

(19)



(10) **LT 2013 122 A**

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2013 122**

(51) Int. Cl. (2015.01): **H01L 33/00**

(22) Paraiškos padavimo data: **2013 10 22**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2015 04 27**

(62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —

(85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —

(30) Prioritetas: —

(71) Pareiškėjas:

VILNIAUS UNIVERSITETAS, Universiteto g. 3, LT-01513 Vilnius, LT

(72) Išradėjas:

**Akvilė ZABILIŪTĖ, LT
Artūras ŽUKAUSKAS, LT
Rimantas VAICEKAUSKAS, LT
Pranciškus VITTA, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

Otilija KLIMAITIENĖ, AAA Law, J.Jasinskio g. 16A, LT-03163 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Fotobiologiškai draugiškas konversijos fosfore šviestukas

(57) Referatas:

Siūlomas konversijos fosfore žemos susietosios spalvinės temperatūros šviestukas pasižymi mažu nevaizdiniu fotobiologiniu poveikiu žmogui, pasireiškiančiu melatoninio išsiskyrimo kankorėžinėje liaukoje slopinimu, ir gali būti naudojamas gatvių, stovėjimo aikštelių, pėsčiųjų bei dviračių takų, pastatų fasadų, paminklų, parkų, automobilių stovėjimo aikštelių bei namų kiemų apšvietimui, kuris silpnai trikdo žmogaus cirkadinį ritmą. Šviestukas, turi puslaidininkinį lustą, kuris spinduliuoja trumpabangę šviesą mėlynoje, violetinėje arba artimoje UV srityje dėl injekcinės elektroliuminescencijos, ir bangos ilgio keitiklį, kuris dėl fotoluminescencijos konvertuoja šią trumpabangę šviesą į ilgesnių bangos ilgių šviesą, kurios sudėtyje yra oranžinė komponentė su spektro smaile srityje tarp maždaug 570 nm ir 600 nm. Dalinės konversijos šviestuke lustas generuoja mėlyną šviesą, kurios dalis yra konvertuojama vienu fosforu (pavyzdžiui itrio magnio aliuminio silicio granatu, aktyvuotu trivalenčio cerio jonais ($\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$), bario stroncio silicio nitridu, aktyvuotu divalenčio europio jonais ($(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$), bario stroncio ortosilikatu, aktyvuotu divalenčio europio jonais ($(\text{Ba},\text{Sr})\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$), kalcio – alfa silicio aliuminio oksinitridu, aktyvuotu divalenčio europio jonais ($\text{Ca}-\alpha\text{-SiAlON}:\text{Eu}^{2+}$) ar kalcio stroncio selenidu, aktyvuotu divalenčio europio jonais ($(\text{Ca},\text{Sr})\text{Se}:\text{Eu}^{2+}$)), esančiu keitiklyje, į oranžinę šviesą. Visiškos konversijos šviestuke lustas generuoja artimą UV šviesą, kuri keitiklyje yra visiškai sugerama ir konvertuojama mėlynu (pavyzdžiui $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Ba}_5\text{SiO}_4\text{Cl}_6:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Mg}_3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_4:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Ca}_2\text{B}_5\text{O}_9(\text{Br},\text{Cl}):\text{Eu}^{2+}$, $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$, Mn^{2+} , $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Lu},\text{Gd})_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$, $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7:\text{Sn}^{2+}$, $\text{SrSiAl}_2\text{O}_3\text{N}_2:\text{Ce}^{3+}$ ar $\text{La}_3\text{Si}_6\text{N}_{11}:\text{Ce}^{3+}$) ir oranžiniu (minėtais aukščiau) fosforais.

FOTOBIOLOGIŠKAI DRAUGIŠKAS KONVERSIJOS FOSFORE ŠVIESTUKAS

Technikos sritis

Šis išradimas yra susijęs su šviesos šaltiniais, kurių spinduliuotės spektras yra tinkamas lauko apšvietimui ir mažai trikdo žmogaus cirkadinį ritmą, konkrečiau išradimas atskleidžia šviestukus, kurie yra sudaryti iš trumpabangę spinduliuotę emituojančio puslaidininkinio elektroluminescencinio darinio ir spektrinės galios skirstinio oranžinę komponentę generuojančių neorganinių fosforų.

Apibrėžimai:

CIE – (*pranc. Commission Internationale de l'Éclairage*) Tarptautinė apšvietimo komisija;

CIE standartinis šviesmuo A – spektrinės galios skirstinys, atitinkantis juodojo kūno spinduliuotę, esant 2856 K temperatūrai.

CPF – cirkadinio poveikio faktorius (spinduliuotės nevaizdinio cirkadinio veiksmingumo ir šviesinio veiksmingumo santykis);

Fosfòras – tam tikra medžiaga, kuri trumpesnio bangos ilgio spinduliuotę paverčia į ilgesnio bangos ilgio spinduliuotę (kitai – liuminoformas);

Liepsnos šviesa – žemos susietosios spalvinės temperatūros (< 2500 K) šviesa, kurios spalvis yra artimas juodojo kūno spinduliuotės spalviui;

SAR – spalvų atgavos rodiklis;

SGS – spektrinės galios skirstinys;

SST – susietoji spalvinė temperatūra;

Šviestukas – šviesos diodas;

Technikos lygio aprašymas

Tamsiu paros metu naudojamo lauko apšvietimo atveju būtina atsižvelgti į šviesos poveikį žmogaus biologiniam paros (cirkadiniam) ritmui. Žmogus, kaip ir kiekvienas žinduolis turi savo cirkadinį ritmą, kuris reguliuoja žmogaus miego ir budrumo fazę [D. Lang, Energy

efficient illumination for the biological clock, Proc. of SPIE **7954**, p. 795402–1–12 (2011)]. Jau praeitame šimtmetėje žmogaus cirkadinis ritmas buvo siejamas su apšvietimu, o 2001 metais buvo atrasta, kad šį ritmą reguliuoja apatinėje akies tinklainės dalyje išsidėsčiusios ganglinės ląstelės [G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner, M. D. Rollag, Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor, J. Neurosci. **21**(16), p. 6405–6412 (2001); K. Thapan, J. Arendt, D. J. Skene, An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, J. Physiol. **535**(1), p. 261–267 (2001)]. Šios ląstelės yra nevaizdiniai fotoreceptoriai, kurie kartu su smegenyse esančiu virškryžminių branduoliu ir kankorėžine liauka sudaro nevaizdinį cirkadinio ritmo reguliavimo kelią.

Apšvietus akį mėlyna šviesa, ypač krentančia iš viršaus, minėtos ganglinės ląstelės generuoja signalą smegenyse esančiam virškryžminių branduoliui ir šis ima slopinti melatonino (miego hormono bei natūralaus onkostatinio agento) išsiskyrimą kankorėžinėje liaukoje. Dėl šios priežasties, esant didelei apšvietai dienos metu ar ryte, žmonės jaučiasi aktyvūs. Tuo tarpu vakare, saulei nusileidus, melatonino išsiskyrimas neslopinamas ir žmonės rengiasi miegui. Moksliniais tyrimais įrodyta, kad cirkadinio ritmo sutrikdymas ir melatonino išsiskyrimo slopinimas vakarais gali sukelti įvairius sveikatos sutrikimus, pavyzdžiui, padidina vėžinių susirgimų riziką [S. Davis, D. K. Mirick, Circadian disruption, shift work and the risk of cancer: a summary of the evidence and studies in Seattle, Cancer Causes Control **17**(4), p. 539–545 (2006)]. Todėl svarbu užtikrinti, kad vakarais ir pirmoje nakties pusėje gatvių, stovėjimo aikštelių, pėsčiųjų bei dviračių takų, pastatų fasadų, paminklų, parkų, automobilių stovėjimo aikštelių bei namų kiemų apšvietimui naudojama šviesa nepasižymėtų dideliu cirkadiniu poveikiu. JAV patente US 6,498,429 yra pateikiama aukšto slėgio natrio lempa, o JAV patente US 4,401,914 žemo slėgio natrio garų lempa. Šios išlydžio lempos yra dužios, pasižymi lėta įsidegimo trukme bei santykinai mažu šviesiniu efektyvumu, be to jų sudėtyje yra nuodingų ir chemiškai agresyvių medžiagų. Aukšto ir žemo slėgio natrio garų lempos pasižymi žema SST ir mažu cirkadiniu poveikiu, tačiau dėl skurdaus ir struktūrizuoto spektro pasižymi itin prasta spalvų atgava.

JAV patente US 2,001,501 yra atskleidžiama gyvsidabrio garų lempa. Šios lempos spinduliuotė pasižymi dideliu spinduliniu srautu mėlynoje srityje ir stipriai veikia žmogaus cirkadinį ritmą, o mažo aplinkos skaisčio atveju dėl aukštos SST gali būtisukeliamas vaizdinis

diskomfortas [A. A. Kruithof, Tabular luminescence lamps for general illumination, Philips Tech. Rev. 6, p. 65–73 (1941).].

JAV patente 6,504,179 yra atskleidžiamas trispalvis konversijos fosfore šviestukas, susidedantis iš puslaidininkinio lusto, spinduliuojančio šviesą 300 – 470 nm bangos ilgių intervale, kurios dalis konvertuojama į žalią šviesą europiu aktyvuotame kalcio magnio chlorsilikatiniame fosfore ir į geltoną šviesą ceriu aktyvuotame retųjų žemių metalų granatiniame fosfore. Šių trijų spalvų mišinį žmogus suvokia kaip baltą šviesą, tačiau toks šviestukas nėra optimalus fotobiologiškai draugiškam gatvių apšvietimui, dėl šių priežasčių:

- optimalaus fotobiologiškai draugiško šviestuko SGS susideda iš dviejų spektrinių komponentų, o patente aprašomas iš trijų spektrinių komponentų susidedantį SGS turintis šviestukas;
- šviestuko fosforų cheminė sudėtis nėra parinkta taip, kad SGS būtų optimalus lauko apšvietimui su minimaliu cirkadinio poveikio faktoriumi.

JAV patente 6,501,102 yra atskleidžiamas trispalvis konversijos fosfore šviestukas, susidedantis iš puslaidininkinio lusto, spinduliuojančio šviesą, kurios bangos ilgis mažesnis nei 460 nm ir kurios dalis konvertuojama į antrinę bei tretinę spinduliuotę fosforuose, iš kurių bent vieną sudaro bent vienas iš šių: itrio aliuminio oksido junginys, stroncio galio sulfidas, itrio aliuminio lantano oksido junginys, itrio aliuminio lantano galio oksido junginys, stroncio sulfidas ir nitridosilikatas. Šių trijų spalvų mišinį žmogus suvokia kaip baltą šviesą, tačiau toks šviestukas nėra optimalus fotobiologiškai draugiškam gatvių apšvietimui, dėl šių priežasčių:

- optimalaus fotobiologiškai draugiško šviestuko SGS susideda iš dviejų spektrinių komponentų, o patente aprašomas iš trijų spektrinių komponentų susidedantį SGS turintis šviestukas;
- šviestuko fosforų cheminė sudėtis nėra parinkta taip, kad SGS būtų optimalus lauko apšvietimui su minimaliu cirkadinio poveikio faktoriumi.

JAV patente 6,294,800 yra atskleidžiamas fosforas, kurio cheminė sudėtis $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$ ir trispalvis konversijos fosfore šviestukas, susidedantis iš puslaidininkinio lusto, spinduliuojančio šviesą, kurios bangos ilgis yra 330–420 nm intervale, minėtojo $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$ fosforo, kuriame dalis pradinės spinduliuotės konvertuojama į žalią šviesą, $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+},\text{Bi}^{3+}$ fosforo, kuriame dalis pradinės spinduliuotės konvertuojama į raudoną šviesą ir $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$ arba $(\text{Sr},\text{Ba},\text{Ca})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$ fosforo,

kuriame dalis pradinės spinduliuotės konvertuojama mėlyną šviesą. Šių trijų spalvų mišinį žmogus suvokia kaip baltą šviesą, tačiau toks šviestukas nėra optimalus fotobiologiškai draugiškam gatvių apšvietimui, dėl šių priežasčių:

- optimalaus fotobiologiškai draugiško šviestuko SGS susideda iš dviejų spektrinių komponentų, o patente aprašomas iš trijų spektrinių komponentų susidedantį SGS turintis šviestukas;
- šviestuko fosforų cheminė sudėtis nėra parinkta taip, kad SGS būtų optimalus lauko apšvietimui su minimaliu cirkadinio poveikio faktoriumi.

AV patente 6,084,250 atskleidžiamas trispalvis konversijos fosfore šviestukas, kuris susideda iš ultravioletinėje srityje spinduliuojančio GaN šviestuko, kurio spinduliuotės smailės bangos ilgis yra tarp 300 ir 370 nm, bei mėlyno $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ fosforo, kuriame pradinė spinduliuotė konvertuojama į spinduliuotę, kurios smailė yra 430–490 nm intervale, žalio $\text{ZnS}:\text{Cu}$ fosforo, kuriame pradinė spinduliuotė konvertuojama į spinduliuotę, kurios smailė yra 520–570 nm intervale ir raudono $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ fosforo, kuriame pradinė spinduliuotė konvertuojama į spinduliuotę, kurios smailė yra 590–630 nm intervale. Šių trijų spalvų mišinį žmogus suvokia kaip baltą šviesą, tačiau toks šviestukas nėra optimalus fotobiologiškai draugiškam gatvių apšvietimui, dėl šių priežasčių:

- optimalaus fotobiologiškai draugiško šviestuko SGS susideda iš dviejų spektrinių komponentų, o patente aprašomas iš trijų spektrinių komponentų susidedantį SGS turintis šviestukas;
- šviestuko fosforų cheminė sudėtis nėra parinkta taip, kad SGS būtų optimalus lauko apšvietimui su minimaliu cirkadinio poveikio faktoriumi.

JAV patente US 5,851,063 yra aprašoma grynai elektroliuminescencinių skirtingos spalvos šviestukų matrica, kuria yra siekiama išgauti norimą šviesos šaltinio SGS). Tačiau tokios matricos reikalauja sudėtingos topologijos, reikalingos skirtingų grupių šviestukų išdėstymui. Be to, skirtingų spalvų grynai elektroliuminescenciniai šviestukai yra maitinami skirtingo stiprio srove, kas reikalauja didesnio valdymo kanalų skaičiaus bei sudėtingesnių elektronikos grandinių nei konversijos fosfore šviestukų atveju, kuomet elektroliuminescencinis darinys visuose šviestukuose yra vienodas.

Pagrindinis šio išradimo prototipas yra aprašytas JAV patente US 5,998,925. Šiame patente aprašytas šviestukas susideda iš puslaidininkinio šviesą emituojančio komponento ir

fosforo. Šiuo atveju puslaidininkinis lustas yra sudarytas iš $\text{In}_i\text{Ga}_j\text{Al}_k\text{N}$ ($0 \leq i, 0 \leq j, 0 \leq k$ ir $i + j + k = 1$), o fosforas yra granatinės struktūros medžiaga, aktyvuota ceriu, kurią sudaro bent vienas elementas iš dviejų grupių, kurias sudaro Y, Lu, Se, La, Gd, Sm ir Al, Ga, In elementai. Pusalaidininkinis lustas emituoja žadinančią šviesą 400-530 nm bangos ilgių intervale, o fosforo fotoluminescencija parenkama tokia, kad jos spektro smailės bangos ilgis būtų didesnis, negu žadinančios šviesos. Tačiau taikant tokius šviestukus lauko apšvietime nėra išvengiama šių trukumų:

- šviestuko SGS nėra optimizuotas taip, kad spinduliuojamos šviesos cirkadinio poveikio faktorius būtų minimizuotas, t.y. vakarais ar naktimis neigiamas poveikis žmogaus organizmui būtų kuo mažesnis;
- šviestuko fosforo cheminė sudėtis nėra parinkta taip, kad SGS būtų optimalus lauko apšvietimui su minimaliu cirkadinio poveikio faktoriumi.

Tam, kad būtų sumažintas nevaizdinis lauko apšvietimo poveikis ir išvengta sudėtingos konstrukcijos bei elektronikos galima naudoti mezopinei regai (kuomet vidutinis aplinkos skaistis kinta tarp 0,01 ir 10 cd/m^2) optimizuotus konversijos fosfore kietakūnius liepsnos šviesos šaltinius, kurių nevaizdinis cirkadinis poveikis yra kelis kartus mažesnis negu įprastų dienos šviesos šviestukų [A. Žukauskas, R. Vaicekuskas, P. Vitta, Optimization of solid-state lamps for photobiologically friendly mesopic lighting, Appl. Optics 51(35), p. 8423–8432 (2012)]. Minėtame šaltinyje pateikiama dvispalvio šviesos šaltinio koncepcija, kurioje yra optimizuoti šviestukų modeliniai SGS pasižymintys mažiausiu nevaizdiniu poveikiu ir didžiausiu šviesos veiksmingumu mezopinėje srityje. Tokie šaltiniai pasižymi nuosaikia spalvų atgava, kuri dėl prieblandoje sumažėjusios spalvų diskriminavimo gebos yra tinkama daugeliui lauko apšvietimo taikymų.

Išradimas atskleidžia žemos susietosios spalvinės temperatūros (liepsnos šviesos) šviestuką, kurio spektrinės galios skirstinys yra sudarytas iš mėlynos ir oranžinės komponentių. Šios komponentės turi taip parinktus smailių bangos ilgius ir spindulinių srautų santykius, kad akies tinklainės cirkadinį ritmą reguliuojančių nevaizdinių fotoreceptorių ir regimajį suvokimą sukeliančių vaizdinių fotoreceptorių žadinimo santykis būtų mažiausias. Taip yra pasiekiamas mažiausias žmogaus cirkadinio ritmo trikdymas. Spektro komponentių spindulinių srautų santykis gali būti nustatomas keičiant elektroluminescencinį darinį maitinančią srovę arba parenkant fosforo dalelių dydį ir koncentraciją, bangos ilgio keitiklio

storį, bangos ilgio keitiklio medžiagos lūžio rodiklį, atstumą tarp bangos ilgio keitiklio ir elektroliuminescencinio darinio bei bangos ilgio keitiklio padėtį šviestuko korpuse arba už šviestuko korpuso ribų.

Tokie konversijos fosfore šviestukai gali būti naudojami įvairiems lauko apšvietimo taikymams (gatvių, kiemų, pėsčiųjų ir dviračių takų, namų fasadų, paminklų, parkų, automobilių stovėjimo aikštelių bei namų kiemų apšvietimui) vakarais ir pirmoje nakties pusėje.

Išradimo esmė

Šio išradimo tikslas yra sukurti mažo nevaizdinio fotobiologinio poveikio konversijos fosfore šviestuką, kuriame dalinė mėlynos šviesos arba visiška artimosios ultravioletinės (UV) šviesos konversija bangos ilgio keitiklyje būtų naudojama tokiu būdu, kad gauta šviesa turėtų spektrinę komponentę su smaile 570–600 nm bangos ilgių ruože ir spektrinę komponentę su smaile 400–500 nm bangos ilgių ruože, o spindulinio srauto santykis būtų toks, kad šviestuko spektro spalvinės koordinatės atitiktų absoliučiai juodo kūno spinduliavimą žemų (1500 – 3000 K) SST srityje.

Išradimo tikslas yra pasiekiamas dvispalviu (mėlynai oranžiniu) šviestuku, turinčiu puslaidininkinį lustą, kuris dėka injekcinės elektroliuminescencijos ir fotoluminescencijos, dėl šio lusto spinduliuojamo fotonų srauto kelyje patalpinto keitiklio, skirto minėtos spinduliuotės konvertavimui į ilgesnių bangų spinduliuotę, generuoja trumpabangę spinduliuotę ties trumpesniu nei 500 nm bangos ilgiu, ir kuris turi vieno tipo (dalinės konversijos atveju) arba dviejų tipų (visiškos konversijos atveju) fosforo dalelių. Nauja yra tai, kad šviestukas spinduliuoja mėlynos ir oranžinės šviesos mišinį keitiklio sudėtyje esant vienam iš žemiau išvardintų oranžinių fosforų. Ši oranžinė komponentė kartu su mėlyna komponente sudaro liepsnos šviesos SGS, pasižymintį mažu nevaizdiniu cirkadiniu poveikiu žmogui. Minėtas oranžinėje spektro srityje spinduliuojantis fosforas gali būti toks kaip:

- itrio magnio aliuminio silicio granatas, aktyvuotas trivalenčio cerio jonais $\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$,
- bario stroncio silicio nitridas, aktyvuotas divalenčio europio jonais



- bario stroncio ortosilikatas, aktyvuotas divalenčio europio jonais $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$,
- kalcio – alfa silicio aliuminio oksinitridas, legiruotas divalenčio europio jonais $\text{Ca-}\alpha\text{-SiAlON}:\text{Eu}^{2+}$,
- kalcio stroncio selenidas, legiruotas divalenčio europio jonais $(\text{Ca}, \text{Sr})\text{Se}:\text{Eu}^{2+}$.

Dalinės konversijos atveju puslaidininkinis lustas generuoja mėlyną šviesą 400–500 nm spektro ruože, o keitiklis savo sudėtyje turi fosforo, kuris pasižymi šios šviesos daline konversija į ilgesnių bangų (oranžinę) šviesą. Šiuo atveju puslaidininkinis lustas turi aktyvųjį sluoksnį pagamintą iš $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ puslaidininkinio lydinio.

Visiškos konversijos atveju puslaidininkinis lustas generuoja artimąją UV spinduliuotę arba mėlyną (violetinę) šviesą, kurios bangos ilgis yra trumpesnis nei 450 nm, o keitiklis turi antrą fosforą, kuris pasižymi liuminescencija 400–500 nm spektro ruože ir gali būti oksidinis, haloooksidinis ar nitridinis junginys, aktyvuotas divalenčio europio, divalenčio mangano, divalenčio alavo, arba trivalenčio cerio jonais. Šiuo atveju puslaidininkinis lustas turi aktyvųjį sluoksnį pagamintą iš GaN puslaidininkinio junginio, arba iš $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ar $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ puslaidininkinio lydinio.

Bet kuriuo iš minėtų atvejų, kai šviestukas spinduliuoja kelias spektro komponentes, kiekvienos spektro komponentės spindulinis srautas ir smailių bangos ilgiai yra parinkti tokiu būdu, kad galutinė spinduliuojamos šviesos spektrinė sudėtis būtų tinkama fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui, tai yra kad jos spalvis atitiktų absoliučiai juodo kūno su žema temperatūra (1500 – 3000 K) spinduliavimą, o SGS pasižymėtų santykinai mažu nevaizdiniu cirkadiniu poveikiu.

Mažu nevaizdiniu cirkadiniu poveikiu pasižymi toks SGS, kurio mėlynos spektro komponentės spindulinis srautas sutinka su oranžinės spektro komponentės spinduliniu srautu nedidesniu santykiu negu 1:17, dalinės konversijos šviestuko atveju, ir nedidesniu santykiu negu 1:15, visiškos konversijos šviestuko atveju, kai SST = 2000 K, ir nedidesniu santykiu negu 1:5, dalinės konversijos šviestuko atveju, ir nedidesniu santykiu negu 1:4, visiškos konversijos šviestuko atveju, kai SST = 3000 K

Spektro komponentių spindulinio srauto santykis yra nustatomas parenkant fosforo dalelių dydį ir koncentraciją, bangos ilgio keitiklio storį, bangos ilgio keitiklio medžiagos lūžio rodiklį, atstumą tarp bangos ilgio keitiklio ir elektroluminescencinio darinio bei bangos ilgio

keitiklio padėtį šviestuko korpuse arba už šviestuko korpuso ribų.

Optimaliu mažu nevaizdiniu poveikiu pasižyminčio šviestuko atveju generuojamos šviesos spektro komponentės turi šiuos smalių bangos ilgius:

- apie 585 ± 20 nm oranžinės spektro komponentės atveju,
- apie 450 ± 20 nm mėlynos spektro komponentės atveju.

Trumpas brėžinių aprašymas:

1 pav. – fotopinė ir skotopinė spektrinio šviesinio našumo bei spektrinio cirkadinio našumo funkcijos;

2 pav. – mėlynos šviesos dalinės konversijos fosfore šviestuko (100), skirto fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui, bazinė sandara;

3 pav. – artimosios UV šviesos visiškos konversijos fosfore šviestuko (200), skirta fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui, bazinė sandara;

4 pav. – tipiniai puslaidininkinio lusto su InGaN aktyviuoju sluoksniu elektroluminescencijos spektrai: (a) mėlynas 450 nm spinduolis; (b) artimosios UV srities 365 nm spinduolis;

5 pav. – tipiniai neorganinių fosforų fotoluminescencijos spektrai: (a) oranžinis spinduolis; (b) mėlynas spinduolis;

6 pav. – konversijos fosfore liepsnos šviesos šviestukų, skirtų fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui, SGS: (a) dalinės konversijos šviestukai su oranžiniais fosforais: $\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$, $(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Ca-}\alpha\text{-SiAlON}:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Ca},\text{Sr})\text{Se}:\text{Eu}^{2+}$; (b) visiškos konversijos šviestukas su mėlynu $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$ ir oranžiniu $\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ fosforu.

Detalus išradimo aprašymas

Kuriant energiją taupančias išmaniąsias apšvietimo sistemas, lauko apšvietime vis dažniau diegiami puslaidininkiniai šviestukai. Jie yra našūs, ilgaamžiai, pasižymi lankstumu parenkant reikiamą SGS, juos galima sparčiai junginėti ir tolygiai temdyti, jiems nebūdingas staigus perdegimas, nereikalinga aukšta maitinimo įtampa, be to jie yra suderinami su

kompiuterinėmis valdymo technologijomis.

Siūlomas dvikomponentis liepsnos šviesos spalvio šviestukas pasižymi mažu nevaizdiniu cirkadiniu poveikiu, kurio SGS yra optimizuotas atsižvelgiant į šviesos veiksmingumą. Kadangi šviesos šaltinio šviesinis efektyvumas yra generuojamos šviesos veiksmingumo ir šaltinio spindulinio našumo sandauga, optimizavimas pagal šviesos veiksmingumą, kuris priklauso tik nuo SGS, yra universalus. Tuo tarpu šviestukų spindulinis našumas priklauso nuo injekcijos našumo, vidinio kvantinio našumo, šviesos ištrūkų našumo ir nuosekliosios varžos – t.y. parametrų, kurie nuolat gerėja vystantis šviestukų technologijoms [P. Mottier, LEDs for Lighting Applications, John Wiley & Sons, Inc, London, (2009)].

Fotopinės (dieninės) regos atveju šviesos veiksmingumas yra:

$$K = K_0 \times \frac{\int V(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

čia $S(\lambda)$ – šviestuko SGS, λ – bangos ilgis, $V(\lambda)$ fotopinės regos spektrinio šviesinio našumo funkcija, apibrėžta CIE 1924 m., K_0 – maksimali galima šviesos veiksmingumo vertė, kuri fotopinės regos atveju yra 683 lm/W.

Fotopinė rega pasireiškia aplinkoje, kurioje vidutinis (adaptacijos) skaitis yra didesnis nei 10 cd/m². Esant tokioms sąlygoms regos pojūtį lemia trijų rūšių akies tinklainės fotoreceptoriai – kūgeliai, taigi, fotopinė rega yra spalvinė. Kada adaptacijos skaisčio vertės neviršija 0.01 cd/m², regos pojūtį sukelia vienos rūšies fotoreceptoriai – stiebeliai, todėl, esant žemoms skaisčio vertėms yra prarandamas gebėjimas skirti spalvas. Šiuo atveju akies jautrio funkcija aprašoma skotopinės regos spektrinio šviesinio našumo funkcija $V'(\lambda)$, apibrėžta CIE 1951 m. Maksimalus galimas šviesos veiksmingumas skotopinės regos atveju yra 1700 lm/W. Spektrinės šviesinio našumo funkcijos fotopinei ir skotopinei regai yra pavaizduotos 1 pav.

Siūlomas lauko apšvietimui skirtas šviestukas yra optimizuotas tarpinei, mezopinei, regai, kai vidutinis skaitis yra srityje tarp 0.01 cd/m² ir 10 cd/m². Ši skaisčių sritis perdengia gatvių ir pėsčiųjų zonų apšvietimui naudojamą intervalą nuo 0.1 cd/m² iki 2 cd/m². Tokiu atveju, regos pojūtį lemia ir stiebeliai, ir kūgeliai, spalvos skiriamos silpniau, o mezopinė spektrinio šviesinio našumo funkcija $V_{mes}(\lambda)$ priklauso nuo aplinkos skaisčio. Mezopinės regos spektrinis jautris sudėtingai priklauso nuo adaptacijos skaisčio ir yra aprašomas įvairiais

modeliais. Čia remiamasi CIE rekomenduota MES-2 fotometrine sistema [Commission Internationale de l'Éclairage, Recommended system for mesopic photometry based on visual performance, Pub. CIE 191:2010.]. Pagal šią sistemą, mezopinės regos spektrinio šviesinio našumo funkcija išreiškiama taip:

$$V_{\text{mes}}(\lambda) = M(m)^{-1} [mV(\lambda) + (1-m)V'(\lambda)], \quad (2)$$

čia $M(m)$ – normavimo funkcija, o m – daugiklis, priklausantis nuo aplinkos skaisčio. Mezopinės regos atveju šviesos veiksmingumas apskaičiuojamas taip:

$$K_{\text{mes}} = K_{\text{mes0}} \times \frac{\int V_{\text{mes}}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) d\lambda}, \quad (3)$$

čia didžiausias galimas mezopinis šviesinis veiksmingumas K_{mes0} priklauso nuo aplinkos skaisčio ir kinta nuo 1700 lm/W iki 683 lm/W.

Už nevaizdinį cirkadinį šviesos poveikį atsakingos ganglinės ląstelės, kaip ir vaizdiniai receptoriai, turi savo spektrinį jautrį. Šis spektrinis jautris yra aprašomas cirkadinio našumo funkcija $C(\lambda)$, kuri pavaizduota 1 pav. Matyti, kad šios funkcijos smailė yra maždaug ties 460 nm, taigi cirkadinis ritmas yra labiausiai veikiamas mėlynos šviesos [D. Gall, Circadiane Lichtgrößen und deren messtechnische Ermittlung, Licht **54**, p. 1292–1297 (2002)].

Siūlomo lauko apšvietimui skirto šviestuko nevaizdinis cirkadinis poveikis, mezopinėms sąlygoms, kurios yra būdingos dirbtiniam lauko apšvietimui, įvertintas apskaičiuavus cirkadinio poveikio faktorių (CPF) a_{mes} . Šis faktorius apibūdinamas kaip spinduliuotės nevaizdinio cirkadinio veiksmingumo ir mezopinio šviesos veiksmingumo santykis:

$$a_{\text{c,mes}} = \frac{K_c}{K_{\text{mes}}} = \frac{K_{\text{c0}} \int C(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{K_{\text{mes0}} \int V_{\text{mes}}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}, \quad (4)$$

čia K_{c0} lygus 683 blm/W [A. Žukauskas, R. Vaicekauskas, P. Vitta, Optimization of solid-state lamps for photobiologically friendly mesopic lighting, Appl. Optics **51**(35), p. 8423–8432 (2012)].

CPF vertė tinka šviesos šaltinių nevaizdiniam cirkadiniam poveikiui palyginti. Vakariniame lauko apšvietimui pageidautina kuo mažesnė $a_{\text{c,mes}}$ vertė, kadangi šiuo atveju reikalingas kuo didesnis šviesos ir kuo mažesnis cirkadinis veiksmingumas. Mažiausia CPF vertė pasižymi dvispalvis šviesos šaltinis, kurio trumpabangės komponentės smailė yra ties maždaug 440–460 nm, o ilgabangės komponentės smailė – ties maždaug 570–600 nm [A. Žukauskas, R. Vaicekauskas, P. Vitta, Optimization of solid-state lamps for photobiologically friendly mesopic

lighting, Appl. Optics 51(35), p. 8423–8432 (2012)]. Siūlomo šviestuko SGS buvo optimizuojamas ieškant minimalios CPF vertės.

Siūlomas lauko apšvietimui skirtas šviestukas už įprastus lauko apšvietimo šaltinius (aukšto bei žemo slėgio natrio garų lempas) yra pranašesnis ir spalvų atgavos savybėmis. Spalvų atgavą galima įvertinti bendruoju spalvų atgavos rodikliu (SAR) R_a , kurį CIE įvedė 1965 metais, o 1995 buvo pakoreguota jo įvertinimo procedūra [Commission Internationale de l'Éclairage, Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources, Pub. CIE 13.3:1995]. Procedūroje yra naudojami 8 pagrindiniai spalviniai bandiniai; kiekvienas bandinys apšviečiamas etaloniniu ir testuojamu šviesos šaltiniais. Išnagrinėjus atspindėtos šviesos spektrus yra apskaičiuojamas spalvų skirtis, kuriuo naudojantis kiekvienam bandiniui yra randamas specialusis spalvų atgavos rodiklis. Suskaičiavus šių aštuonių specialiųjų spalvinės atgavos rodiklių vidurkį, gaunamas bendrasis SAR:

$$R_a = 100 - 4,6 \Delta E, \quad (5)$$

čia ΔE – aštuonių spalvinių bandinių spalvio poslinkio vidurkis tolygioje CIE 1964 m. spalvų erdvėje [Commission Internationale de l'Éclairage, Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources, pub. CIE 13.3:1995]. Maksimali SAR vertė yra 100, tokiu SAR pasižymi kaitinamosios ir halogeninės lemputės. Žinoma, kad mezopinio skaisčio srityje žmogaus gebėjimas skirti spalvas suprastėja [W. R. J. Brown, The influence of luminance level on visual sensitivity to color differences, J. Opt. Soc. Am. 41, p. 684–688 (1951)], taigi mezopinis SAR $R_{a,mes}$ gali būti aprašomas kiek kitaip ir priklauso nuo skaisčio [A. Žukauskas, R. Vaicekuskas, P. Vitta, Optimization of solid-state lamps for photobiologically friendly mesopic lighting, Appl. Optics 51(35), p. 8423–8432 (2012)]:

$$R_{a,mes} = 100 - 4,6 \gamma (L_{mes}) \Delta E, \quad (6)$$

čia γ – koeficientas, priklausantis nuo aplinkos skaisčio L_{mes} .

Siūlomas šviestukas (100, 200) yra sudarytas iš puslaidininkinio lusto (1, 11), dėka injekcinės elektroliuminescencijos generuojančio trumpabangę spinduliuotę ties trumpesniu nei 500 nm bangos ilgiu, kuris yra patalpintas reflektorinėje taurelėje (2, 12) ir sujungtas su išvadais (3, 13) naudojant vielutes (4, 14). Lustą (1, 11) dengia bangos ilgio keitiklis (5, 15), apgaubtas skaidriu korpusu (6, 16). Minėtas keitiklis yra skirtas minėtos trumpabangės spinduliuotės konvertavimui į ilgesnių bangų spinduliuotę dėl fotoluminescencijos tam, kad būtų gauti fotonai (10, 20, 22), kur dalinės konversijos atveju turi vieno tipo fosfóro dalelių (7),

o visiškos konversijos atveju turi dviejų tipų fosforo dalelių (17,18).

Siūlomas mėlynos šviesos dalinės konversijos fosfore šviestukas (100) turi puslaidininkinį lustą (1), spinduliuojantį mėlyną šviesą 400–500 nm spektriniame ruože, kuri yra suderinta su keitiklio (5) fosforo sugerties spektru. Tam tikra pirminio srauto dalis yra konvertuojama tinkamu fosforu (7) į oranžinę šviesą, 570–600 nm spektro ruože. Toks fosforas gali būti itrio magnio aluminio silicio granatas, aktyvuotas trivalenčio cerio jonais ($\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$), bario stroncio silicio nitridas, aktyvuotas divalenčio europio jonais ($(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$), bario stroncio ortosilikatas, aktyvuotas divalenčio europio jonais ($(\text{Ba},\text{Sr})\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$), kalcio – alfa silicio aluminio oksinitridas, legiruotas divalenčio europio jonais ($\text{Ca}-\alpha\text{-SiAlON}:\text{Eu}^{2+}$) ar kalcio stroncio selenidas, legiruotas divalenčio europio jonais ($(\text{Ca},\text{Sr})\text{Se}:\text{Eu}^{2+}$). Likusi pirminės mėlynos šviesos dalis lieka nesugerta. Mėlynai ir oranžinei spektrinėms komponentėms maišantis spindulinių srautų santykiu apie 1:17 yra gaunamas juodojo kūno spinduliavimo spalvį atitinkantis spektras, kurį žmogus suvokia kaip žemos CCT baltą arba liepsnos šviesą.

Siūlomas artimosios UV šviesos visiškos konversijos fosfore šviestukas (200) turi puslaidininkinį lustą (11), spinduliuojantį artimąją UV, violetinę arba mėlyną šviesą, kur bangos ilgis yra trumpesnis negu 450 nm. Ši šviesa yra suderinta su fosforų sugerties spektrais ir yra visiškai konvertuojama bangos ilgio keitiklyje (15). Kaip ir dalinės konversijos atveju keitiklyje (15) yra fosforo (17), konvertuojančio trumpabangę spinduliuotę į oranžinę šviesą 570–600 nm spektro ruože. Be to keitiklyje (15) yra fosforo (18), konvertuojančio trumpabangę spinduliuotę į mėlyną šviesą, 400–500 nm spektriniame ruože. Toks fosforas gali būti oksidinis, halooksidinis, ar nitridinis junginys, aktyvuotas divalenčio europio, divalenčio mangano, divalenčio alavo, arba trivalenčio cerio jonais. Pavyzdžiui, mėlyna komponentė gali būti generuojama neorganiniuose fosforuose, tokiuose kaip $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Ba}_5\text{SiO}_4\text{Cl}_6:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Mg}_3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_4:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Ca}_2\text{B}_5\text{O}_9(\text{Br},\text{Cl}):\text{Eu}^{2+}$, $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$, $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Lu},\text{Gd})_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$, $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7:\text{Sn}^{2+}$, $\text{SrSiAl}_2\text{O}_3\text{N}_2:\text{Ce}^{3+}$ ar $\text{La}_3\text{Si}_6\text{N}_{11}:\text{Ce}^{3+}$. Mėlynai ir oranžinei spektrinėms komponentėms maišantis spindulinių srautų santykiu apie 1:15 yra gaunamas juodojo kūno spinduliavimo spalvį atitinkantis spektras, kurį žmogus suvokia kaip žemos SST baltą arba liepsnos šviesą.

Konversijos fosfore šviestukas (100, 200) turi įprastos konstrukcijos puslaidininkinį lustą

(1,11), kurį sudaro p tipo sluoksnis, sujungtas su anodo išvadu ir n tipo sluoksnis, sujungtas su katodo išvadu (3, 13), kurie apvelka aktyvųjį sluoksnį. Aktyviajame sluoksnyje elektronai, injektuoti iš n tipo apvalkalinio sluoksnio, rekombinuoja su skylėmis, injektuotomis iš p tipo apvalkalinio sluoksnio.

Atskleidžiamų konversijos fosfore šviestukų (100, 200) puslaidininkinis lustas (1, 11) turi aktyvųjį sluoksnį, kuris spinduliuoja mėlyną arba artimą UV šviesą. Aktyviajame sluoksnyje yra parankiausia naudoti trečios grupės nitridų junginius, kurių bendra formulė yra $Al_yIn_xGa_{1-x-y}N$. Šios medžiagos pasižymi dideliu cheminiu ir fotocheminiu inertiškumu, lemiančių šviestukų ilgaamžiškumą. Šių puslaidininkių energinių juostų sandara (nutolę šoniniai slėniai) bei krūvininkų rekombinacijos ypatybės lemia silpną išėjimo srauto priklausomybę nuo temperatūros. Aktyviojo sluoksnio storis bei indžio ir (arba) aliuminio molinės dalys, atitinkamai x ir y , yra parinkti tokiu būdu, kad spinduliuotės juostos smailė būtų ties reikiamu bangos ilgiu.

Atskleidžiamo dalinės konversijos fosfore šviestuko (100), kuriame puslaidininkinis lustas (1) spinduliuoja 400–500 nm bangos ilgių ruože, labiausiai tinkama aktyviojo sluoksnio medžiaga yra trigubas $In_xGa_{1-x}N$ lydinys.

Atskleidžiamo visiškos konversijos fosfore šviestuko (200), kuriame puslaidininkinis lustas (11) spinduliuoja ties bangos ilgiu trumpesniu nei 450 nm, aktyvusis sluoksnis gali būti pagamintas iš trigubo $In_xGa_{1-x}N$ lydinio (bangos ilgių intervalas 370–450 nm), dvinarinio GaN junginio (bangos ilgis apie 360 nm), arba trigubo $Al_yGa_{1-y}N$ lydinio (bangos ilgiai trumpesni nei 360 nm). Taip pat visame bangos ilgių intervale galima naudoti keturgubą $Al_yIn_xGa_{1-x-y}N$ lydinį.

Tipiškai, šviestukų (100, 200) lustas (1, 11) yra montuojamas reflektoriaus taurelėje (2, 12) ir vielutėmis (4, 14) yra sujungiamas su metaliniais išvadais (3, 13), per kuriuos lustas (1, 11) yra maitinamas srove. Bangos ilgio keitiklis (5, 15), kuris yra dervos ar silikono sluoksnis, kristalinė ar keramikinė plokštelė ar plastiko liejinys turintis fosforų dalelių, yra tokiu būdu talpinamas šalia minėto puslaidininkinio lusto (1, 11), kad dalis ar visas fotonų srautas, generuojamas puslaidininkiniame luste, būtų sugertas fosforo dalelių. Keitiklis (5, 15) taip pat gali būti už šviestuko korpuso ribų, pavyzdžiui, keitiklio funkcijas gali atlikti skaidrus šviestuovo dangtelis, padengtas fosforo dalelėmis.

Bangos ilgio keitiklis (5, 15) yra sukonstruotas tokiu būdu, kad šviestukų spinduliuotės

spektro komponenčių bangos ilgiai ir spinduliniai srautai būtų labiausiai tinkamos fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui su mažu nevaizdiniu cirkadiniu poveikiu. Optimali spektro sudėtis gali skirtis pagal konkrečius pritaikymus (gatvių, stovėjimo aikštelių, pėsčiųjų bei dviračių takų, pastatų fasadų, paminklų, parkų, automobilių stovėjimo aikštelių bei namų kiemų apšvietimas) bei skaisčio reikalavimus.

Vidutiniškai optimali, mažu nevaizdiniu cirkadiniu poveikiu pasižyminčios dvispalvės, juodojo kūno spinduliavimo spalvį atitinkančios šviesos sudėtis yra tokia, kai spektrinę galios skirstinį sudaro apie 94–95% oranžinės šviesos ir apie 5–6% mėlynos šviesos, esant SST = 2000 K, ir apie 75–80% oranžinės šviesos bei apie 20–25% mėlynos šviesos, esant SST = 3000 K. Todėl yra siūloma, kad plataus pritaikymo konversijos fosfore šviestukų, kurių spinduliuotėje yra mėlyna ir oranžinė spektro komponentės, šių komponenčių spindulinių srautų santykis atitiktų šias proporcijas, t. y. dalinės konversijos fosfore šviestukų atveju atitinkamai būtų ne didesnis kaip 1:17, o visiškos konversijos fosfore šviestukų atveju atitinkamai būtų ne didesnis kaip 1:15, esant SST = 2000 K, ir, dalinės konversijos fosfore šviestukų atveju atitinkamai būtų ne didesnis kaip 1:5, o visiškos konversijos fosfore šviestukų atveju atitinkamai būtų ne didesnis kaip 1:4, esant SST = 3000 K.

Dviejų spektro komponenčių šviestukuose, skirtuose fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui, kiekvienos spektrinės komponentės spinduliniai srautai gali būti nustatomos keliais būdais. Siūlomuose šviestukuose tai yra atliekama parenkant fosforo dalelių dydį ir koncentraciją, bangos ilgio keitiklio storį, bangos ilgio keitiklio medžiagos lūžio rodiklį, atstumą tarp bangos ilgio keitiklio ir elektroluminescencinio darinio, ir bangos ilgio keitiklio padėtį šviestuko korpuse ar už jo ribų.

Optimalus fotobiologiškai draugiškas gatvių apšvietimas gali būti pasiektas, kai šviestukų spalvis atitinka juodojo kūno spinduliuotės spalvį. Spektrinės komponentės parenkamos atsižvelgiant į mezopinę spektrinio šviesinio našumo bei spektrinio cirkadinio našumo funkcijas. Mažu nevaizdiniu cirkadiniu poveikiu pasižyminčio šviestuko optimalios spektrinių komponenčių smailės yra ties maždaug 450 nm ir 585 nm. Kadangi minėtos spektrinio našumo funkcijos yra išplitusios, nurodytos optimalios bangos ilgių vertės gali skirtis ± 15 nm ribose.

Konkretūs pavyzdžiai

Kaip pavyzdys, yra pateikiamas dalinės mėlynos šviesos konversijos šviestukas (100), skirtas fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui. Šviestuke yra puslaidininkinis lustas (1), kuris generuoja mėlyną šviesą injekcinės elektroliuminescencijos dėka. Lustas yra patalpintas į reflektoriaus taurelę (2) ir sujungtas su išvadais (3) naudojant prijungtas vielutes (4). Lustą dengia bangos ilgio keitiklis (5). Lustas ir keitiklis yra įkapsuliuoti į skaidrų korpusą (6), tokį kaip plastikinį ar silikoninį liejinį. Tipiškai puslaidininkinis lustas yra sudarytas iš p tipo sluoksnio, sujungto su anodo išvadu, ir n tipo sluoksnio, sujungto su katodo išvadu, kurie apvelka aktyvųjį sluoksnį. Aktyviajame sluoksnyje elektronai, injektuoti iš n tipo apvalkalinio sluoksnio spinduliniu būdu, rekombinuoja su skylėmis, injektuotomis iš p tipo apvalkalinio sluoksnio. Tipinė aktyviojo sluoksnio medžiaga yra trigubas $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ lydinys, kai aktyviojo sluoksnio storis ir molinė indžio dalis lydinyje x yra parenkami tokiu būdu, kad spinduliuotės juosta turėtų smailę 430–470 nm spektro ruože.

Šviesa, generuojama puslaidininkiniame luste (1), praeina pro bangos ilgio keitiklį (5), kuriame yra fosforo dalelių (7). Vienu atveju, iš puslaidininkinio lusto išspinduliuoti fotonai, (8) nėra sugeriami fosforo dalelėse ir ištrūksta iš lusto į aplinką pro skaidrų korpusą. Kitu atveju, iš puslaidininkinio lusto išspinduliuoti fotonai (9) yra sugeriami fosforo dalelėse (7) ir yra konvertuojami į fotonus (10), kurių bangos ilgis atitinka spektro komponentę su smaile 570–600 nm (oranžiniame) spektro ruože. Toks šviestukas spinduliuoja dvikomponentę mėlyną-oranžinę (žemos SST baltą arba liepsnos spalvos) šviesą.

Taip pat, kaip pavyzdys yra pateikiamas visiškos artimos UV šviesos konversijos fosfore šviestukas (200), skirtas fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui. Minėtame šviestuke (200) yra puslaidininkinis lustas (11), kuris generuoja artimąją UV šviesą injekcinės elektroliuminescencijos dėka. Lustas (11) yra patalpintas į reflektoriaus taurelę (12) ir yra sujungtas su išvadais (13) naudojant prijungtas vielutes (14). Lustą dengia bangos ilgio keitiklis (15). Minėtas lustas (11) ir minėtas keitiklis (15) yra įkapsuliuoti į skaidrų korpusą (16). Tipiškai puslaidininkinis lustas yra sudarytas iš p tipo sluoksnio, sujungto su anodo išvadu, ir n tipo sluoksnio, sujungto su katodo išvadu, kurie apvelka aktyvųjį sluoksnį. Aktyviajame sluoksnyje elektronai, injektuoti iš n tipo apvalkalinio sluoksnio spinduliniu būdu, rekombinuoja su skylėmis, injektuotomis iš p tipo apvalkalinio sluoksnio. Tipinė aktyviojo sluoksnio

medžiaga yra arba GaN puslaidininkinis junginys, arba trigubas $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ar $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ lydinys, arba keturgubas $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ lydinys, kai aktyviojo sluoksnio storis ir molinė indžio dalis x ar aliuminio dalis y lydinyje yra parenkamos tokiu būdu, kad spinduliuotės juosta turėtų smailę ties bangos ilgiu, trumpesniu nei 450 nm.

Šviesa, generuojama puslaidininkiniame luste (11), praeina pro bangos ilgio keitiklį (15), kuriame yra pirmo tipo fosforo dalelių (17) ir papildomai antro tipo fosforo dalelių (18). Visi fotonai, išspinduliuoti iš puslaidininkinio lusto, yra sugeriami fosforo dalelėse. Šiu atveju dalis fotonų (19) yra sugerama pirmo tipo fosforo dalelėse (17) ir konvertuojama į fotonus (20), kurių bangos ilgis atitinka spektro komponentę su smaile 570–600 nm (oranžiniame) spektro ruože. Taip pat kita dalis fotonų (21) yra sugerama antro tipo fosforo dalelėse (18) ir konvertuojamas į fotonus (22), kurių bangos ilgis patenka į 430–470 nm (mėlyną) spektro ruožą. Toks dvispalvis šviestukas spinduliuoja mėlyną-oranžinę (žemos SST baltą arba liepsnos spalvos) šviesą.

Kaip išradimą iliustruojantis pavyzdys (4 pav.) yra pateikiami galimi puslaidininkinių lustų, kurie yra siūlomi naudoti fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui skirtuose konversijos fosfore šviestukuose, elektroliuminescencijos spektrai. Esant tiek daliai, tiek visiškai konversijai, šviestukų elektroliuminescencijos spektrai, turi būti suderinti su fosforų sugerties spektrais. Be to, esant daliai konversijai, šviestuko elektroliuminescencijos spektras turi būti suderintas su oranžiniu fosforu tam, kad visuminis spektrinės galios skirstinys atitiktų absoliučiai juodo kūno spinduliuotės spalvą.

Atitinkamai 4(a) paveiksle yra pateiktas elektroliuminescencijos spektras, atitinkantis puslaidininkinį lustą, kurio aktyvusis sluoksnis yra pagamintas iš trigubo $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ lydinio, kai aktyviojo sluoksnio storis ir indžio molinė dalis lydinyje yra parinkti tokio būdu, kad spinduliuotės juostos smailė yra ties 445 nm mėlyname spektro ruože. Toks lustas gali būti naudojamas fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui skirtame dalinės konversijos šviestuke. Atitinkamai 4(b) paveiksle yra pateiktas elektroliuminescencijos spektras, atitinkantis puslaidininkinį lustą, kurio aktyvusis sluoksnis yra pagamintas iš trigubo $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ lydinio, kai aktyviojo sluoksnio storis ir indžio molinė dalis lydinyje yra parinkti tokio būdu, kad spinduliuotės juostos smailė yra ties 380 nm artimajame UV spektro ruože. Toks lustas gali būti naudojamas fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui skirtame visiškos konversijos šviestuke.

Kaip išradimą iliustruojantis pavyzdys (5 pav.) yra pateikiami individualūs fotoluminescencijos spektrai, atitinkantys fosforus, kuriuos siūloma panaudoti fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui skirtuose konversijos fosfore šviestukuose. Atitinkamai 5(a) paveiksle yra pateikti fotoluminescencijos spektrai, atitinkantys itrio magnio aliuminio silicio granato, aktyvuoto trivalenčio cerio jonais ($\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$), bario stroncio silicio nitrido, aktyvuoto divalenčio europio jonais ($(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$), bario stroncio ortosilikato, aktyvuoto divalenčio europio jonais ($(\text{Ba},\text{Sr})\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$), kalcio – alfa silicio aliuminio oksinitrido, aktyvuoto divalenčio europio jonais ($\text{Ca}-\alpha\text{-SiAlON}:\text{Eu}^{2+}$) ar kalcio stroncio selenido, aktyvuoto divalenčio europio jonais ($(\text{Ca},\text{Sr})\text{Se}:\text{Eu}^{2+}$) fosforus, kurie sugeria mėlyną arba artimą UV šviesą ir spinduliuoja oranžinę šviesą, kurios spektro juostos smailė yra ties 570 – 600 nm. Tokie fosforai gali būti naudojami fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui skirtuose dalinės arba visiškos konversijos šviestukuose tam, kad generuotų oranžinę spektro komponentę. Atitinkamai 5(b) paveiksle yra pateiktas fotoluminescencijos spektras, atitinkantis aluminato fosforą, aktyvuotą divalenčio europio jonais ($\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$), kuris sugeria artimą UV šviesą ir spinduliuoja mėlyną šviesą, kurios spektro juostos smailė yra ties 446 nm. Toks fosforas gali būti naudojamas fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui skirtuose visiškos konversijos šviestukuose tam, kad generuotų mėlyną spektrinę komponentę.

Kaip išradimą iliustruojantis pavyzdys (6 pav.) yra pateikti siūlomų fotobiologiškai draugiškam lauko apšvietimui skirtų dalinės ir visiškos konversijos šviestukų SGS. Spektrai turi mėlyną komponentę, kurios smailė yra 430–470 nm intervale, generuojamą InGaN puslaidininkinio lusto dėl injekcinės elektroluminescencijos arba generuojamą bangos ilgio keitiklio dėl fotoluminescencijos, ir oranžinę komponentę, generuojamą dėka bangos ilgio keitiklio fotoluminescencijos. Spinduliniai srautai, atitinkantys liekamąją mėlyną šviesą ir šviesą, kurią generuoja kiekvienas fosforas, yra nustatyti parenkant fosforo dalelių koncentraciją, bangos ilgio keitiklio storį, bangos ilgio keitiklio medžiagos lūžio rodiklį, ir bangos ilgio keitiklio padėtį šviestuko korpuse ar už korpuso ribų. Atitinkamai 6(a) paveiksle yra pateikti SGS, atitinkantys liepsnos spalvį turinčią dvikomponentę šviesą, kuri yra generuojama naudojant dalinę mėlynos šviesos, kurios spektrinės komponentės smailė yra ties 445–450 nm, konversiją, oranžinę šviesą spinduliuojančiuose $\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$, $(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Ca}-\alpha\text{-SiAlON}:\text{Eu}^{2+}$ ir $(\text{Ca},\text{Sr})\text{Se}:\text{Eu}^{2+}$ fosforuose, ,

kurios spektrinės komponentės smailė dėka fotoluminescencijos yra ties 570 – 600 nm,. Atitinkamai 6(b) paveiksle yra pateiktas SGS, atitinkantis dvikomponentę liepsnos spalvos šviesą, kuri yra generuojama naudojant visišką artimosios UV šviesos konversiją $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ ir $\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ fosforuose, kurie dėl fotoluminescencijos spinduliuoja atitinkamai mėlyną šviesą, kurios spektrinės komponentės smailė yra ties 446 nm, ir oranžinę šviesą, kurios spektrinės komponentės smailė yra ties 600 nm.

Tokie liepsnos šviesos šviestukai gali būti naudojami vakariniam gatvių, pėsčiųjų ir dviračių takų, kiemų, pastatų, paminklų, parkų, automobilių stovėjimo aikštelių bei namų kiemų apšvietimui, siekiant netrikdyti žmogaus cirkadinio ritmo.

Lentelėje 1 yra pateikti fotometriniai, spalviniai ir fotobiologiniai pavyzdinių šviestukų parametrai.

Lentelė 1

Šviesos šaltinis.	SST, K	CPF, blm/lm 0,3 cd/m ²	CPF, blm/lm 2 cd/m ²	CPF norm. CIE A 2 cd/m ²	ŠV, lm/W 0,3 cd/m ²	ŠV, lm/W 2 cd/m ²	SAR _{mes} 0,3 cd/m ²	SAR _{mes} 2 cd/m ²	SAR _{tot}	η
InGaN/(Ba,Sr) ₂ Si ₅ N ₈	1704	0,075	0,068	0,185	298	329	84	69	39	0,73
InGaN/ Y ₃ Mg ₂ AlSi ₂ O ₁₂	2088	0,146	0,139	0,379	250	263	90	81	62	0,71
InGaN/ (Ca,Sr)Se	2101	0,124	0,114	0,311	404	439	78	57	16	0,77
InGaN/ Ca- α -SiAlON	2426	0,193	0,186	0,507	356	369	88	76	53	0,76
InGaN/ (Ba,Sr) ₂ SiO ₄	2542	0,214	0,208	0,567	343	353	88	77	55	0,75
Šiltai baltas šviestukas	3652	0,301	0,311	0,847	377	365	90	80	62	0,77
Šaltai baltas šviestukas	5000	0,472	0,515	1,403	394	361	91	82	65	0,82
HPS lempa	1886	0,126	0,117	0,319	319	344	77	55	12	-
CIE A standartinis šviesmuo	2856	0,345	0,367	1	170	160	100	100	100	-

Lentelėje 1 pateikti parametrai yra palyginti su prekinių šiltai ir šaltai baltų šviestukų bei CIE standartinio šviesmens A parametrais: SST – susietąja spalvine temperatūra, CPF – cirkadinio poveikio faktoriumi, ŠV – šviesos veiksmingumu, SAR – bendruoju spalvų atgavos rodikliu, SAR_{mes} – mezopiniu spalvų atgavos rodikliu ir η – ribiniu našumu, kurį lemia puslaidininkinio lusto ir fosforo spinduliuojamos šviesos bangos ilgų skirtumas (Stokso poslinkis).

Lentelėje 1 pateiktų šviestukų parametrai palyginami su plačiai taikomos aukšto slėgio natrio lempos (HPS – *high pressure sodium*) parametrais. Vertės pateikiamos laikant, kad aplinkos skaitis yra 0,3 ir 2 cd/m² (atitinkamai žemiausios klasės ME6 ir aukščiausios klasės ME1 gatvių apšvietimo standartas). Trečioje CPF skiltyje pateikiamos į CIE standartinį šviesmenį A (2856 K juodojo kūno spinduliuotę) normuotos vertės, laikant, kad aplinkos skaitis lygus 2 cd/m².

Lentelėje 1 matyti, kad šviesos šaltinių parametrai stipriai priklauso nuo pasirinkto fosforo, tačiau bendra tendencija yra tokia, kad esant didesnėms SST vertėms, didėja ir šaltinio cirkadinio poveikio faktorius. Siūlomų šviestukų SGS nusileidžia prekiniam šviestukams ir HPS lempoms šviesos veiksmingumo vertėmis, tačiau dauguma jų pasižymi mažesniu cirkadinio poveikio faktoriumi: esant 2cd/m² aplinkos skaisčiui siūlomų šviestukų CPF yra maždaug 0,1-0,25 blm/lm mažesnis už prekinių šiltai baltų šviestukų CPF, ir net 0,3-0,45 blm/lm mažesnis už prekinių šaltai baltų šviestukų CPF. Lyginant su CIE standartiniu šviesmeniu A, siūlomų šviestukų CPF, normuotas į CIE standartinio šviesmens A CPF, nėra didesnis nei 0,6. Tuo tarpu šiltai baltam šviestukui šis normuotas CPF yra apie 0,85, o šaltai baltam šviestukui, kuris atitinka pagrindinį šio patento prototipą, yra apie 1,4.

Siūlomų šviestukų spalvų atgavos savybės yra palyginamos su prekinių šviestukų ir gerokai lenkia HPS lempas. Ribinio našumo vertės prekiniam šiltai baltam ir siūlomiems šviestukams labai panašios, tačiau dėl mažesnio Stokso poslinkio, prekinis šaltai baltas šviestukas pasižymi didesniu ribiniu našumu.

Siūlomų dalinės konversijos fosfore šviestukų generuojamos šviesos spektro trumpabangė ir ilgabangė komponentės turi atitinkamai šiuos dalinių spindulinių srautų santykius:

-apie 1:21, kai naudojamas Y₃Mg₂AlSi₂O₁₂:Ce³⁺ fosforas, InGaN lusto

spinduliuojamos šveisos spektro smailės bangos ilgis yra 440 nm ir gautojo SGS SST = 2088 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,379, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:37, kai naudojamas (Ba,Sr)₂Si₅N₈:Eu²⁺ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šveisos spektro smailės bangos ilgis 443 nm ir gautojo SGS SST = 1704 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,185, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:10, kai naudojamas (Ba,Sr)₂SiO₄:Eu²⁺ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šveisos spektro smailės bangos ilgis 440 nm ir gautojo SGS SST = 2542 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,567, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:14, kai naudojamas (Ca,Sr)Se:Eu²⁺ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šveisos spektro smailės bangos ilgis 443 nm ir gautojo SGS SST = 2101 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,311, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:11, kai naudojamas Ca-α-SiAlON:Eu²⁺ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šveisos spektro smailės bangos ilgis 443 nm ir gautojo SGS SST = 2426 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,507, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui.

Siūlomų visiškos konversijos fosfore šviestukų generuojamos šveisos spektro trumpabangė ir ilgabangė komponentės turi atitinkamai šiuos dalinių spindulinių srautų santykius:

-apie 1:19, kai naudojamas Y₃Mg₂AlSi₂O₁₂:Ce³⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 2100 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,398, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:33, kai naudojamas (Ba,Sr)₂Si₅N₈:Eu²⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 1708 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,196, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:9, kai naudojamas (Ba,Sr)₂SiO₄:Eu²⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 2576 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,613, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:12, kai naudojamas (Ca,Sr)Se:Eu²⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 2114 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,338, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:10, kai naudojamas Ca-α-SiAlON:Eu²⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 2449 K,

o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,545, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Šviestukas turintis spektrinės galios skirstinį, sudarytą iš bent dviejų spektro komponentių, kurių kiekviena turi individualų spektrinės galios skirstinį ir santykinį dalinį spindulinį srautą, **b e s i s k i r i a n t i s** tuo, kad šviestuko kiekvienos komponentės spektrinės galios skirstiniai ir santykiniai daliniai spinduliniai srautai yra parinkti imant atitinkamus fosforus su savais SGS taip, kad generuojamos suminės spinduliuotės nevaizdinio cirkadinio veiksmingumo, lemiančio melatonino išsiskyrimo slopinimą žmogaus kankorėžinėje liaukoje, ir šviesinio veiksmingumo santykis būtų ne didesnis, negu 0,6 standartinio šviesmens A atitinkamo santykio, esant aplinkos skaisčiui nuo 0,01 iki 10 cd/m².
2. Šviestukas pagal 1 punktą, **b e s i s k i r i a n t i s** tuo, kad jo generuojamos šviesos susietoji spalvinė temperatūra yra tarp 1500 K ir 3000 K.
3. Šviestukas pagal 1 ir 2 punktus, spinduliuojantis šviesą dėka puslaidininkiniame luste generuojamos spinduliuotės, kurios spektro smailės bangos ilgis trumpesnis nei 500 nm, dalinės ar visiškos konversijos bangos ilgio keitiklyje, esančiame korpuso viduje arba išorėje ir turinčiame bent vienos rūšies fosforo, **b e s i s k i r i a n t i s** tuo, kad minėtas keitiklis generuoja spinduliuotę, kurios spektro smailė yra oranžinėje srityje tarp maždaug 570 nm ir 600 nm, dėka fotoluminescencijos vieno tipo fosfóre, parinktame iš grupės, susidedančios iš:
 $\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$,
 $(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$,
 $(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$,
 $(\text{Ca},\text{Sr})\text{Se}:\text{Eu}^{2+}$,
 $\text{Ca-}\alpha\text{-SiAlON}:\text{Eu}^{2+}$.
4. Šviestukas pagal 3 punktą, **b e s i s k i r i a n t i s** tuo, kad puslaidininkiniame luste, turinčiame aktyvųjį sluoksnį pagamintą iš $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ puslaidininkinio lydinio, generuojama 400–500 nm spektro ruože mėlyna šviesa keitiklyje yra dalinai konvertuojama į oranžinę šviesą.

5. Šviestukas, pagal 1, 3 ir 4 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad puslaidininkinio lusto, turinčio aktyvųjį sluoksnį pagamintą iš GaN puslaidininkinio junginio, arba iš $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ar $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ puslaidininkinio lydinio, generuojama artimoji UV spinduliuotė arba violetinė ar mėlyna šviesa, kurios bangos ilgis yra trumpesnis nei 450 nm, yra visiškai konvertuojama keitiklyje, turinčiame papildomą, 400–500 nm spektro ruože mėlyną šviesą spinduliuojantį fosforą, parinktą iš grupės, susidedančios iš: $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Ba}_5\text{SiO}_4\text{Cl}_6:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Mg}_3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_4:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$, $\text{Ca}_2\text{B}_5\text{O}_9(\text{Br},\text{Cl}):\text{Eu}^{2+}$, $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$, $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Lu},\text{Gd})_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$, $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7:\text{Sn}^{2+}$, $\text{SrSiAl}_2\text{O}_3\text{N}_2:\text{Ce}^{3+}$ ar $\text{La}_3\text{Si}_6\text{N}_{11}:\text{Ce}^{3+}$.
6. Šviestukas pagal 1, 3 ir 4 punktą, besiskiriantis tuo, kad jo generuojamos šviesos spektro trumpabangė ir ilgabangė komponentės turi atitinkamai šiuos dalinių spindulinių srautų santykius:
- apie 1:21, kai naudojamas $\text{Y}_3\text{Mg}_2\text{AlSi}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šviesos spektro smailės bangos ilgis yra 440 nm ir gautojo SGS SST = 2088 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,379, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;
 - apie 1:37, kai naudojamas $(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šviesos spektro smailės bangos ilgis 443 nm ir gautojo SGS SST = 1704 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,185, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;
 - apie 1:10, kai naudojamas $(\text{Ba},\text{Sr})_2\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šviesos spektro smailės bangos ilgis 440 nm ir gautojo SGS SST = 2542 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,567, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;
 - apie 1:14, kai naudojamas $(\text{Ca},\text{Sr})\text{Se}:\text{Eu}^{2+}$ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šviesos spektro smailės bangos ilgis 443 nm ir gautojo SGS SST = 2101 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,311, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;
 - apie 1:11, kai naudojamas $\text{Ca}-\alpha\text{-SiAlON}:\text{Eu}^{2+}$ fosforas, InGaN lusto spinduliuojamos šviesos spektro smailės bangos ilgis 443 nm ir gautojo SGS

SST = 2426 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,507, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui.

7. Šviestukas pagal 1 ir 5 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad trumpabangę šviesos spektro komponentę, kurios spektro smailė yra ties 446nm bangos ilgiu, generuoja BaMg₂Al₁₆O₂₇:Eu²⁺ fosforas, ir trumpabangę ir ilgabangę komponentės turi atitinkamai šiuos dalinių spindulinių srautų santykius:

-apie 1:19, kai naudojamas Y₃Mg₂AlSi₂O₁₂:Ce³⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 2100 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,398, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:33, kai naudojamas (Ba,Sr)₂Si₅N₈:Eu²⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 1708 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,196, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

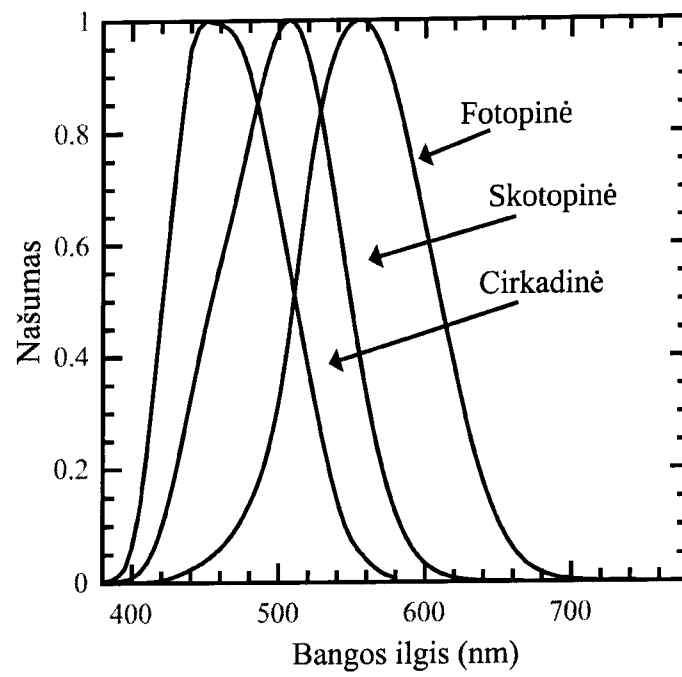
-apie 1:9, kai naudojamas (Ba,Sr)₂SiO₄:Eu²⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 2576 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,613, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

-apie 1:12, kai naudojamas (Ca,Sr)Se:Eu²⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 2114 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,338, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui;

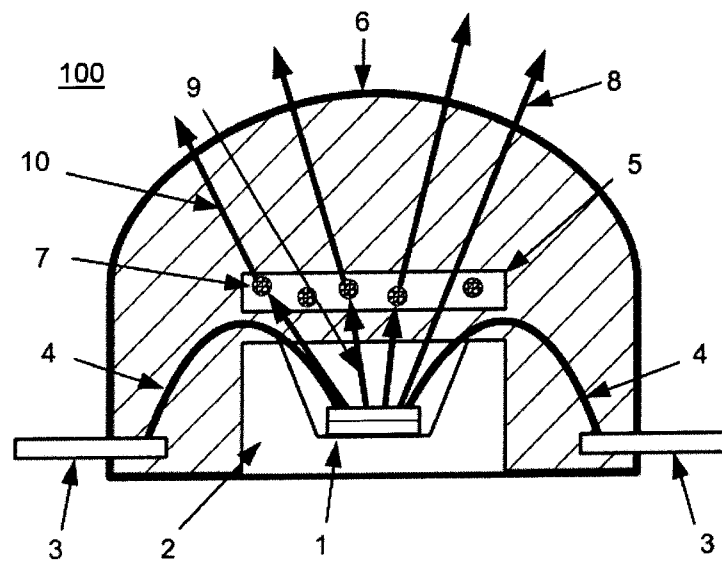
-apie 1:10, kai naudojamas Ca-α-SiAlON:Eu²⁺ fosforas, gautojo SGS SST = 2449 K, o į CIE A standartinį šviesmenį normuotas CPF = 0,545, esant 2 cd/m² aplinkos skaisčiui.

8. Šviestukas pagal bet kurį ankstesnį punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kiekvienos spektro komponentės spinduliniai srautai yra nustatomi parenkant fosforo (7;17;18) dalelių dydį ir koncentraciją, bangos ilgio keitiklio (5;15) storį, bangos ilgio keitiklio medžiagos lūžio rodiklį, atstumą tarp bangos ilgio keitiklio ir elektroliuminescencinio darinio (1;11), ir bangos ilgio keitiklio padėtį šviestuko korpuse arba už šviestuko korpuso ribų.

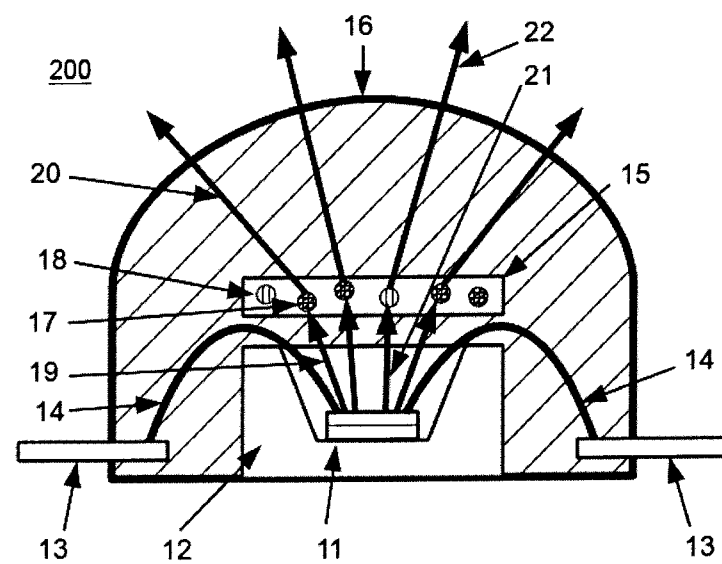
1 pav.



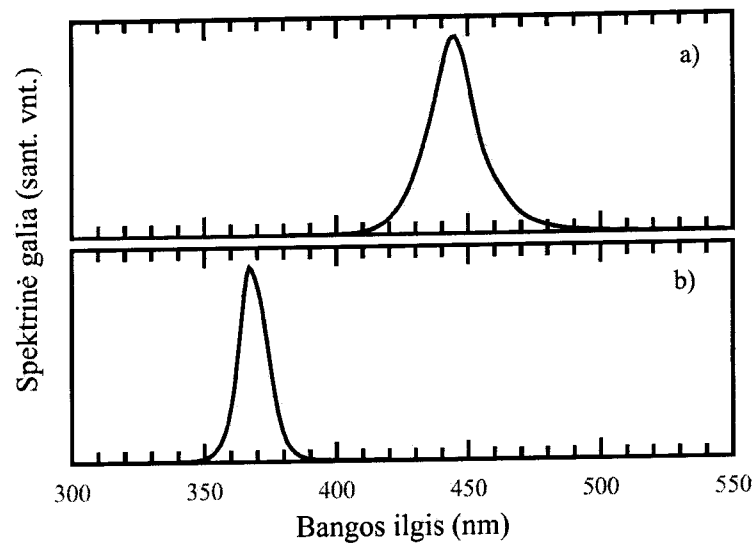
2 pav.



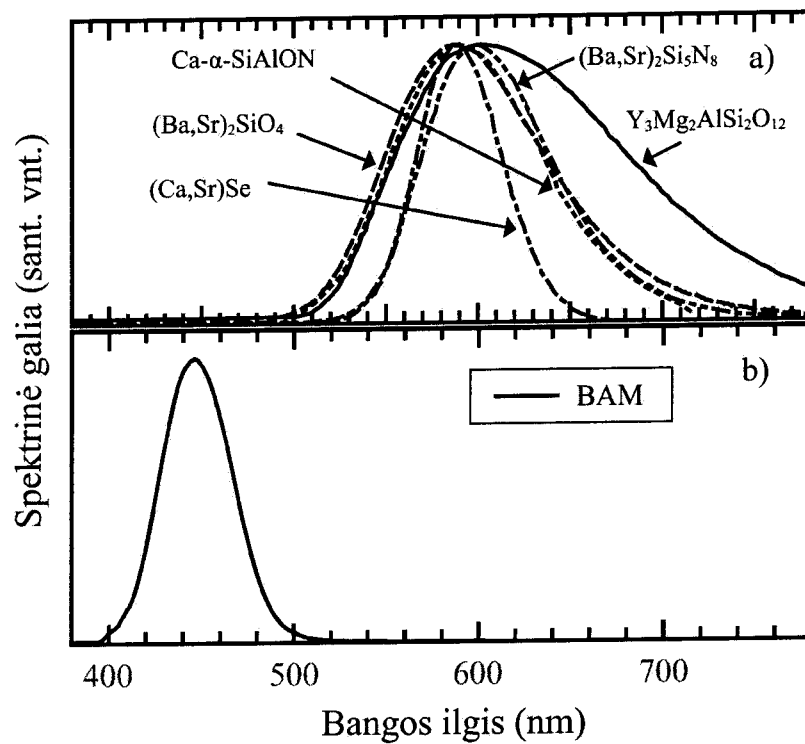
3 pav.



4 pav.



5 pav.



6 pav.

