL LÜMINESSENT XASSƏLƏRİ

A.M. PAŞAYEV<sup>1</sup>, B.H. TAĞIYEV<sup>1,2</sup>, F.K. ƏLƏSKƏROV<sup>1</sup>, O.B. TAĞIYEV<sup>2,3</sup>,  
İ.T. HÜSEYNOV<sup>1\*</sup>, İ.Z. SADIXOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Mərdəkan pr.30

<sup>2</sup> AMEA, H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Az-1143, Bakı, H.Cavid prospekti 131

<sup>3</sup> M.V.Lomonosov adına Moskva Dövlət Universitetinin Bakı filialı

e-mail: [inibrahim@mail.ru](mailto:inibrahim@mail.ru)

Təqdim olunan iş effektiv lüminescent materiallar əsasında ağ işıq mənbələrinin yaradılmasına həsr olunmuşdur. Sənaye istehsalı olan həyəcanlandırıcı göy işıq-diodun səthinə ( $\lambda = 405\div 470\text{nm}$ ) sintez etdiyimiz yüksək effektivli lüminescent maddələr müxtəlif qalınlıqlarda çəkilmişdir. Təcrübədə II-III<sub>2</sub>-VI<sub>4</sub> qrupuna daxil olan maddələrdən CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> birləşməsindən istifadə olunmuşdur. Burada II valentli kationlar – Eu, Ca, Sr; III valentli kationlar – Ga, In, Al; VI xalkogenlər – S, Se, O və s. -dir. Nəticədə alınan ağ işıq mənbələrinin spektral lüminescent parametrləri haqqında məlumat verilmişdir.

**Açar sözlər:** lüminofor, işıq-diod, rəng temperaturu (CCT), rəng ötürmə indeksi (CRI)

**PACS:** 535-202.1

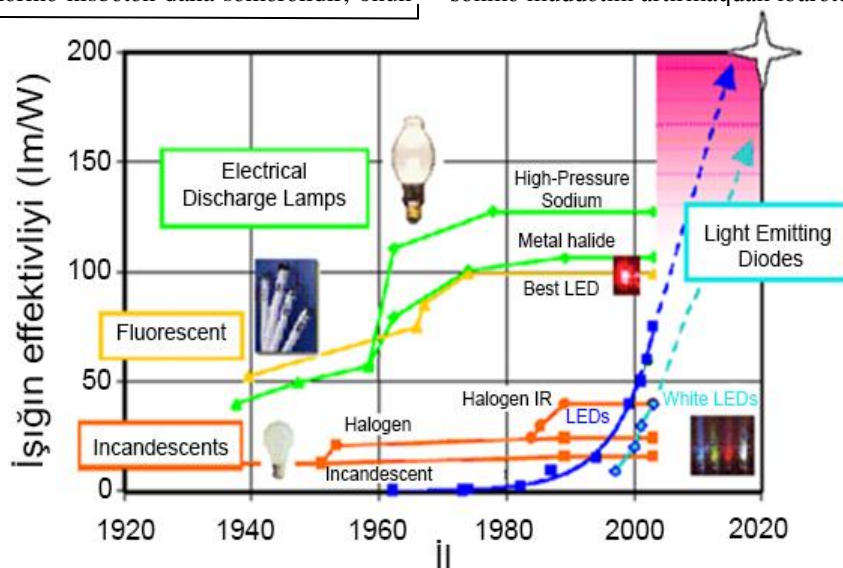
### 1. GİRİŞ.

Hal-hazırda dünyada elektrik enerjisindən səmərəli istifadə etmək çox böyük maraq doğurur və hər hansı bir iqtisadi fəaliyyətin əsas aspektlərindən biridir. Keçən əsrin 80-cı illərindən bu günə qədər enerji böhranı ilə əlaqədar enerjinin və ehtiyatlarının qorunması vacib məsələdir. Bu gün istehsal olunan elektrik enerjisinin 50-52%-i elektrik mühərriklərinə, 17-20%-i işıqlanmaya, 15-17%-i istilik və soyutma mənbələrinə, 13-15%-i telekommunikasiyaya sərf olunur [1]. Közərmə lampalarında elektrik enerji itkisi daha çoxdur. Həmin lampalarda elektrik enerjisinin 90%-i istilik enerjisinə çevrilir. Elektrik enerjisinə qənaət məqsədi ilə küçələrin işıqlanmasında və kommertiya işlərində yeni yarımkeçirici işıq mənbələrindən istifadə etmək əlverişlidir. Hazırda işıq diodları siqnal və indikator sistemlərində tətbiq olunmaqla yanaşı yeni yüksək parlaqlığa malik işıq-diodları közərmə lampalarını, neon lampalarını və digərlərini əvəz edir. Şəkil 1-də işıq mənbələrinin inkişaf mərhələləri göstərilmişdir [2].

İşıq-diodları (ingiliscə: LED - Light-emitting diode) ənənəvi işıq mənbələrinə nisbətən daha səmərəlidir, onun

tətbiqi inkişaf üçün prioritetdir. Yeni nəsil ağ işıq mənbələrinin hazırlanmasında ultrabənəşəyi (UB) və ya göy rəngli işıq-diodları ilə effektiv lüminoforun kombinasiyasından istifadə olunur [3-4]. İşıq-diod əsasında hazırlanan lampalar digər lampalar ilə müqayisədə etibarlılığı, az enerji sərfiyyatı, işləmə müddətinin uzun olması, quraşdırılmasının sadəliyi, geniş sahəni işıqlandıra bilmək qabiliyyəti, gövdəsinin bərk qızmaması, yüksək mexaniki möhkəmliliyi, ölçülərin nisbətən kiçik olması, civə olmaması kimi bir sıra üstünlüklərə malikdirlər [5-6]. İstifadə olunan elektrik enerjisini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa imkan verməsi, uzunömürlü və davamlı işıq mənbəyi olması, bu lampaların ümumilikdə istehsal həcmimin hər il daha çox artmasına zəmin yaradır [7]. Belə lampaların effektivliyi onun istənilən sahədə (məişətdə, sənayedə, küçələrin, avtomobillərin, qatarların, təyyarələrin və s.) işıqlandırılmasında geniş imkan yaradır.

Hazırda dünya bazarlarında müxtəlif firmaların istehsal etdiyi işıq-diod əsasında hazırlanan lampalar mövcuddur. Onlar bir çox xüsusiyyətlərinə görə bir-birindən fərqlənirlər. Lakin qarşıya qoyulan əsas məqsəd effektivliyi və sönmə müddətini artırmaqdan ibarətdir.



Şəkil 1. Işıq lampalarının inkişaf mərhələləri.

Ədəbiyyatdan məlum olduğu kimi ağ işıq mənbələrinin hazırlanması üçün üç rəngin: qırmızı, yaşıl və göy (red, green, blue: RGB) kombinasiyası lazımdır [8]. Bu işıq-diodların hazırlanması üçün müxtəlif tərkibli lüminofor maddələrdən istifadə olunur. Lüminofor maddələr iki komponentli silikon ilə müəyyən nisbətdə həll edilərək həyəcanlandırıcı göy çiplərin səthinə vurulur. İşıq-diodların hazırlanmasında təkcə lüminofor maddələrin deyil, həyəcanlandırıcı göy işıq-diodun da seçilməsi əsas amildir. Ümumiyyətlə ağ işıq mənbələrinin hazırlanması zamanı həyəcanlandırıcı mənbənin düzgün seçilməsi mühüm rol oynayır. Müxtəlif dalğa uzunluqlarına malik həyəcanlandırıcı işıq-diodlardan istifadə olunur. Tədqiqat işində 445nm dalğa uzunluğuna malik həyəcanlandırıcı InGaN əsasında yaradılan göy rəngli işıq-diodundan istifadə olunmuşdur [9]. Son illərdə nadir torpaq elementləri ilə aktivləşdirilmiş tioqallat birləşmələri lüminessent xüsusiyyətlərinə görə böyük marağa səbəb olmuşdur [10-12]. Təqdim olunan işdə ağ işıq mənbələrinin hazırlanması üçün lüminofor maddə kimi sintez olunan nadir torpaq elementi ilə aktivləşdirilmiş tioqallat  $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$  (sarıyaşıl) və  $\text{CaS}:\text{Eu}^{2+}$  (qırmızı) birləşmələrindən istifadə olunmuşdur.

## 2. TƏCRÜBİ HİSSƏ.

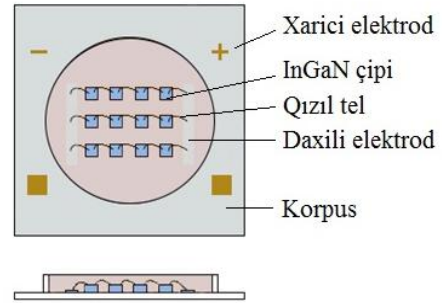
İşıq-diodu – iş prinsipi qeyri əsas yük daşıyıcıların injeksiyasının homo və ya hetero  $p-n$  keçidindən yaranan elektrolüminessensiyaya əsaslanan qeyri koherent optik şüalanmanın yarımkeçirici mənbəyidir [13].

İşıq-diod yarımkeçirici işıq şüalandırıcı çip, korpus, işıq-diodun çipi ilə korpusunun elektrik tərtibatını birləşdirən məftil çıxışlarından və çip ilə korpusu birləşdirən yapışdırıcıdan ibarətdir. İstənilən işıq-diodun əsasını çip təşkil edir. Ədəbiyyatda “Kristal” sözündən də istifadə olunur, amma bu söz işıq-diod çipinin daxili quruluşunun hazırlanmasının bütün texnoloji mürəkkəbliyini əhatə etmir.

İşıq-diodun yaradılmasının ilkin mərhələsi seçilən altlıqda müəyyən yarımkeçirici heterostrukturun yaradılmasıdır. Heterostrukturun tərkibi və fiziki xassələri işıq-

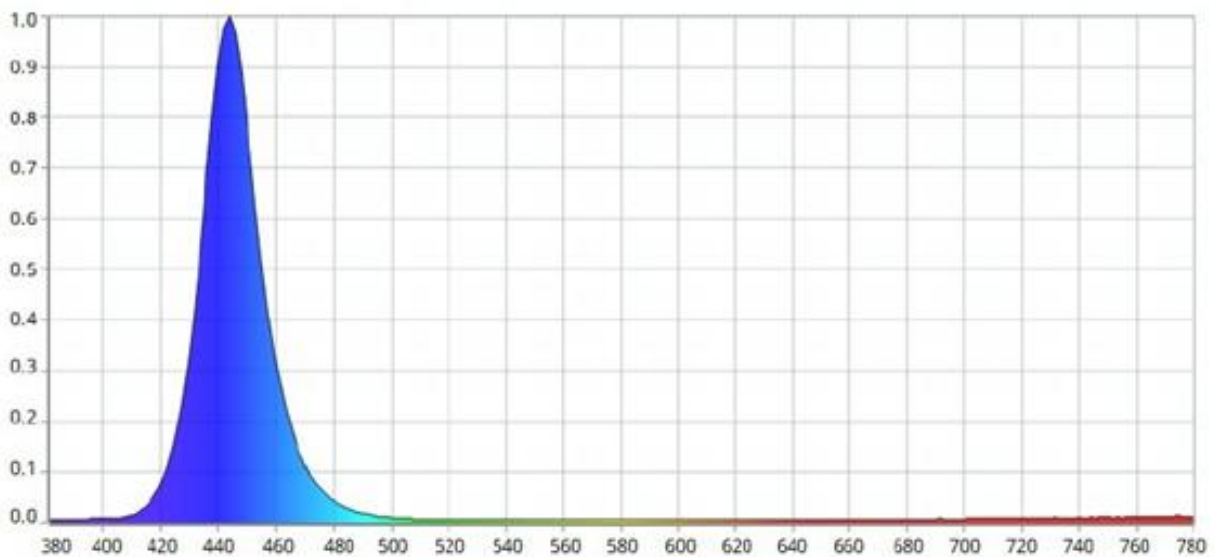
diod çipinin şüalanmasının dalğa uzunluğunu müəyyən edir. İşıq-diodu çiplərinin yaradılmasında istifadə olunan əsas materiallar GaN, AlN, InN, GaAs, GaP və onların bərk məhlullarıdır [14].

İşıq-diod çiplərinin əsas təyinatı işıq şüalandırmaqdır. Qurğu işləyən zaman daxil olan elektrik enerjisinin bir hissəsi istiliyə ayrılır. İşıq-diod çipinin həddindən artıq qızması onun xarakteristikalarının dəyişməsinə, iş vaxtının azalmasına və hətta sıradan çıxmasına səbəb ola bilər. Buna görə də, istiliyə ayrılan itkilərin miqdarının azaldılması lazımdır. Bunun üçün, işıq diod çipində istifadə olunan materialların fiziki parametrlərinin və qalınlığının idarə olunması, heterostrukturun epitaksial keyfiyyətlərinin yaxşılaşdırılması, cərəyanın eyniölçülü yayılmasını təmin edən strukturun yaradılmasından istifadə olunur [15]. 2-ci şəkildə nümunə kimi istifadə etdiyimiz göy işıq-diodun ümumi quruluşu verilmişdir.



Şəkil 2. Göy işıqdiodun üstdən və yandan görünüşü.

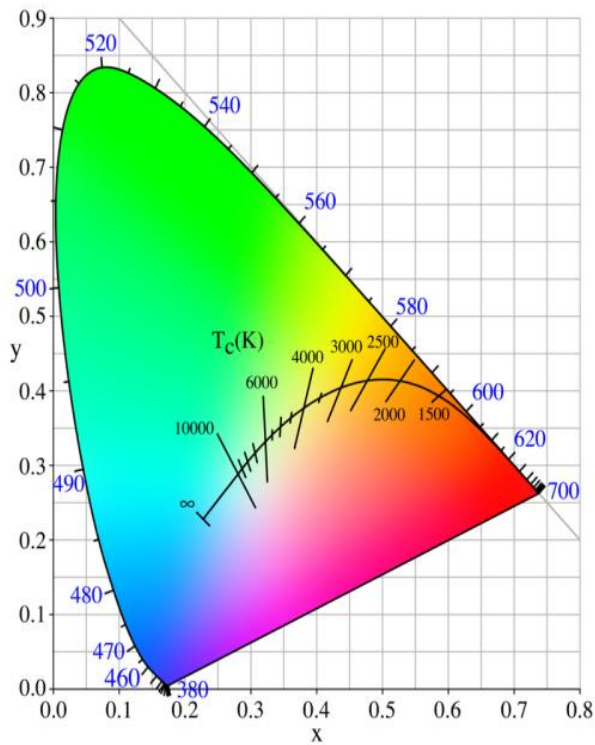
Hal-hazırda 440-700 nm dalğa uzunluğuna malik olan elektromaqnit dalğalar, yəni spektrin görünən, ultrabənövşəyi və infraqırmızı hissəsində işləyən işıq diodları istehsal olunur. Yalnız bu diapazonda insan gözü elektromaqnit dalğalarını qəbul edə bilər. Təqdim olunan işdə istifadə edilən sənaye istehsalı olan 445 nm dalğa uzunluğuna malik həyəcanlandırıcı göy işıq-diodunun lüminessensiya spektri şəkil 3-də verilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, ağ işıq mənbəyinin hazırlanması üçün istifadə etdiyimiz həyəcanlandırıcı göy işıq-diodun parlaqlığı 10 Vt - 500 lüks qiymətini alır.



Şəkil 3. Həyəcanlandırıcı göy işıq-diodun UPRtek MK350D spektrometr ilə çəkilmiş lüminessensiya spektri.

Lüminofor – lüminessensiyaya malik olan, başqa sözlə udduğu enerjini işıq şüalanmasına çevirə bilən maddədir. Sənayedə lüminofor toz şəklində hazırlanır və ondan ağ işıq mənbəyinin alınması üçün istifadə olunur. Lüminofor çiplərin qısdaldığı şüalanmasından enerjini udaraq onu spektrin uzundaldığı sahəsində yenidən şüalandırır.

Quruluşunda lüminofordan istifadə edilən işıq-diodunda maksimum effektivliyi çipin şüalanma spektrinin dalğa uzunluğunun piki, lüminoforun udma spektrinin piki ilə üst-üstə düşdüyü zaman almaq olar. Çip və lüminoforun rəng koordinatları rənglilik diaqramında (şəkil 4) ağ işığın sahəsinə keçirsə, lüminoforun konsentrasiyasını lazım olan şəkildə seçməklə ağ işıq mənbəyini almaq olar.

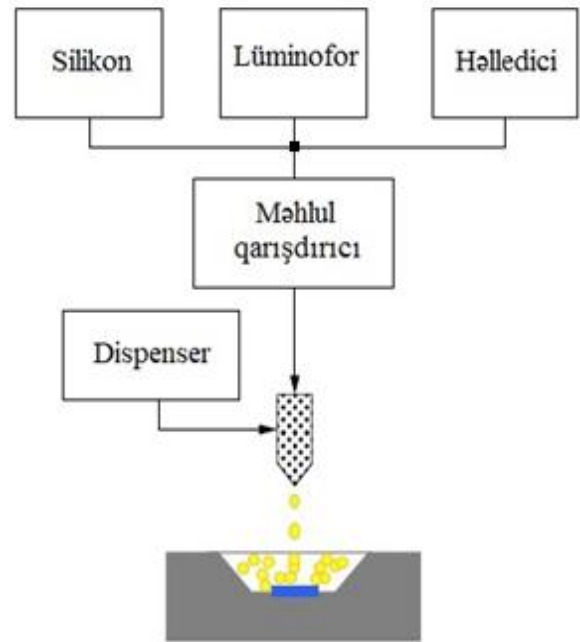


Şəkil 4. 1931 ildə Beynəlxalq İşıqlandırma Komitəsi (CIE - International Commission on Illumination) tərəfindən qəbul edilmiş işığın etalon rəng modeli

Şəkil 4-də 1931 ildə Beynəlxalq İşıqlandırma Komitəsi (CIE - International Commission on Illumination) tərəfindən qəbul edilmiş işığın etalon rəng modeli verilmişdir. Rəng temperaturu anlayışı - rəng vasitəsi ilə işıq mənbəyinin temperaturunu müəyyən etmək üçün istifadə olunur və ölçü vahidi olaraq Kelvin (K) qəbul edilmişdir. Şəkiləndən də görüldüyü kimi rəng temperaturu 1500 K-dən 10000÷15000 K-ə qədər diapazonda dəyişir.

Təqdim olunan işdə ağ LED-lərin hazırlanması üçün lüminofor maddə kimi nadir torpaq elementi ilə aktivləşdirilmiş tioqallat CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> (sarı-yaşıl) və CaS:Eu<sup>2+</sup> (qırmızı) birləşmələrindən istifadə olunmuşdur. Sintez olunan birləşmələr Planetary Micro Mill PULVERISETTE 7 dəyirmanında üyüdüülərək, ovuntular 30 mkm ölçüsündə ələkdən keçirilir. CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> və CaS:Eu<sup>2+</sup> birləşmələrinin ovuntuları uyğun nisbətlərdə 10<sup>-4</sup> qram dəqiqlikli tərəzidə çəkilərək iki komponentli silikon ilə qarışdırılır. Sonra lüminofor məhlul həyəcanlandırıcı göy işıq-diodun sət-

hinə rəqəmsal D8000 dispenser vasitəsi ilə vurulur və məhlul quruyana qədər sobada qızdırılır (şəkil 5) [16].

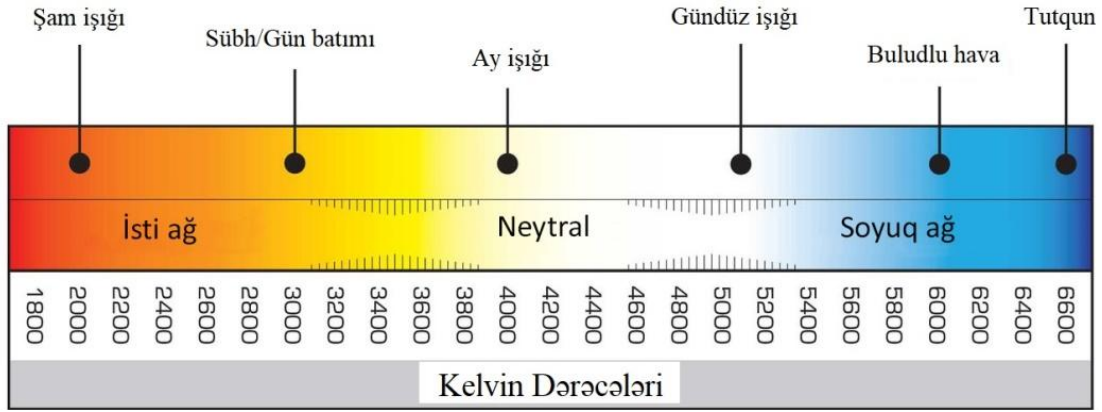


Şəkil 5. Sxematik olaraq işıqdiodun səthinə lüminofor məhlulun vurulması ardıcılığı.

Hazırlanan işıq-diodun işıq parametrləri UPR tek MK350D spektrometri ilə ölçülmüşdür. Bu cihaz işıq-diodun lüminessensiya spektrini, rəng temperaturu (CCT – Correlated Colour Temperature), rəng kooordinatları (CIE 1931, CIE 1976 – International Commission on Illumination), rəng ötürmə indeksi (CRI – colour rendering index), işığın parlaqlığı (LUX) və işığın pulsasiyası kimi parametrlərini ölçmə imkanına malikdir. Cihaz ölçülən məlumatları displeydə göstərməklə yanaşı, Micro SD yaddaş kartında saxlayır, eyni zamanda Bluetooth vasitəsilə smartfona qoşula və smartfondan idarə oluna, USB vasitəsilə kompüterə qoşula və kompüterdən idarə oluna bilər. UPRtek MK350D spektrometri 380-780 nm görünən işıq diapazonunda işləyir.

Aydındır ki, bu gün bütün ağ işıq mənbələri üç əsas qrupa (şəkil 6) bölünürlər:

- isti ağ işıq –rəng temperaturu 2700 K-dən 3200 K-ə qədər temperaturda işləyir. Əsasən, bu növ işıqlar közərmə lampasının parıltısına çox oxşardır. Belə rəng temperaturu lampalar yaşayış yerlərində istifadə üçün tövsiyə olunur.
- neytral ağ işıq (normal ağ) - rəng temperaturu 3500 K-dən 5000 K-ə qədərdir. Onların parıltısı səhər günəş işığı ilə vizual şəkildə əlaqələndirilir. Bu mənzilin texniki otaqlarında (koridorda, vanna otağında, tualetdə), ofislərdə, sinif otaqlarında, istehsal sexlərində və s. bu kimi yerlərdə istifadə olunur.
- soyuq ağ işıq–rəng temperaturu 5000 K-dən 7000 K-ə qədərdir və parlaq gün işığına bənzəyir. Bu növ işıqlanma ilə xəstəxana binaları, texniki laboratoriyalar, parklar, prospektlər, avtoparklar, anbarlar və s. yerlər işıqlandırılır.

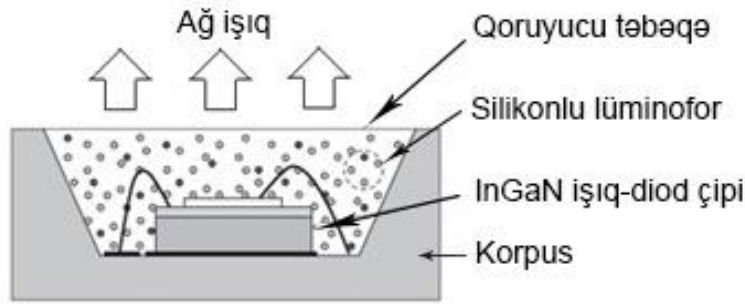


Şəkil 6. Işıq-diodların rəng temperatur şkalası.

### 3. NƏTİCƏ.

Şəkil 7-də səthinə silikonlu lüminofor vurulmuş işıq-diodun sxematik görünüşü verilmişdir. Burada həyəcanlandırıcı InGaN əsasında yaradılan diodun səthinə lümi-

nofor məhlul çəkilmişdir. Bu silikonlu lüminofor çevirici rolunu oynayır, yəni göy işığı ağ işığa çevirir.



Şəkil 7. Lüminofor məhlul vurulmuş ağ işıq-diodun sxematik görünüşü.

Cədvəl 1.

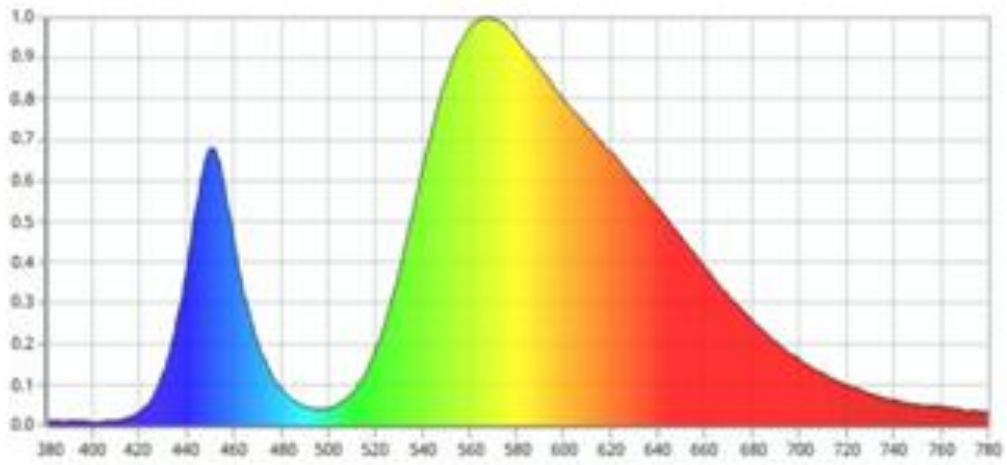
10 Vt gücündə olan göy işıq-diodların səthinə çəkilmiş lüminoforun parametrləri

Parametrlər	İşıq-diodlar		
	10 Vt		
Qalınlıq, mkm	490	450	360
CCT, K	3101	3986	6019
CRI	71,9	68,3	62,9
LUX	1916	2214	2862
CIE 1931	x=0,4312 ; y=0,4044	x=0,3794 ; y=0,3713	x=0,3220 ; y=0,3273
CIE 1976	x'=0,2467 ; y'=0,5207	x'=0,2267 ; y'=0,4990	x'=0,2050 ; y'=0,4688
$\lambda_p$ , nm	567	456	447

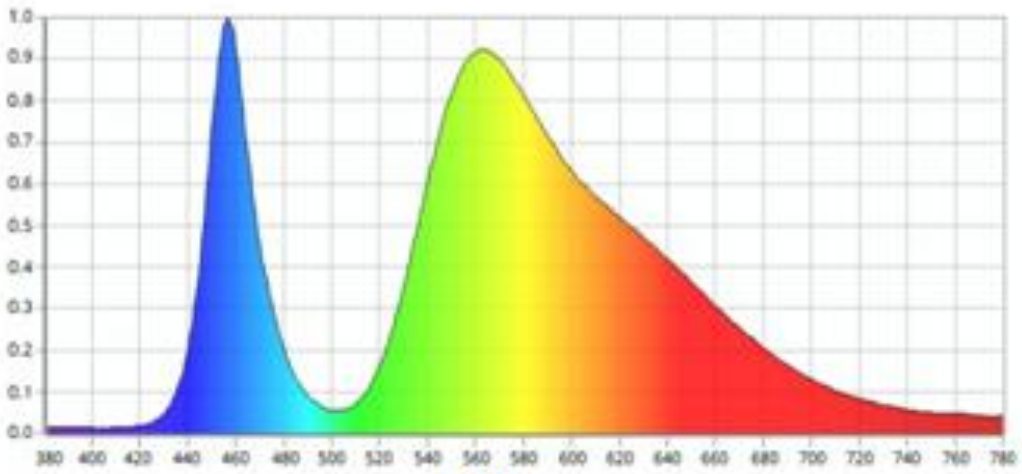
Bundan əlavə işıq-diodların lüminessensiya spektrləri ölçülmüş və analiz edilmişdir. Şəkil 8-dən görünür ki, həyəcanlandırıcı göy işıq-diodun spektri 445 nm dalğa uzunluğuna uyğundur. Yaşıl və qırmızı rəngləri əhatə edən zolaq diodun səthinə çəkilmiş lüminofor maddənin lüminessensiya spektridir.

Analizlər göstərir ki, 10 Vt gücündə olan, səthinə 490 mkm, 450 mkm və 360 mkm qalınlıqda lüminofor qatı çəkilmiş işıq-diodların rəng temperaturları müvafiq

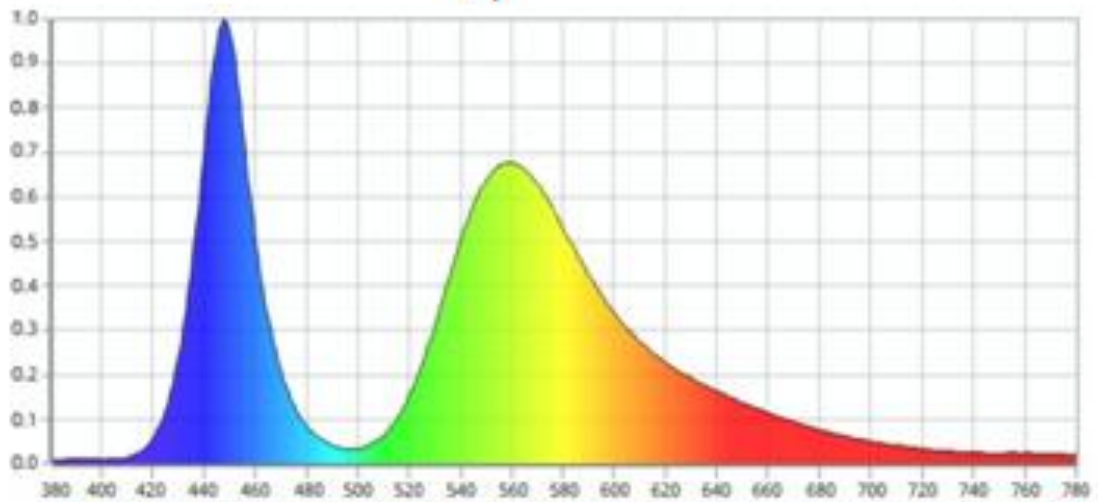
olaraq 3101K, 3986K və 6019K - dir. Cədvəldə qeyd etdiyimiz rəng temperaturları isti, neytral və soyuq ağ işıq intervalına uyğun gəlir. Yaradılan ağ işıq mənbələri Beynəlxalq Işıqlandırma Komitəsi tərəfindən qəbul edilmiş işığın etalon rəng modelinə müvafiqdir. Bundan başqa, səthinə lüminofor çəkildikdən sonra 10 Vt gücündə olan işıq diodların parlaqlığı uyğun olaraq 1916, 2214 və 2862 lükslərə qədər artır.



a)

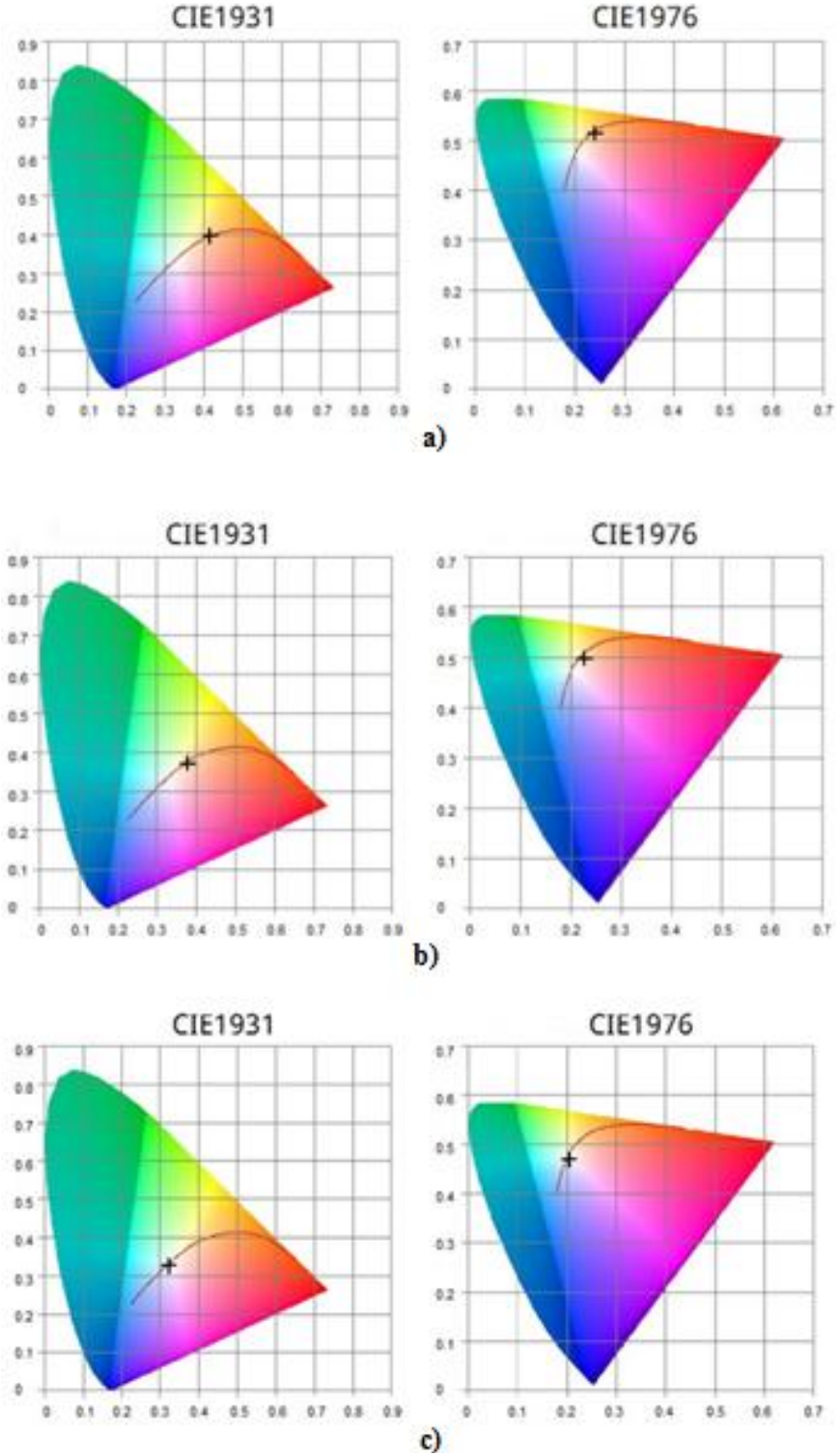


b)



c)

Şəkil 8. 10 Vt gücündə olan göy işıq-diodların səthinə çəkilmiş lüminoforun a) 490 mkm; b) 450 mkm; c) 360 mkm qalınlıqlarda lüminessensiya spektrləri.



Şəkil 9. 10Vt gücündə olan göy işıq-diodların səthinə çəkilmiş lüminoforun a) 490 mkm; b) 450 mkm; c) 360 mkm qalınlıqlarda rəng temperaturları (CCT)

Verilən lüminessensiya spektrlərindən (şəkil 8 a, b, c) belə nəticəyə gəlmək olar ki, səthə çəkilən lüminofor qatının qalınlığı buraxılan enerjinin qiymətinə böyük təsir göstərir. Beləki, şəkil 8, a-da göstərilən nümunənin lüminofor qatının qalınlığı nisbətən daha çoxdur (490 mkm) və göy işıq diodun daha az enerjisini buraxır. Şəkil 8, c-də

göstərilən nümunənin lüminofor qatının qalınlığı nisbətən az olduğu üçün (360 mkm) spektrin göy – mavi hissəsini daha az udur və çıxışda soyuq ağ işıq şüalanması müşahidə olunur. Nəticədə, nümunələrin parlaqlığı da qalınlığın artması ilə azalır.

- [1] *B.V. Плотников, Л.Ф. Кураמיшина, А.Р. Вахитов.* Вестник технологического университета. 2013, т.16, в.4, с.235-239
- [2] *R. Boonsin.* Development of rare-earth-free phosphors for LED-based lighting devices. Other. Universite Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2016.
- [3] *S. Nakamura, T. Mukai, and M. Senoh.* Appl. Phys. Lett., 1994. 64,1687.
- [4] *R. Mueller-Mach, G. O. Mueller, M. R. Kramers, and T. Trottier.* IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2002, 8, 339.
- [5] *K. Sakuma, N. Hirosaki, R.J. Xie.* J. Lumin. 2007, 126, 843.
- [6] *X.F. Hu, S.R. Yan, L. Ma, G.J. Wan, J.G. Hu.* Powder Technol. 2009, 188, 242.
- [7] Виды и типы светодиодов – полная классификация: сайт *Владимира Руденко.* 2015.
- [8] *В.Е. Бугров, К.А. Виноградова,* Оптоэлектроника Светодиодов Учебное пособие, Санкт-Петербург, 2013.
- [9] *C.H. Wang, C.C. Ke, C.Y. Lee, S.P. Chang, W.T. Chang, J.C. Li, Z.Y. Li, H.C. Yang, H.C. Kuo, T.C. Lu, S.C. Wang.* » Applied Physics Letters. 97.. 261103, 2010.
- [10] *M. Nazarov, D. Y. Noh, H. Kim.* Materials Chemistry and Physics, 2008, 107 p. 456-464.
- [11] *A.N. Georgobiani, B.G. Tagiev, O.B. Tagiev, R.B. Djabbarov, N.N. Musaeva and U.F. Kasumov.* Jpn. J. Appl. Phys., 2009, v.39, suppl. 39-1, pp. 3 434-439.
- [12] *Arif M. Pashayev, Bahadir G. Tagiev, Oktay B. Tagiev, Ilkin T. Huseynov, Kerim R. Allahverdiyev.* Synthesis and characterization of rare earth doped ternary chalcogenide semiconductors: effective electro-luminescence and laser materials, Proceedings Volume 10226, 19th International Conference and School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications; 102260J, 2017.
- [13] *А.Н. Пухтин.* Квантовая и оптическая электроника. Санкт-Петербург: Абрис., 2012, 656 с.
- [14] *Ф. Шуберт.* Светодиоды. Перевод с английского под редакцией *А.Э. Юновича.* Москва: Физматлит, 2-е издание.2008, 496 с.
- [15] *С.С. Суслов, К.А. Виноградова, В.Е. Бугров, М.А. Одноблюдов, А.Е. Романов.* «Параметрическое моделирование светоизлучающих структур на основе III-нитридов» Materials Physics and Mechanics. 14 (1), 2012, p. 78-86.
- [16] *Н.Т. Huang, C.C. Tsai, Y.P. Huang.* Conformal phosphor coating using pulsed spray to reduce color deviation of white LEDs. Opt. Exp. 18 Suppl. 2, A201–A206, 2010.

**A.M. Pashayev, B.H. Tagiev, F.K. Aleskerov, O.B. Tagiev, I.T. Huseynov, I.Z. Sadikhov**

### **CREATION OF WHITE LIGHT SOURCES BASED ON THE COMPOUND CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> AND LEDs AND THEIR SPECTRAL AND LUMINESCENT CHARACTERISTICS**

The presented work is devoted to the production of white light sources based on effective fluorescent materials. The high-performance luminescent materials synthesized by us are applied by different thickness on the surface ( $\lambda = 405\text{--}470\text{nm}$ ) of the commercially prepared blue LEDs. In practice, the compounds of substances CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> included in the group II-III<sub>2</sub>-VI<sub>4</sub> were used. Here II divalent cations - Eu, Ca, Sr; III trivalent cations - Ga, In, Al; VI chalcogenide - S, Se, O etc. As a result, explanations on the parameters of the obtained white light sources were given.

**A.M. Пашаев, Б.Г. Тагиев, Ф.К. Алескеров, О.Б. Тагиев, И.Т. Гусейнов, И.З. Садыхов**

### **СОЗДАНИЕ ИСТОЧНИКОВ БЕЛОГО СВЕТА НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЯ CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> И СВЕТОДИОДОВ И ИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Представленная работа посвящена изготовлению источников белого света на основе эффективных люминесцентных материалов. Синтезированные нами высокоэффективные люминесцентные материалы наносятся различными толщинами на поверхности ( $\lambda = 405\text{--}470\text{nm}$ ) изготовленных промышленным способом синих светодиодов. В практике использованы соединения веществ CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>, входящие в состав группы II-III<sub>2</sub>-VI<sub>4</sub>. Здесь II валентные катионы - Eu, Ca, Sr; III валентные катионы - Ga, In, Al; VI халькогенидных - S, Se, O и др. В итоге были даны пояснения о параметрах полученных источников белого света.

*Qəbul olunma tarixi: 27.11.2018*