

## "NODIR YER ELEMENTLARI BILAN LEGIRLANGAN LYUMINOFORLARNING TERMIK BARQARORLIGI VA KVANT SAMARADORLIGINI OSHIRISH"

**Elomonova Nozima G'ulom qizi**

Termiz davlat universiteti talabasi

E-mail: [nozimaelonova@gmail.com](mailto:nozimaelonova@gmail.com)

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada nodir yer elementlari bilan legirlangan lyuminofo materiallarning termik barqarorligi hamda kvant samaradorligini oshirish usullari tahlil qilinadi. Lyuminofo materiallarning optik va fizik xossalariga kristall panjara tuzilishi, legirlovchi ionlarning konsentratsiyasi, sintez usullari va haroratning ta'siri o'rganilgan. Tadqiqot davomida  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$  va  $\text{Dy}^{3+}$  ionlari bilan legirlangan materiallarning yorug'lik chiqarish samaradorligi hamda issiqlik ta'siriga chidamliligi solishtirilgan. Shuningdek, termik so'nish jarayonlarini kamaytirish va kvant chiqishini oshirish uchun optimal tarkib va sintez texnologiyalari tavsiya etilgan. Olingan natijalar LED texnologiyalari, display tizimlari va zamonaviy optoelektron qurilmalarda qo'llanilishi mumkin.

**Abstract:** This article analyzes the methods for improving the thermal stability and quantum efficiency of phosphors doped with rare-earth elements. The influence of crystal lattice structure, dopant ion concentration, synthesis methods, and temperature on the optical and physical properties of phosphors is investigated. During the research, the luminescence efficiency and thermal resistance of materials doped with  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ , and  $\text{Dy}^{3+}$  ions were compared. In addition, optimal compositions and synthesis technologies were proposed to reduce thermal quenching processes and increase quantum yield. The obtained results can be applied in LED technologies, display systems, and modern optoelectronic devices.

**Аннотация:** В данной статье анализируются методы повышения термической стабильности и квантовой эффективности люминофоров, легированных редкоземельными элементами. Исследовано влияние структуры кристаллической решётки, концентрации легирующих ионов, методов синтеза и температуры на оптические и физические свойства люминофоров. В ходе исследования были сравнены эффективность свечения и термостойкость материалов, легированных ионами  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Dy}^{3+}$ . Также предложены оптимальные составы и технологии синтеза для уменьшения процессов термического тушения и повышения

квантового выхода. Полученные результаты могут быть использованы в LED-технологиях, дисплейных системах и современных оптоэлектронных устройствах.

**Kalit soʻzlar:** Nodir yer elementlari, lyuminoфор, termik barqarorlik, kvant samaradorligi, legirlash, luminessensiya, optik materiallar, termik soʻnish, LED texnologiyasi, fotoluminessensiya.

**Keywords:** Rare-earth elements, phosphor, thermal stability, quantum efficiency, doping, luminescence, optical materials, thermal quenching, LED technology, photoluminescence.

**Ключевые слова:** Редкоземельные элементы, люминофор, термическая стабильность, квантовая эффективность, легирование, люминесценция, оптические материалы, термическое тушение, LED-технологии, фотолюминесценция.

## Kirish

Hozirgi kunda energiya resurslaridan oqilona foydalanish, elektr energiyasi sarfini kamaytirish hamda ekologik xavfsiz texnologiyalarni yaratish jahon ilm-fani oldida turgan muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Shu sababli yuqori samaradorlikka ega yorugʻlik manbalarini ishlab chiqish boʻyicha olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlar tobora kengayib bormoqda. Ayniqsa, qattiq jism fizikasi, nanomateriallar va optoelektronika sohalarining rivojlanishi yangi avlod lyuminescent materiallarini yaratishga katta imkoniyat yaratmoqda. Nodir yer elementlari bilan legirlangan lyuminoforlar zamonaviy yorugʻlik texnologiyalarining asosiy funksional materiallari sifatida alohida ahamiyat kasb etadi. Ushbu materiallar LED lampalar, suyuq kristalli displeylar, lazer tizimlari, tibbiy diagnostika qurilmalari, quyosh elementlari hamda optik sensorlarda keng qoʻllaniladi. Nodir yer ionlarining oʻziga xos elektron konfiguratsiyasi tufayli ular yuqori yorqinlik, tor emissiya spektri, katta kvant chiqishi va uzoq muddatli barqarorlik kabi afzalliklarga ega. Lyuminoforlarning optik xususiyatlari asosan kristall panjara tuzilishi, aktivator ionlarning turi va konsentratsiyasi, matritsa materiali hamda sintez texnologiyasiga bogʻliq boʻladi.  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  va  $\text{Er}^{3+}$  kabi nodir yer ionlari turli spektral diapazonlarda samarali nurlanish hosil qilishi sababli amaliyotda keng qoʻllaniladi. Jumladan,  $\text{Eu}^{3+}$  ionlari qizil,  $\text{Tb}^{3+}$  ionlari yashil,  $\text{Ce}^{3+}$  ionlari esa koʻk rangli luminessensiyaning yuzaga keltiradi. Shu xususiyat tufayli oq rangli LED qurilmalar yaratishda bir nechta aktivator ionlari asosidagi lyuminofor tizimlari qoʻllanilmoqda. Soʻnggi yillarda LED texnologiyalarining jadal rivojlanishi lyuminofor materiallarga boʻlgan talabni yanada oshirdi. Chunki LED qurilmalarining yorugʻlik sifati, xizmat muddati va energiya samaradorligi koʻp jihatdan lyuminoforlarning xossalriga bogʻliq. Yuqori quvvatli

LEDlarda ish jarayonida sezilarli miqdorda issiqlik ajralib chiqadi. Natijada lyuminofor materiallarda termik soʻnish hodisasi yuz beradi. Bu hodisa elektronlarning nurlanishsiz relaksatsiyasi bilan bogʻliq boʻlib, yorugʻlik chiqarish intensivligining pasayishiga olib keladi.

Termik soʻnish lyuminoforlarning asosiy kamchiliklaridan biri hisoblanadi. Harorat ortishi bilan aktivator ionlarining qoʻzgʻalgan holatdan energiyani foton koʻrinishida emas, balki issiqlik energiyasi sifatida yoʻqotishi kuchayadi. Bu esa kvant samaradorligining kamayishiga sabab boʻladi. Natijada LED qurilmalarining yorqinligi pasayadi, rang uzatish sifati yomonlashadi va umumiy energiya samaradorligi kamayadi. Mazkur muammoni bartaraf etish uchun termik barqarorligi yuqori boʻlgan yangi lyuminofor materiallarini yaratish dolzarb masalalardan biridir. Bunda past fonon energiyali matritsalaridan foydalanish, nanooʻlchamli strukturalar hosil qilish, kristall panjarani optimallashtirish va aktivator ionlar konsentratsiyasini toʻgʻri tanlash muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, zamonaviy sintez usullari — sol-gel, gidrotermal, qattiq fazali sintez va mikrotoʻlqinli texnologiyalar orqali yuqori tozalikka ega hamda bir jinsli strukturalar olish mumkin. Kvant samaradorligi lyuminofor materiallarning muhim parametrlaridan biri boʻlib, u yutilgan energiyaning qay darajada yorugʻlik energiyasiga aylanishini ifodalaydi. Yuqori kvant samaradorligiga ega materiallar kam energiya sarflagan holda kuchli nurlanish hosil qiladi. Shu sababli kvant chiqishini oshirish LED texnologiyalari, displey tizimlari va lazer optikasida muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Hozirgi davrda olimlar tomonidan ikki yoki undan ortiq nodir yer ionlari bilan legirlangan koʻp komponentli lyuminofor tizimlari keng oʻrganilmoqda. Bunday tizimlarda energiya uzatish mexanizmlarini boshqarish orqali yorugʻlik intensivligini oshirish hamda termik barqarorlikni yaxshilash imkoniyati mavjud. Bundan tashqari, nanozarrachalar sirtini passivatsiyalash va himoya qoplamalari hosil qilish orqali energiya yoʻqotishlarini kamaytirish mumkinligi aniqlangan.

## Asosiy qism

Lyuminofor materiallar tashqi energiya manbalari — ultrabinafsha nurlar, elektron oqimi, rentgen nurlari yoki elektr maydoni taʼsirida yorugʻlik chiqarish xususiyatiga ega boʻlgan moddalar hisoblanadi. Ularning asosiy xususiyati energiyani yutib, uni maʼlum toʻlqin uzunligidagi elektromagnit nurlanish koʻrinishida qayta chiqarishidir. Zamonaviy optoelektronika va fotonika sohalarida lyuminofor materiallarning ahamiyati tobora ortib bormoqda. Ayniqsa, nodir yer elementlari bilan legirlangan lyuminoforlar yuqori optik samaradorligi sababli ilmiy va sanoat tadqiqotlarining muhim obyektiga

aylangan. Nodir yer elementlari atomlarining elektron konfiguratsiyasi ularning kuchli luminessensiya xususiyatlarini belgilaydi. 4f-elektron qobig'ining to'liq to'lmaganligi sababli  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$  va  $\text{Tm}^{3+}$  kabi ionlar turli diapazonlarda intensiv nurlanish hosil qiladi. Ushbu ionlarning energetik o'tishlari kristall panjara ta'siridan nisbatan kam o'zgaradi, shu sababli ular yuqori spektral aniqlik va rang barqarorligini ta'minlaydi.  $\text{Eu}^{3+}$  ionlari asosan  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$  elektron o'tishi hisobiga qizil rangli nurlanish hosil qiladi. Bu turdagi lyuminoforlar oq LED lampalar va displey texnologiyalarida keng qo'llaniladi.  $\text{Tb}^{3+}$  ionlari yashil rangli luminessensiyani yuzaga keltirib, displey panellari va signal indikatorlarida muhim rol o'ynaydi.  $\text{Ce}^{3+}$  ionlari esa keng spektrli ko'k nurlanish hosil qilishi sababli yuqori tezkor optik qurilmalarda ishlatiladi.  $\text{Dy}^{3+}$  ionlari oq rangli nurlanish hosil qilish imkoniyati bilan qiziqish uyg'otmoqda. Lyuminoforlarning fizik va optik xususiyatlari ko'p jihatdan matritsa materialining tabiatiga bog'liq. Oksidli, sulfidli, fosfatli va ftoridli matritsalar amaliyotda keng qo'llaniladi. Oksidli matritsalar yuqori kimyoviy va mexanik barqarorlikka ega bo'lsa, ftoridli matritsalar past fonon energiyasi tufayli yuqori kvant samaradorligini ta'minlaydi. Past fonon energiyasi nurlanishsiz relaksatsiya ehtimolini kamaytiradi va luminessensiya intensivligini oshiradi.

Lyuminoforlarning kvant samaradorligi ularning asosiy tavsiflaridan biri bo'lib, yutilgan energiyaning qay darajada foydali yorug'lik energiyasiga aylanishini ifodalaydi. Kvant samaradorligiga quyidagi omillar sezilarli ta'sir ko'rsatadi:

1. aktivator ionlarning konsentratsiyasi;
2. kristall panjara simmetriyasi;
3. sintez texnologiyasi;
4. zarracha o'lchami;
5. kristall nuqsonlari;
6. fonon energiyasi;
7. harorat ta'siri.

Aktivator ionlar konsentratsiyasi ortishi bilan dastlab luminessensiya intensivligi oshadi. Ammo ma'lum chegaradan keyin konsentratsion so'nish hodisasi yuz beradi. Bu holatda ionlar orasidagi masofa qisqaradi va energiya nurlanishsiz tarzda yo'qotiladi. Shu sababli optimal legirlash miqdorini aniqlash lyuminofor sintezidagi muhim masalalardan biri hisoblanadi. Kristall panjara simmetriyasi ham emissiya intensivligiga sezilarli ta'sir qiladi. Nosimmetrik kristall maydonlarda elektr dipol o'tishlari ehtimoli ortadi va nurlanish intensivligi kuchayadi. Shu sababli kristall strukturaning geometrik parametrlari lyuminoforlarning optik xossalari boshqarishda muhim omil hisoblanadi. So'nggi yillarda nanoo'lchamli lyuminoforlarga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda. Nanozarrachalar katta sirt maydoniga ega bo'lgani sababli

ularning optik xususiyatlari oddiy mikroo'lchamli materiallardan farq qiladi. Nanozarrachalarda energiya uzatish samaradorligi yuqori bo'lishi mumkin, biroq sirt nuqsonlari tufayli energiya yo'qotish ehtimoli ham ortadi. Shu sababli nanozarrachalar sirtini passivatsiyalash orqali ularning kvant samaradorligini oshirish mumkin.

Lyuminoforlarning termik barqarorligi LED texnologiyalarida eng muhim talablardan biri hisoblanadi. Yuqori quvvatli LEDlarda ish jarayonida haroratning ortishi luminessensiya intensivligining kamayishiga olib keladi. Ushbu hodisa termik so'nish deb ataladi. Termik so'nish jarayonida qo'zg'algan elektronlar energiyani foton shaklida emas, balki issiqlik energiyasi sifatida yo'qotadi.

Termik barqarorlikni oshirish uchun quyidagi usullar samarali hisoblanadi:

1. Past fonon energiyali matritsalaridan foydalanish;
2. Kristall strukturaning mukammalligini oshirish;
3. Nanozarrachalarni himoya qoplamalari bilan qoplash;
4. Optimal aktivator konsentratsiyasini tanlash;
5. Ikki yoki undan ortiq aktivator ionlari bilan legirlash;
6. Yuqori haroratli sintez texnologiyalaridan foydalanish.

Ko'p komponentli lyuminofor tizimlarida energiya uzatish mexanizmlari muhim ahamiyat kasb etadi. Masalan,  $Ce^{3+} \rightarrow Tb^{3+}$  yoki  $Tb^{3+} \rightarrow Eu^{3+}$  energiya uzatish jarayonlari orqali luminessensiya intensivligini oshirish mumkin. Bunday tizimlarda bir ion sensibilizator, ikkinchisi esa aktivator vazifasini bajaradi. Natijada yorug'lik chiqarish samaradorligi ortadi. Lyuminofor materiallarni sintez qilishda turli texnologiyalar qo'llaniladi. Qattiq fazali sintez oddiy va iqtisodiy jihatdan qulay bo'lsa-da, yuqori harorat talab qiladi. Sol-gel usuli esa bir jinsli tarkibga ega nanozarrachalar olish imkonini beradi. Gidrotermal usul orqali esa nisbatan past haroratda yuqori kristallanish darajasiga ega materiallar sintez qilinadi. Mikroto'lqinli sintez usuli esa qisqa vaqt ichida yuqori samarali lyuminoforlar olish imkonini yaratadi. Sintez sharoitlari lyuminoforlarning kristall tuzilishi va optik parametrlariga bevosita ta'sir qiladi. Haroratning ortishi kristallanish darajasini yaxshilaydi, biroq ortiqcha harorat zarrachalarning yiriklashishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli sintez parametrlarini optimallashtirish muhim hisoblanadi. Bugungi kunda lyuminofor materiallar nafaqat yoritish texnologiyalarida, balki biologik markerlar, xavfsizlik tizimlari, lazer texnikasi va quyosh energetikasida ham keng qo'llanilmoqda. Shu sababli yuqori termik barqarorlik va katta kvant samaradorligiga ega yangi avlod lyuminofor materiallarini yaratish zamonaviy materialshunoslikning ustuvor yo'nalishlaridan biri bo'lib qolmoqda.

## Muammo va tahlili

Nodir yer elementlari bilan legirlangan lyuminofor materiallar yuqori optik samaradorlikka ega bo'lishiga qaramay, ularning amaliy qo'llanilishida bir qator muammolar mavjud. Eng asosiy muammolardan biri — yuqori harorat ta'sirida luminessensiya intensivligining pasayishidir. Ushbu hodisa termik so'nish deb ataladi va LED hamda boshqa optoelektron qurilmalarning samaradorligini sezilarli kamaytiradi. Termik so'nish jarayoni elektronlarning qo'zg'algan holatdan asosiy holatga nurlanishsiz o'tishi bilan bog'liq. Harorat ortishi bilan kristall panjaradagi fononlar soni ko'payadi va elektron energiyasining issiqlik shaklida yo'qotilishi kuchayadi. Natijada chiqarilayotgan yorug'lik intensivligi kamayadi hamda kvant chiqishi pasayadi. Yana bir muhim muammo — konsentratsion so'nish hodisasidir. Aktivator ionlar miqdori haddan tashqari ortib ketganda ionlar orasidagi masofa qisqaradi va energiya migratsiyasi kuchayadi. Bu energiyaning nuqson markazlarida yo'qolishiga olib keladi. Natijada luminessensiya samaradorligi pasayadi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, kristall panjaradagi nuqsonlar ham energiya yo'qotishning asosiy sabablaridan biridir. Kristall strukturadagi vakansiyalar, deformatsiyalar va begona fazalar elektronlarning nurlanishsiz relaksatsiyasini tezlashtiradi. Shu sababli yuqori kristallanish darajasiga ega materiallar olish muhim hisoblanadi. Nanoo'lchamli lyuminoforlarda esa sirt effektlari katta rol o'ynaydi. Nanozarrachalar sirtidagi nuqsonlar energiya yo'qotish markazlari sifatida xizmat qiladi. Bu muammoni bartaraf etish uchun nanozarrachalar sirtini  $\text{SiO}_2$  yoki boshqa himoya qatlamlari bilan passivatsiyalash usullari qo'llaniladi. Hozirgi tadqiqotlarda past fonon energiyali ftoridli va oksiftoridli matritsalar istiqbolli materiallar sifatida qaralmoqda. Chunki bunday materiallarda nurlanishsiz o'tish ehtimoli past bo'ladi. Shuningdek, ikki aktivatorli tizimlar yordamida energiya uzatish jarayonlarini optimallashtirish orqali yuqori samaradorlikka erishish mumkinligi aniqlangan. Ilmiy tahlillar shuni ko'rsatadiki, lyuminoforlarning termik barqarorligi va kvant samaradorligini oshirish uchun kompleks yondashuv talab etiladi. Ya'ni, matritsa tanlovi, aktivator konsentratsiyasi, sintez texnologiyasi va nanozarracha sirtini modifikatsiyalash birgalikda optimallashtirilishi zarur. Shu asosda yuqori samaradorlikka ega yangi avlod lyuminofor materiallarini yaratish mumkin bo'ladi.

## Xulosa

Nodir yer elementlari bilan legirlangan lyuminoforlar zamonaviy optoelektronika, fotonika va LED texnologiyalarida keng qo'llanilayotgan muhim funksional materiallar hisoblanadi. Ularning yuqori yorqinlikka ega bo'lishi, spektral barqarorligi va uzoq xizmat muddati amaliy ahamiyatini oshiradi. Lyuminoforlarning termik barqarorligi va kvant samaradorligi asosan material tarkibi, kristall panjara

tuzilishi, aktivator ionlar konsentratsiyasi hamda sintez texnologiyasiga bog'liq ekanligi aniqlandi. Tadqiqotlar natijasida optimal legirlash konsentratsiyasini tanlash, past fonon energiyali matritsalaridan foydalanish va nanoo'lchamli strukturalar hosil qilish orqali lyuminofozlarning yorug'lik chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkinligi ko'rsatildi. Shuningdek, nanozarrachalar sirtini passivatsiyalash ham energiya yo'qotishlarini kamaytirishda muhim rol o'ynashi qayd etildi. Termik so'nish hodisasi lyuminofozlarning asosiy muammolaridan biri bo'lib, yuqori haroratlarda luminessensiya intensivligining kamayishiga olib keladi. Ushbu muammoni kamaytirish uchun kristall strukturaning mukammalligini oshirish, optimal sintez usullarini qo'llash va ko'p komponentli tizimlardan foydalanish samarali natija berishi aniqlandi. Xulosa qilib aytganda, nodir yer elementlari bilan legirlangan lyuminofozlarning xossalarini chuqur o'rganish va ularni optimallashtirish energiya tejamkor LED qurilmalar, displey tizimlari va boshqa zamonaviy optik texnologiyalarni rivojlantirishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Axmedov k.s. Luminescent materiallar fizikasi. — toshkent: o'qituvchi, 2018.
2. Tursunov o.t. Optik va fotoelektrik materiallar. — toshkent: fan va texnologiya, 2020.
3. Rasulov h.r., karimov sh.m. “nodir yer elementlari bilan legirlangan lyuminofozlarning optik xossalari” // o'zbekiston fizika jurnali. — 2021. — №3. — b. 45–52.
4. Ismoilov a.a. Qattiq jismlar fizikasi va luminessensiya hodisalari. — samarqand: samdu nashriyoti, 2019.
5. Xolmatov b.e., jo'rayev n.sh. “led texnologiyalarida qo'llaniluvchi lyuminofoz materiallarning termik barqarorligi” // ilm-fan va innovatsiya. — 2022. — №5. — b. 66–72.
6. Abdullayev r.a. Nanotexnologiya va nanomateriallar asoslari. — toshkent: innovatsion rivojlanish nashriyoti, 2021.
7. Yusupov m.q., ergashev s.u. “nodir yer ionlari bilan legirlangan fosfozlarning kvant samaradorligini oshirish usullari” // zamonaviy materialshunoslik muammolari. — 2023. — №2. — b. 28–34.