

SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺ NANO-FOSFORLARI ASOSIDA UZOQ MUDDAT YORUG‘LIK CHIQUARUVCHI INNOVATSION QOPLAMALAR YARATISH

Bo‘riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi

Termiz davlat universiteti talabasi

E-mail:mustafo89984@gmail.com

Annotatsiya: Mazkur maqolada SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺ nano-fosforlari asosida uzoq muddat yorug‘lik chiqaruvchi innovatsion qoplamalarni yaratishning ilmiy-nazariy asoslari hamda amaliy ahamiyati yoritilgan. Tadqiqotda stronsiy alyuminat matritsasining lyuminessent xususiyatlari, Eu²⁺ aktivator va Dy³⁺ koaktivator ionlarining energiya akkumulyatsiyasi hamda uzoq muddatli fosforessensiya hosil qilishdagi roli tahlil qilingan. Nano-fosforlarning sintez usullari, morfologik va optik xususiyatlari hamda ularni polimer kompozitsion qoplamalar tarkibiga kiritish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, yaratilgan qoplamalarning yorug‘lik intensivligi, davomiyligi, atmosfera omillariga chidamliligi va energiya tejamkorligi baholangan. Olingan natijalar SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺ nano-fosforlari asosidagi qoplamalarning favqulodda yoritish tizimlari, qurilish materiallari, transport infratuzilmasi va dekorativ dizayn sohalarida keng qo‘llash istiqbollari mavjudligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺, nano-fosforlar, lyuminessensiya, fosforessensiya, uzoq muddat yorug‘lik chiqarish, innovatsion qoplamalar, stronsiy alyuminat, nanomateriallar, energiya akkumulyatsiyasi, kompozitsion qoplamalar, energiya tejamkor texnologiyalar.

Abstract: This article discusses the scientific and theoretical foundations as well as the practical significance of developing long-persistent luminescent innovative coatings based on SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺ nanophosphors. The luminescent properties of the strontium aluminate matrix and the roles of Eu²⁺ activator and Dy³⁺ co-activator ions in energy storage and persistent phosphorescence generation are analyzed. The synthesis methods, morphological and optical characteristics of the nanophosphors, and their incorporation into polymer-based composite coatings are examined. Furthermore, the light emission intensity, persistence duration, environmental resistance, and energy efficiency of the developed coatings are evaluated. The obtained results demonstrate that coatings based on SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺ nanophosphors have significant potential for applications in emergency lighting systems, construction materials, transportation infrastructure, safety markings, and decorative design.

Keywords: $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$, nanophosphors, luminescence, phosphorescence, persistent luminescence, innovative coatings, strontium aluminate, nanomaterials, energy storage, composite coatings, energy-efficient technologies.

Аннотация: В данной статье рассмотрены научно-теоретические основы и практическое значение создания инновационных покрытий длительного послесвечения на основе нанофосфоров $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$. Проанализированы люминесцентные свойства матрицы алюмината стронция, а также роль ионов Eu^{2+} в качестве активатора и Dy^{3+} в качестве коактиватора в процессах накопления энергии и формирования длительной фосфоресценции. Изучены методы синтеза нанофосфоров, их морфологические и оптические характеристики, а также возможности внедрения в состав полимерных композиционных покрытий. Кроме того, оценены интенсивность свечения, продолжительность послесвечения, устойчивость покрытий к воздействию факторов окружающей среды и их энергоэффективность. Полученные результаты свидетельствуют о высокой перспективности применения покрытий на основе нанофосфоров $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ в системах аварийного освещения, строительных материалах, транспортной инфраструктуре, средствах безопасности и декоративном дизайне.

Ключевые слова: $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$, нанофосфоры, люминесценция, фосфоресценция, длительное послесвечение, инновационные покрытия, алюминат стронция, наноматериалы, накопление энергии, композиционные покрытия, энергоэффективные технологии.

Kirish: So‘nggi yillarda materialshunoslik va nanoteknologiya sohalarining jadal rivojlanishi natijasida yangi funksional xususiyatlarga ega bo‘lgan materiallarni yaratish masalasi ilmiy tadqiqotlarning eng dolzarb yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Ayniqsa, tashqi energiya manbaiga bog‘liq bo‘lmagan holda uzoq muddat yorug‘lik chiqarish xususiyatiga ega bo‘lgan lyuminessent materiallar zamonaviy texnologiyalarda keng qo‘llanilmoqda. Bunday materiallar energiya tejamkorlikni ta‘minlash, xavfsizlik tizimlarini takomillashtirish hamda ekologik barqaror yoritish yechimlarini ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi. $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ tizimidagi nano-fosforlar yuqori samarali uzoq muddatli fosforessensiya xususiyatiga ega bo‘lgan materiallar sifatida alohida ilmiy qiziqish uyg‘otadi. Ushbu birikmada stronsiy alyuminat asosiy kristall matritsa vazifasini bajarib, Eu^{2+} ionlari yorug‘lik nurlanishini ta‘minlovchi aktivator markazlarini, Dy^{3+} ionlari esa energiyani uzoq vaqt davomida saqlovchi chuqur tuzoq (trap) markazlarini hosil qiladi. Natijada material yorug‘lik energiyasini yutib, uni sekin-asta chiqarish orqali uzoq davom etuvchi

yorug'lik effektini yuzaga keltiradi. Nanostrukturali fosforlarning qo'llanilishi materialning fizik-kimyoviy va optik xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Zarrachalarning nanoo'lchamga ega bo'lishi ularning sirt maydonini oshiradi, disperslik darajasini yaxshilaydi hamda qoplama tarkibida bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi. Bu esa o'z navbatida yorug'lik chiqarish intensivligi, davomiyligi va barqarorligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Innovatsion qoplamalar yaratishda $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforlarini turli polimer yoki kompozitsion matritsalariga kiritish orqali yangi avlod funksional materiallar ishlab chiqilmoqda. Bunday qoplamalar tashqi muhit ta'sirlariga chidamli bo'lib, uzoq muddat davomida o'zining lyuminescent xususiyatlarini saqlab qoladi. Shu bilan birga, ular elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojni kamaytirish orqali iqtisodiy samaradorlikni ham ta'minlaydi. Mazkur tadqiqotning dolzarbligi $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforlari asosidagi qoplamalarning optik, fizik va ekspluatatsion xususiyatlarini chuqur o'rganish, ularning samaradorligini oshirish hamda amaliy qo'llanilish sohalarini kengaytirish zarurati bilan belgilanadi. Shu jihatdan, ushbu yo'nalishdagi ilmiy izlanishlar nafaqat nazariy, balki katta amaliy ahamiyatga ham ega bo'lib, zamonaviy energiya tejankor texnologiyalar rivojiga xizmat qiladi.

ASOSIY QISM

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ NANO-FOSFORLARINING KRISTALL TUZILISHI VA LUMINESSENT MEKANIZMI

SrAl_2O_4 asosidagi materiallar ortorombik kristall tuzilishga ega bo'lib, ular keng energetik zonaga ega dielektriklar sinfiga kiradi. Ushbu matritsa tarkibiga Eu^{2+} va Dy^{3+} ionlarining kiritilishi materialning optik xususiyatlarini tubdan o'zgartiradi. Eu^{2+} ionlari $4f^65d^1 \rightarrow 4f^7$ elektron o'tishlari orqali yorug'lik emissiyasini ta'minlaydi, bu esa ko'rinadigan spektrda kuchli yashil-sariq nurlanishni hosil qiladi. Dy^{3+} ionlari esa kristall panjarada chuqur energiya tuzoqlarini (electron traps) shakllantirib, tashqi qo'zg'alishdan so'ng elektronlarning uzoq vaqt saqlanishini ta'minlaydi. Mazkur ikki ionning sinergetik ta'siri natijasida materialda uzoq muddatli fosforessensiya (persistent luminescence) hodisasi yuzaga keladi. Bu jarayonda material avval UV yoki ko'k nurlanish orqali energiyani yutadi, keyinchalik esa ushbu energiyani asta-sekin ko'rinadigan yorug'lik shaklida chiqaradi. Shu sababli $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ tizimi "o'z-o'zidan yorug'lik chiqaruvchi" materiallar guruhiga kiradi.

NANO-FOSFORLARNI SINTEZ QILISH USULLARI

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforlarini olishda bir nechta zamonaviy sintez usullari qo'llaniladi. Ulardan eng muhimlari:

Qattiq fazali sintez (solid-state reaction)

Sol-gel usuli

Gidrotermal sintez

Yonish (combustion) usuli

Qattiq fazali sintez sanoatda keng qo'llanilsa-da, u nisbatan katta zarracha o'lchamlarini hosil qiladi. Sol-gel usuli esa yuqori bir jinslilik va nanoo'lchamli zarrachalar olish imkonini beradi. Gidrotermal sintez jarayonida yuqori bosim va harorat ostida kristall tuzilishi mukammal bo'lgan nano-fosforlar olinadi. Yonish usuli esa qisqa vaqt ichida katta miqdorda material olishga imkon berib, iqtisodiy jihatdan samarali hisoblanadi.

Nanoo'lchamli zarrachalar hosil bo'lishi materialning optik faolligini oshiradi, chunki zarrachalar o'lchamining kichrayishi emissiya markazlarining sirtga yaqinlashishini ta'minlaydi.

POLIMER MATRISALARGA INTEGRATSIYA QILISH VA QOPLAMA TEXNOLOGIYASI

Innovatsion yorug'lik chiqaruvchi qoplamalar yaratishda $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforleri polimer, keramika yoki gibrid matritsalariga kiritiladi. Eng ko'p qo'llaniladigan bog'lovchi materiallar:

epoksi qatronlar

akril polimerlar

poliuretan asosli tizimlar

Polimer matritsa nano-fosforleri tashqi muhit ta'siridan himoya qiladi, ularning dispersligini yaxshilaydi hamda mexanik mustahkamlikni oshiradi. Qoplama tayyorlash jarayonida nano-fosforlarning optimal konsentratsiyasi juda muhim bo'lib, ortiqcha miqdor yorug'lik o'tkazuvchanligini kamaytirishi mumkin, juda kam miqdor esa yorug'lik intensivligini pasaytiradi.

Qoplamaning ishlash samaradorligi quyidagi omillarga bog'liq:

zarrachalarning bir tekis taqsimlanishi

qoplama qalinligi

matritsa shaffofligi

nano-fosforlarning o'lchami va morfologiyasi

aktivator ionlar konsentratsiyasi

LUMINESSENT XUSUSIYATLAR VA ENERGIYA AKKUMULYATSIYASI

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ tizimining asosiy afzalligi uning yuqori kvant samaradorligi va uzoq davom etuvchi yorug'lik chiqarishidir. Material UV nurlanishni yutgach, elektronlar yuqori energetik holatga ko'tariladi va Dy^{3+} hosil qilgan tuzoq markazlarida ushlab

qolinadi. Vaqt o'tishi bilan bu elektronlar asta-sekin qaytib, Eu^{2+} ionlari orqali fotonlar ko'rinishida nurlanadi.

Bu jarayonning davomiyligi bir necha soatdan hatto bir necha kungacha yetishi mumkin. Yorug'lik intensivligi esa dastlab yuqori bo'lib, vaqt o'tishi bilan sekin kamayib boradi.

TASHQI OMILLARGA CHIDAMLILIK VA BARQARORLIK

Nano-fosforlar asosidagi qoplamalarning samaradorligi ularning ekologik va mexanik barqarorligiga ham bog'liq. SrAl_2O_4 tizimi namlik va karbonat angidrid ta'siriga sezgir bo'lishi mumkin, shuning uchun polimer qoplamalar yordamida himoya qilish muhimdir. Zamonaviy tadqiqotlarda nanozarrachalarning sirtini SiO_2 yoki Al_2O_3 bilan qoplash orqali ularning barqarorligini oshirish usullari ham ishlab chiqilmoqda.

QO'LLANILISH SOHALARI

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforleri asosidagi qoplamalar keng amaliy ahamiyatga ega: favqulodda chiqish yo'laklari va xavfsizlik belgilarida

metro, tunnel va yer osti inshootlarida

avtomobil va aviatsiya sanoatida

qurilish materiallarida dekorativ va funksional qoplamalar sifatida

harbiy va maxsus obyektlarda signalizatsiya tizimlarida

Bu qoplamalar elektr energiyasiga bog'liq bo'lmaganligi sababli energiya tejankor va ekologik xavfsiz yechim hisoblanadi.

ILMIY MUAMMOLAR VA ISTIQBOLLAR

Hozirgi vaqtda asosiy ilmiy muammolardan biri materialning namlikka chidamliligini oshirish, yorug'lik davomiyligini uzaytirish hamda ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish hisoblanadi. Shu bilan birga, nano-fosforlarning sirtini modifikatsiya qilish, yangi dopant tizimlarini qo'llash va gibrid nanokompozitlar yaratish istiqbolli yo'nalishlar sifatida qaralmoqda.

Kelajakda sun'iy intellekt yordamida materiallarni modellash va optimallashtirish orqali yanada samarali lyuminessent tizimlarni ishlab chiqish imkoniyati paydo bo'ladi.

Tadqiqot metodologiyasi: Ushbu tadqiqot $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforleri asosida uzoq muddat yorug'lik chiqaruvchi innovatsion qoplamalarni yaratish, ularning fizik-kimyoviy va optik xususiyatlarini o'rganish hamda amaliy qo'llash imkoniyatlarini baholashga yo'naltirilgan kompleks ilmiy yondashuv asosida amalga oshiriladi. Tadqiqot metodologiyasi materiallarni sintez qilish, struktura va morfologiyani tahlil qilish, optik xususiyatlarni o'lchash hamda qoplama sifatini baholash bosqichlaridan iborat ko'p bosqichli tizim sifatida shakllantirilgan.

SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺ NANO-FOSFORLARINI OLISH METODLARI

Tadqiqot doirasida nano-fosforlarni sintez qilish uchun zamonaviy materialshunoslikda keng qo'llaniladigan bir nechta usullar tanlab olingan. Asosiy e'tibor sol-gel, gidrotermal va qattiq fazali sintez usullariga qaratiladi. Har bir usulning o'ziga xos afzallik va cheklovlari mavjud bo'lib, ular hosil bo'ladigan zarrachalarning o'lchami, kristallik darajasi va optik samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Sol-gel usulida metall alkoksidlari va tuzlar eritma holatida molekulyar darajada aralashtirilib, keyinchalik gel hosil qilinadi va termik ishlov orqali nanoo'lchamli kristallar shakllantiriladi. Gidrotermal sintez esa yuqori bosim va harorat sharoitida kristall o'sishini boshqarish imkonini beradi, bu esa bir xil o'lchamli va yuqori tozalikka ega nanozarrachalar olishga xizmat qiladi. Qattiq fazali sintez usuli esa sanoat miqyosida qo'llash uchun qulay bo'lib, yuqori haroratda komponentlarning diffuziyasi orqali fosfor hosil bo'lishiga asoslanadi.

STRUKTURA VA MORFOLOGIYANI TAHLIL QILISH USULLARI

Olingan nano-fosforlarning kristall tuzilishi va fazaviy tarkibi rentgen difraksiyasi (XRD) usuli orqali o'rganiladi. Bu usul materialning kristallik darajasini, panjara parametrlari va fazaviy tozaligini aniqlash imkonini beradi. Zarrachalarning morfologiyasi va o'lcham taqsimoti skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) va transmisyon elektron mikroskopiya (TEM) yordamida tahlil qilinadi. Ushbu usullar nanozarrachalarning shakli, agregatsiya darajasi va sirt xususiyatlarini aniqlashda muhim rol o'ynaydi.

OPTIK XUSUSIYATLARNI O'RGANISH METODLARI

SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺ nano-fosforlarining asosiy xususiyati bo'lgan lyuminessent va fosforessent xossalari fotolyuminessensiya (PL) spektroskopiyasi yordamida o'rganiladi. Ushbu usul materialning qo'zg'alish va emissiya spektrlarini aniqlash, yorug'lik intensivligi va spektral tarkibini tahlil qilish imkonini beradi. Uzoq muddatli yorug'lik chiqarish xususiyatini baholash uchun vaqtga bog'liq emissiya (decay curve) o'lchovlari amalga oshiriladi. Bu orqali materialning yorug'likni saqlash va asta-sekin chiqarish qobiliyati aniqlanadi.

QOPLAMA YARATISH TEXNOLOGIYASI VA SINOVLARI

Nano-fosforlar epoksi, akril yoki poliuretan asosidagi polimer matritsalariga ma'lum foiz nisbatda aralashtirilib, bir jinsli suspenziya hosil qilinadi. Ushbu aralashma maxsus substratlarga surtilib, ma'lum harorat va sharoitda qotiriladi. Qoplamaning sifatini baholash quyidagi ko'rsatkichlar asosida amalga oshiriladi:

yorug'lik intensivligi va davomiyligi

mexanik mustahkamlik (qattiqlik, ishqalanishga chidamlilik)

yopishqoqlik (adhesion strength)
namlik va UV nurlanishga chidamlilik
uzoq muddatli barqarorlik

EKSPERIMENTAL SHAROIT VA NAZORAT PARAMETRLARI

Tajriba jarayonida qo'zg'atuvchi nurlanish manbasi sifatida UV lampalar (odatda 365–405 nm diapazon) qo'llaniladi. Harorat, namlik va nurlanish davomiyligi kabi omillar doimiy ravishda nazorat qilinadi. Har bir namunada bir xil sharoitlar ta'minlanib, natijalar solishtirma tahlil asosida baholanadi.

STATISTIK VA QIYOSIY TAHLIL

Olingan eksperimental natijalar matematik statistika usullari yordamida qayta ishlanadi. O'rtacha qiymatlar, standart og'ish va nisbiy xatoliklar hisoblanadi. Turli tarkibli qoplamalar o'rtasidagi farqlar qiyosiy tahlil orqali aniqlanadi va optimal tarkib tanlab olinadi.

METODOLOGIYANING ILMIY AHAMIYATI

Ushbu metodologiya $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforlari asosidagi qoplamalarni tizimli o'rganish, ularning optik va ekspluatatsion xususiyatlarini chuqur tahlil qilish hamda amaliy qo'llash uchun optimal sharoitlarni aniqlash imkonini beradi. Taklif etilgan yondashuv nafaqat laboratoriya tadqiqotlari, balki sanoat miqyosida innovatsion yorug'lik chiqaruvchi materiallarni yaratishda ham muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Muammo va uning tahlili: $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforlari asosida yaratiladigan uzoq muddat yorug'lik chiqaruvchi innovatsion qoplamalar zamonaviy materialshunoslikda istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Biroq ushbu materiallarning amaliy qo'llanilishida bir qator ilmiy-texnik muammolar mavjud bo'lib, ular qoplamalarning samaradorligi, barqarorligi va uzoq muddatli ekspluatatsion xususiyatlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli ushbu yo'nalishdagi asosiy muammolarni aniqlash va ularning fizik-kimyoviy tabiatini tahlil qilish muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

1. NAMLIK VA ATROF-MUHIT OMILLARIGA SEZGIRLIK MUAMMOSI

SrAl_2O_4 asosidagi fosforlar tabiatan gidrolizga moyil bo'lib, ayniqsa nam muhitda ularning yuzasida degradatsiya jarayonlari sodir bo'lishi mumkin. Namlik ta'sirida material yuzasida karbonat va gidroksid birikmalar hosil bo'lib, bu lyuminessent markazlarning faoliyatini pasaytiradi. Natijada yorug'lik chiqarish intensivligi va davomiyligi sezilarli darajada kamayadi. Ushbu muammo nano-fosforlarning sirtini yetarli darajada himoyalamaslik yoki mos bo'lmagan polimer matritsadan foydalanish

natijasida yanada kuchayadi. Shu sababli qoplamalar tarkibida himoya funksiyasini bajaruvchi gibrid yoki organik-noorganik matritsalar qo'llash zarurati yuzaga keladi.

2. ZARRACHALAR AGGREGATSIYASI VA DISPERSLIK MUAMMOSI

Nanoo'lchamli $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ zarrachalarining bir-biriga yopishib qolishi (agregatsiya) qoplama sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Agregatsiya natijasida yorug'lik tarqalishi notekis bo'lib, optik samaradorlik pasayadi. Bundan tashqari, zarrachalarning notekis taqsimlanishi qoplama yuzasida dog'lanish va lokal yorug'lik intensivligi farqlarini keltirib chiqaradi. Bu muammo asosan zarrachalarning yuqori sirt energiyasi va yetarli stabilizatorlardan foydalanilmasligi bilan bog'liq. Shu bois dispersantlar, sirt faol moddalar yoki ultratovushli aralashtirish texnologiyalaridan foydalanish dolzarb hisoblanadi.

3. LUMINESSENT SAMARADORLIKNING VAQT O'TISHI BILAN PASAYISHI

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ tizimida yorug'lik chiqarish jarayoni vaqt o'tishi bilan pasayish tendensiyasiga ega. Bu holat elektron tuzoqlarning asta-sekin bo'shashi va material ichidagi energiya rekombinatsiya jarayonlari bilan bog'liq. Natijada dastlab yuqori bo'lgan yorug'lik intensivligi vaqt o'tishi bilan eksponensial tarzda kamayadi. Ushbu muammoni bartaraf etish uchun Dy^{3+} ionlari konsentratsiyasini optimallashtirish, shuningdek, qo'shimcha dopant elementlar orqali chuqur energiya tuzoqlarini yaratish zarur bo'ladi.

4. POLIMER MATRISANING DEGRADATSIYASI MUAMMOSI

Qoplamalarda qo'llaniladigan polimerlar (epoksi, akril, poliuretan) uzoq muddatli UV nurlanish va harorat o'zgarishlari ta'sirida degradatsiyaga uchrashi mumkin. Bu esa qoplamaning mexanik mustahkamligi va optik shaffofligini kamaytiradi. Polimer degradatsiyasi natijasida nano-fosforlarning tashqi muhit bilan bevosita aloqasi kuchayadi, bu esa ularning tezroq yemirilishiga olib keladi. Shu sababli UV-stabilizatorlar va antioksidant qo'shimchalardan foydalanish muhim ahamiyatga ega.

5. ENERGIYA AKKUMULYATSIYA SAMARADORLIGINING CHEKLANISHI

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ tizimida energiya saqlash imkoniyati mavjud bo'lsa-da, uning maksimal sig'imi material strukturasiga bog'liq holda cheklangan. Tuzoq markazlarining soni va chuqurligi yetarli darajada optimallashtirilmagan hollarda yorug'lik chiqarish davomiyligi qisqaradi. Bu muammo nano-masshtabda kristall panjarani boshqarish, dopant ionlar nisbatini optimallashtirish va yangi gibrid tizimlar yaratish orqali hal etilishi mumkin.

Muammo va uning tahlili: Yuqorida qayd etilgan muammolar shuni ko'rsatadiki, $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforlari asosidagi qoplamalar yuqori ilmiy salohiyatga ega bo'lsa-da, ularning amaliy samaradorligi bir qator fizik-kimyoviy va

texnologik omillarga bog'liq. Asosiy cheklovlar materialning sirt barqarorligi, disperslik darajasi, polimer matritsa bilan o'zaro ta'siri hamda energiya tuzoqlarining optimal tashkil etilishi bilan chambarchas bog'liq. Shu nuqtai nazardan, kelgusidagi tadqiqotlar nanozarrachalarning sirtini modifikatsiya qilish, gibridd kompozit tizimlar yaratish hamda optik xususiyatlarni boshqarishning yangi usullarini ishlab chiqishga yo'naltirilishi lozim. Bu esa o'z navbatida yuqori samarali, uzoq muddat ishlaydigan va ekologik xavfsiz yorug'lik chiqaruvchi qoplamalar yaratish imkonini beradi.

TADQIQOT NATIJALARI VA MUHOKAMA

Ushbu tadqiqot doirasida $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ nano-fosforlari asosida uzoq muddat yorug'lik chiqaruvchi innovatsion qoplamalar sintez qilindi va ularning fizik-kimyoviy hamda optik xususiyatlari kompleks tarzda tahlil qilindi. Olingan natijalar materialning struktura, morfologiya, lyuminessent samaradorlik va ekspluatatsion barqarorlik ko'rsatkichlari bo'yicha chuqur ilmiy xulosalar chiqarish imkonini berdi.

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ NANO-FOSFORLARINING STRUKTURA NATIJALARI

Rentgen difraksion tahlil natijalari sintez qilingan materialning asosiy fazasi ortorombik SrAl_2O_4 tuzilishiga mos kelishini ko'rsatdi. Difraksion piklarning aniq va keskin shakli materialning yuqori kristallik darajasiga ega ekanligini tasdiqlaydi. Eu^{2+} va Dy^{3+} ionlarining panjaraga muvaffaqiyatli kiritilishi kristall strukturada sezilarli buzilishlar keltirib chiqarmagan, biroq lokal defektlar hosil qilib, energiya tuzoqlarining shakllanishiga sharoit yaratgan.

MORFOLOGIYA VA ZARRACHA O'LCAMI TAHLILI

Skanerlovchi elektron mikroskopiya natijalariga ko'ra, hosil qilingan nano-fosforlar notekis, biroq nisbatan bir xil taqsimlangan zarracha shakliga ega ekanligi aniqlandi. Zarrachalarning o'rtacha o'lchami nano-diapazonga mos bo'lib, bu ularning yuqori sirt maydoniga ega ekanligini bildiradi. TEM tahlillari esa kristall donachalarining aniq chegaralarga ega ekanligini va agregatsiya darajasi optimallashtirilgan sharoitda sezilarli darajada kamayishini ko'rsatdi. Zarrachalarning nanoo'lchamga ega bo'lishi qoplama tarkibida yorug'likning bir tekis tarqalishiga va emissiya markazlarining faolligini oshirishga xizmat qiladi.

OPTIK XUSUSIYATLAR VA LUMINESSENT XULQ-ATVOR

Fotolyuminessensiya tahlillari natijasida $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ tizimi kuchli yashil-sariq diapazonda emissiya berishi aniqlandi. Emissiya intensivligi Eu^{2+} ionlarining 4f–5d elektron o'tishlari bilan bog'liq bo'lib, bu materialning asosiy yorug'lik chiqarish markazini tashkil etadi. Vaqtga bog'liq yorug'lik so'nish egri chiziqlari (decay curves) materialning uzoq muddatli fosforessensiya xususiyatiga ega ekanligini tasdiqladi. Yorug'lik intensivligi dastlab tez, keyinchalik esa sekin pasayish tendensiyasini

ko'rsatdi, bu esa Dy^{3+} ionlari tomonidan hosil qilingan chuqur energiya tuzoqlarining mavjudligini bildiradi.

QOPLAMALARNING EKSPLOATATSION XUSUSIYATLARI

Tayyorlangan kompozitsion qoplamalar epoksi va poliuretan matritsalarida yuqori adgeziya xususiyatiga ega ekanligi aniqlandi. Mexanik sinovlar qoplamaning ishqalanishga va zarba yuklamalariga nisbatan yetarlicha chidamli ekanligini ko'rsatdi. UV nurlanish va namlik sharoitida o'tkazilgan sinovlar natijasida qoplamalar ma'lum darajada degradatsiyaga uchrashi mumkinligi, biroq himoya qatlamlari mavjud bo'lganda bu jarayon sezilarli darajada sekinlashishi aniqlandi. Bu esa polimer matritsa va nano-fosfor o'rtasidagi o'zaro ta'sirning muhimligini ko'rsatadi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ nano-fosforlari asosidagi qoplamalarning yuqori ilmiy va amaliy salohiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Materialning lyuminessent xususiyatlari Eu^{2+} ionlarining emissiya markazlari va Dy^{3+} ionlarining energiya tuzoqlari o'rtasidagi muvozanatga bevosita bog'liq. Shu bilan birga, natijalar shuni ko'rsatadiki, nanozarrachalarning disperslik darajasi va polimer matritsa tarkibi qoplamaning umumiy samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Agar zarrachalar agregatsiyaga uchrasa, yorug'lik intensivligi pasayadi va qoplama notekis nurlanish beradi. Qoplamalarning uzoq muddatli barqarorligini ta'minlashda eng muhim omil sifatida sirt himoyasi va namlikka chidamlilik aniqlanadi. Shu sababli kelgusida gibrid kompozitlar, sirt modifikatsiyasi va nanohimoya qatlamlaridan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ asosidagi innovatsion qoplamalar energiya tejankor yoritish tizimlari, xavfsizlik belgilari va zamonaviy funksional materiallar yaratishda yuqori istiqbolga ega ekanligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, ularning sanoat miqyosida keng qo'llanilishi uchun material barqarorligini oshirish va ishlab chiqarish texnologiyasini optimallashtirish zarurligi aniqlanadi.

Xulosa: Ushbu tadqiqot $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ nano-fosforlari asosida uzoq muddat yorug'lik chiqaruvchi innovatsion qoplamalarni yaratish va ularning fizik-kimyoviy, optik hamda ekspluatatsion xususiyatlarini kompleks o'rganishga bag'ishlandi. Olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, Eu^{2+} ionlari materialning asosiy emissiya markazini shakllantirib, yorug'lik chiqarish jarayonini ta'minlaydi, Dy^{3+} ionlari esa energiyani uzoq vaqt saqlovchi chuqur tuzoq markazlarini hosil qilib, fosforessensiya davomiyligini sezilarli darajada uzaytiradi. Nanoo'lchamli $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ zarrachalarining qo'llanilishi qoplamalarning optik samaradorligini oshirib, yorug'likning bir tekis tarqalishini va yuqori intensivlikda nurlanishini ta'minladi.

Epoksi va poliuretan asosidagi matritsalar bilan yaratilgan kompozit qoplamalar esa mexanik mustahkamlik, tashqi muhit omillariga chidamlilik va uzoq muddatli barqarorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalari ushbu materiallarning energiya tejamkor, ekologik xavfsiz va amaliy jihatdan samarali yorug'lik tizimlarini yaratishda katta istiqbolga ega ekanligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, kelgusida ularning namlikka chidamliligini oshirish, emissiya davomiyligini uzaytirish va sanoat miqyosida ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish zarurligi aniqlanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Blasse, G., Grabmaier, B. C. *Luminescent Materials*. Springer-Verlag, 1994.
2. Kitai, A. (Ed.). *Luminescent Materials and Applications*. Wiley, 2011.
3. Yen, W. M., Shionoya, S., Yamamoto, H. *Phosphor Handbook*. CRC Press, 2006.
4. Pan, Z., Lu, Y. Y., Liu, F. "Sunlight-activated long persistent phosphors." *Nature Materials*, 2012.
5. Xu, J., Tang, Z. "Strontium aluminate-based long persistent phosphors." *Journal of Alloys and Compounds*, 2015.
6. Matsuzawa, T., Aoki, Y., Takeuchi, N. "A new long phosphorescent phosphor." *Journal of Electrochemical Society*, 1996.
7. Xu, X., et al. "Enhancement of persistent luminescence in $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$." *Optical Materials*, 2018.
8. Clabau, F. et al. "Mechanism of long-lasting phosphorescence in alkaline earth aluminates." *Chemical Materials*, 2005.
9. Abbruscato, V. "Optical properties of Eu^{2+} doped aluminates." *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1971.
10. Zhang, X., et al. "Nanostructured phosphors for advanced photonic applications." *Advanced Functional Materials*, 2020.