

(19)



(10) **LT 5688 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patento numeris: **5688** (51) Int. Cl. (2006): **A01G 7/00**
A01G 9/20
(21) Paraiškos numeris: **2008 084** **H01L 33/00**
H01L 27/28
(22) Paraiškos padavimo data: **2008 11 07** **H01L 51/50**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2010 05 25**
(45) Patento paskelbimo data: **2010 09 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: —
(72) Išradėjas:
Artūras ŽUKAUSKAS, LT
Pavelas DUCHOVSKIS, LT
(73) Patento savininkas:
UAB „HORTILED“, Breslaujos g. 3, 44403 Kaunas, LT
(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Liudmila GERASIMOVIČ, IĮ „Liudmila Gerasimovič, Patentinis patikėtinis“,
Vingrių g. 13-42, LT-01141 Vilnius, LT

- (54) Pavadinimas:
Konversijos fosfore šviesos diodas, skirtas augalų fotomorfogeneziniams poreikiams tenkinti

- (57) Referatas:

Šviesos diodas (šviestukas), skirtas augalų fotomorfogeneziniams poreikiams tenkinti, turi puslaidininkinį lustą, kuris spinduliuoja trumpabangę šviesą dėl injekcinės elektroliuminescencijos, ir bangos ilgio keitiklį, kuris dėl fotoluminescencijos konvertuoja šią trumpabangę šviesą į ilgesnių bangos ilgių šviesą, kurios sudėtyje yra tolimoji raudona komponentė su spektro smaile srityje tarp maždaug 700 nm ir 760 nm, atitinkančioje augalų fotoreceptoriaus fitochromo Pfr formos optinės sugerties spektrą. Dalinės konversijos šviestuke lustas generuoja mėlyną šviesą, kurios dalis yra konvertuojama bent vienu fosforu, esančiu keitiklyje, į tolimąją raudoną šviesą. Papildomai, dalis mėlynos šviesos gali būti konvertuojama į raudoną šviesą. Visiškos konversijos šviestuke lustas generuoja artimą UV šviesą, kuri keitiklyje yra konvertuojama į tolimąją raudoną šviesą. Papildomai, dalis UV šviesos gali būti konvertuojama į kitas spektro komponentes, tokias kaip mėlyna ir (arba) raudona. Taigi, šviestukas spinduliuoja spektro komponentę (tolimąją raudoną), kuri tenkina augalų fotomorfogenezinius poreikius,

PATENTO APRAŠYMAS (12)

5

Šis išradimas yra susijęs su kietakūniais šviesos šaltiniais, kurių spinduliuotės
10 spektras tenkina specifinius augalų fotomorfogenezinius poreikius. Konkrečiau,
išradimas atskleidžia šviesos diodą, kuriame puslaidininkinio lusto generuojama šviesa
yra dalinai arba visiškai konvertuojama bangos ilgio keitiklyje, kurio sudėtyje yra
fosfóras (*angl. phosphor* - tam tikra medžiaga, kuri paverčia trumpesnio bangos ilgio
spinduliuotę į ilgesnio bangos ilgio spinduliuotę), kurio spinduliuotės spektro smailė
15 yra tolimojoje raudonojoje srityje tarp maždaug 700 nm ir 760 nm, atitinkančioje
augalų fotoreceptoriaus P_{fr} formos fitochromo sugerties spektrą.

Šis išradimas yra tiesiogiai susijęs su augalininkystei skirtu dirbtiniu apšvietimu,
kuris yra grindžiamas kietakūne technologija.

Fotofiziologinius vyksmus augaluose kontroliuoja fitopigmentai (chlorofilai,
20 karotinoidai, fitochromai, kriptochromai), kurie efektyviai naudoja fotonus tik
specifiniuose bangos ilgių ruožuose. Konkrečiai, chlorofilams reikalinga šviesa bangos
ilgių ruože nuo 620 nm iki 680 nm, karotenoidai sugeria šviesą srityje apie 450 nm,
skirtingos fitochromo formos P_r ir P_{fr} yra žadinamos šviesa su bangos ilgiais
atitinkamai ties 660 nm ir 730 nm, kriptochromai sugeria šviesą intervale tarp 340 nm
25 ir 520 nm [M. S. Mc Donald, *Photobiology of Higher Plants* (Wiley, Chichester,
2003), xiv+354 p., ISBN 0470855223]. Tuo tarpu šviesa su bangos ilgiais trumpesniais
nei 400 nm ir ilgesniais nei 800 nm gali žalingai įtakoti augalų morfogenezę. Todėl
dirbtinio augalų apšvietimo našumas gali būti padidintas, naudojant šviesos šaltinius,
kurių spektrą sudaro tik siauros juostos mėlynoje (apie 450 nm), raudonoje (apie
30 660 nm) ir tolimojoje raudonoje (apie 730 nm) spektro srityse.

Vienas iš augalų apšvietimo spektro optimizavimo būdų buvo įgyvendintas
naudojant fluorescencines lempas, kurios yra žemo slėgio gyvsidabrio garų išlydžio
lempos su fosfóro danga. Ultravioletinė (UV) šviesa (254 nm), kuri yra generuojama
išlydyje, gali būti konvertuojama fosforuose į kitus bangos ilgius tokiu pačiu būdu kaip

baltose fluorescencinėse lempose, tačiau su padidintu srautu minėtuose spektriniuose ruožuose, kurie yra svarbūs augalams [JAV patentai No 3,287,586 (1963); 3,992,646 (1976); 4,371,810 (1983); 5,525,860 (1996); 7,259,509 (2007)]. Tačiau fluorescencinės lempos turi daug trūkumų, kurie neleidžia jas plačiai naudoti augalininkystėje. Pirma, fluorescencinių lempų našumas turi fizikines ribas, kurias lemia ribotas UV šviesos generavimo žemo slėgio gyvsidabrio garų išlydyje našumas (apie 63%) ir didelis Stokso poslinkis konvertuojant UV šviesą į regimą šviesą (t.y., kai 254 nm šviesa yra konvertuojama į 450 nm, 660 nm, ar 730 nm šviesą, neišvengiamai prarandama atitinkamai virš 40%, virš 60% ir virš 65% energijos). Tai lemia, kad visuminis fluorescencinių lempų našumas augalams svarbios šviesos generavime negali viršyti 25%, o tolimojoje raudonoje srityje šis rodiklis tegali siekti 22%. Priedo, fluorescencinėse lempose yra gyvsidabrio, kuris yra pavojinga medžiaga, jų efektyvi veikimo trukmė paprastai neviršija 20 000 valandų, jos yra dužios, naudoja aukštą įtampą ir spinduliuoja nepageidaujamą infraraudoną šviesą.

Kitas augalų apšvietimo spektro optimizavimo būdas, kuriame ženkliai sumažinami pagrindiniai fluorescencinių lempų trūkumai, yra kietakūnių šviesos šaltinių – šviesos diodų (šviestukų) naudojimas. Šviestukai remiasi injekcinės elektroliuminescencijos principu, kurio našumo neriboja fizikiniai veiksniai. Todėl potencialiai šviestukai gali būti našesni nei kiti šviesos šaltiniai. Be to šviestukai yra pranašesni mechaniniu tvirtumu, mažais matmenimis, ilgaamžiškumu (iki 100 000 valandų), sparčiu persijungimu, staigiai neperdega, naudoja žemą maitinimo įtampą (2-4 V), suderinami su kompiuterinėmis elektronikos priemonėmis, spinduliuoja siaurose spektrinėse juostuose be nepageidaujamų spektrinių komponentų, neturi pavojingų medžiagų (gyvsidabrio) ir yra lankstūs montavimo į įvairios formos matricas požiūriu. Tai lemia, kad šviestukais grindžiama kietakūnio apšvietimo technologija palaipsniui skverbiasi į visas dirbtinės šviesos panaudojimo sritis, įskaitant augalininkystę [A. Žukauskas, M. S. Shur, R. Gaska, Introduction to Solid-State Lighting (Wiley, New York, 2002), xii+207 p., ISBN 0471215740].

Šviestukų spinduliuojamos šviesos spektras gali būti pritaikytas augalų fotofiziologiniams poreikiams tenkinti keliais būdais. Pirmas būdas yra tiesiogiai naudoti optoelektroninį principą (injekcinę elektroliuminescenciją), kai spinduliuojamos šviesos bangos ilgį lemia šviestuko aktyviojo sluoksnio draustinio tarpo energija, kuria galima keisti varijuojant puslaidininkinio lydinio cheminę sudėtį. Tai leidžia tiksliai suderinti siaurajuostę šviestukų spinduliuotę su fitopigmentų

sugerties spektrais. Netrukus po didelio skaisčio AlGaAs šviestukų sukūrimo, buvo pasiūlyta padidinti augalų fotosintezinį produktyvumą apšviečiant kvazimonochromine šviesa, kuri yra suderinta su chlorofilo sugerties spektru (ties 660 nm) tokiu būdu, kad būtų išvengta energijos nuostolių, būdingų trumpesnių bangų šviesos sugerčiai

5 [Bula R. J., Morrow R. C., Tibbitts T. W., Barta D. J., Ignatius R. W., Martin T. S., "Light-emitting diodes as a radiation source for plants," HortScience **26** (2), p. 203–205 (1991)]. Po to sekusiame JAV patente No 5,012,609 (1991) buvo apibrėžti trys spalvotų optoelektroninių prietaisų matricos aprėpiami spektriniai ruožai, kurie yra reikalingi augalų augimui ir morfogenezei, o būtent – 620–680 nm augalų

10 fotosinteziniams poreikiams tenkinti, 700–760 nm – fotomorfogeneziniams poreikiams ir 400–500 nm – fototropiniams ir fotomorfogeneziniams poreikiams tenkinti. Vėliau buvo pasiūlyta įvesti į šviestukines matricas, skirtas augalininkystei, ir kitų rūšių elektroluminescencijos principu veikiančius šviestukus, spinduliuojančius žalią ir UV šviesą [JAV patentas Nr. 6,725,598 (2004)], taip pat – oranžinę šviesą [JAV patentas

15 Nr. 6,921,182 (2005)] tam, kad paskatinti specifinius augalų fotofiziologinius atsakus.

Nors matricos, sudarytos iš elektroluminescencinių šviestukų spinduliuojančių ties individualiais bangos ilgiais, kuriuos lemia aktyviojo sluoksnio draustinio tarpo energija, yra labai lankstūs ir potencialiai našūs augalininkystės šviestuvai, jos turi kai kuriuos įgimtus trūkumus, kuriuos pagrindinai lemia šviestukų, pagamintų iš skirtingų

20 puslaidininkių, montavimas į vieną šviesos šaltinį. Pavyzdžiui, šviestukai, kurių aktyvusis sluoksnis yra pagamintas iš skirtingų puslaidininkių, turi skirtingas maitinimo įtampas, kurias lemia puslaidininkių draustinio tarpo energija ir nuosekloji varža. Tai sunkina bendrų visoms šviestukų grupėms maitinimo šaltinių naudojimą ir reikalauja atskirų maitinimo grandinių kiekvienam šviestukų tipui. Antra, skirtingų

25 rūšių šviestukai turi skirtingus temperatūrinius išėjimo koeficientus ir skirtingas degradavimo spartas. Tokie nevienodi šiluminiai ir senėjimo dreifai sukelia skirtingas spektrines komponentes atitinkančių dalinių fotoninių srautų kitimą sulig temperatūra ir eksploataavimo trukme. Pavyzdžiui, spinduliavimo našumas AlGaAs ir AlGaInP puslaidininkuose, kurie yra naudojami raudonuose šviestukuose, yra ribotas ir labai

30 jautrus temperatūrai dėl laidumo juostoje esančių šoninių slėnių, skirtingai nuo mėlynų InGaN šviestukų, kuriems šis trūkumas nėra būdingas. Trečia, kai kurių puslaidininkių, tokių kaip AlGaAs ir AlGaInP gamyboje yra naudojamos labai toksiškos medžiagos (arsenas As, arsinas AsH₃, fosfinas PH₃), kurios yra nepageidaujamos aplinkosaugos požiūriu.

Alternatyvus kietakūnio apšvietimo būdas yra konversijos fosfore (liuminofores) šviestukų taikymas. Konversijos fosfore šviestukuose greta elektroluminescencijos principo yra naudojamas fotoluminescencijos principas, kai puslaidininkinio lusto generuojama trumpabangė (mėlyna arba artimoji UV) spinduliuotė yra dalinai arba
5 visiškai konvertuojama į reikiamo bangos ilgio spinduliuotę, panaudojant bangos ilgio keitiklį, turintį reikiamo fosforo. Tokie šviestukai yra kietakūniai fluorescencinių lempų atitikmenys, tačiau jie pasižymi eile privalumų tiek fluorescencinių lempų, tiek grynai elektroluminescencinių šviestukų atžvilgiu. Palyginus su fluorescencinėmis lempomis, jų našumas gali būti daug didesnis, kadangi pirminio šviesos šaltinio
10 našumas juose nėra ribojamas fizikinių veiksnių ir gali siekti 100%. Be to, dėl pirminiame šaltinyje generuojamos ilgesnio bangos ilgio šviesos konversijos našumas gali būti daug didesnis. Pavyzdžiui, konvertuojant 450 nm bangos ilgio šviesą į 730 nm bangos ilgio šviesą, konversijos našumas gali siekti 62%, o konvertuojant tą pačią šviesą į 660 nm bangos ilgio šviesą, našumas gali siekti 68%. Tuo tarpu
15 palyginus su grynai elektroluminescencinių šviestukų matricomis, konversijos fosfore šviestukai leidžia išvengti temperatūrai jautrių ir riboto našumo AlGaAs ir AlGaInP šviestukų naudojimo. Kadangi konversijos fosfore šviestukai gali būti gaminami tik iš vienos rūšies puslaidininkio, tokio kaip InGaN, pagrindu, tai leidžia suvienodinti įvairių bangos ilgių šviesą spinduliuojančių šviestukų maitinimo įtampą. Be to InGaN
20 puslaidininkio gamyboje naudojamo nemetalo azoto (N) pirmtakas paprastai yra amoniakas (NH_3), kuris yra daug mažiau toksiškas, nei AlGaAs ir AlGaInP šviestukų gamyboje naudojami arseno (As) ir fosforo (P) pirmtakai. Taip pat InGaN puslaidininkio pagrindu gaminami šviestukai gali būti ilgaamžiškesni nei AlGaAs ir AlGaInP atitikmenys, kadangi jų aktyviojo sluoksnio sudėtyje nėra chemiškai
25 reaktyvaus aliuminio (Al). Galiausiai, konversijos fosfore šviestukuose galima vienu metu generuoti šviesą su keliomis siaurajuostėmis komponentėmis, naudojant tik vieno tipo puslaidininkinį lustą ir vienintelį maitinimo šaltinį.

Įprasti konversijos fosfore šviestukai, kaip ir fluorescencinės lempos, yra naudojami baltos šviesos generavimui. Baltuose dalinės konversijos fosfore
30 šviestukuose [JAV patentas Nr. 5,998,925 (1999)] dalis mėlynos šviesos, generuojamos InGaN luste, yra konvertuojama į geltoną šviesą naudojant granato tipo fosforą, kuris yra aktyvuotas trivalenčio cerio jonais. Susidaręs mėlynos ir geltonos šviesos mišinys žmogaus akies yra suvokiamas kaip balta šviesa. Baltuose visiškos konversijos fosfore šviestukuose [JAV patentas Nr. 6,084,250 (2000)] naudojamas

artimąją UV spinduliuotę generuojantis puslaidininkinis lustas ir skirtingos cheminės sudėties fosforų mišinys, kuris spinduliuoja mėlyną, žalią ir raudoną šviesą. Balti konversijos fosfore šviestukai yra plačiai naudojami skystų kristalų vaizduoklių galiniam pašvietimui, signaluose, apšvietime, matavimo technologijose. Tokie
5 šviestukai taip pat kai kada įterpiami į augalų auginimui skirtas šviestukų matrices kaip papildomų spektro komponentių (pavyzdžiui, geltonos) šaltiniai [JAV patentas Nr. 6,725,598 (2004)]

Dauguma baltų konversijos fosfore šviestukų spinduliuoja vieną ar kelias spektro komponentes, kurios yra tinkamos kai kuriems augalų fotofiziologiniams poreikiams
10 tenkinti. Pavyzdžiui, visų baltų dalinės konversijos fosfore šviestukų [pavyzdžiui, JAV patentai Nr. 5,998,925 (1999); 6,252,254 (2001); 6,501,102 (2002); 6,504,179 (2003); 6,982,045 (2006); 7,038,370 (2006)] pirminė spektro komponentė, kurią generuoja InGaN puslaidininkinis lustas, turi smailę mėlynoje srityje tarp 400 nm ir 500 nm, kuri atitinka karotenoidų ir kriptochromų optinės sugerties spektrą. Mėlynoje spektro srityje
15 taip pat spinduliuoja dauguma baltų visiškos konversijos šviestukų, kuriuose naudojami tokie fosforai kaip $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ [JAV patentas Nr. 6,084,250 (2000)], $(\text{Sr},\text{Ba},\text{Ca})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$ ir $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$ [JAV patentas Nr. 6,294,800 (2001)], $\text{La}_3\text{Si}_6\text{N}_{11}:\text{Ce}^{3+}$ ir $\text{SrSiAl}_2\text{O}_3\text{N}_2:\text{Ce}^{3+}$ [JAV patentas Nr. 6,670,748 (2003)] ir kiti. Kai kurie balti dalinės konversijos šviestukai turi bangos ilgio keitiklius, kurie spinduliuoja
20 raudonoje srityje tarp 620 nm ir 680 nm, kuri atitinka chlorofilų ir P_r formos fitochromo optinę sugertį. Tam yra naudojami, pavyzdžiui, $\text{Y}_2\text{O}_3\text{S}:\text{Eu}^{3+},\text{Bi}^{3+}$, $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+},\text{Bi}^{3+}$ ir $\text{SrY}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ [JAV patentas Nr. 6,252,254 (2001)], $\text{SrS}:\text{Eu}^{2+}$ [JAV patentas Nr. 6,501,102 (2002)], $\text{CaS}:\text{Eu}^{2+}$ ir $\text{Sr}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ [JAV patentas Nr. 7,038,370 (2006)] fosforai. Toje pačioje augalams svarbioje raudonoje spektro
25 srityje taip pat spinduliuoja daugelis baltų visiškos konversijos fosfore šviestukų. Tam yra naudojami tokie fosforai kaip $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+},\text{Bi}^{3+}$ [JAV patentas Nr. 6,294,800 (2001)], $\text{MgO}\cdot\text{MgF}_2\cdot\text{GeO}_2:\text{Eu}^{2+}$ [JAV patentas Nr. 6,621,211 (2003)], $\text{Sr}_2\text{Si}_4\text{AlON}_7:\text{Eu}^{2+}$ [JAV patentas Nr. 6,670,748 (2003)]. Pastaroji klasė oksinitridinių fosforų gali būti tiksliai suderinta su chlorofilų sugerties spektru.

30 Tačiau įprasti balti konversijos fosfore šviestukai negali visiškai patenkinti augalų fotofiziologinių poreikių, kadangi jie yra pritaikyti vizualiesiems taikymams ir stokoja spektro komponentės tolimojoje raudonoje srityje (700–760 nm), kuri yra būtina reversiniam P_{fr} formos fitochromo žadinimui. Vizualiesiems taikymams skirtuose šviestukuose tolimosios raudonos spektro komponentės yra vengiama,

kadangi ilgesnio nei 660 nm bangos ilgio raudona spinduliuotė pasižymi menku šviesiniu veiksmingumu, t.y. akies jautris šioje spektro srityje yra menkas, palyginus su 640–660 nm spektro sritimi, kurioje raudonos šviesos spalvinis suvokimas yra beveik toks pat. Tuo tarpu fitochromo reversinis žadinimas vaidina kartinį vaidmenį eilėje fotomorfogenezinių procesų, tokių kaip paros ciklo nustatymas, dygimas, stiebo aukščio bei lapų skaičiaus ir formos reguliavimas, žydėjimas, chlorofilo sintezė ir kt.

Artimiausias prototipas siūlomam konversijos fosfore šviesos diodui, skirtam augalų fotomorfogeneziniams poreikiams tenkinti yra aukščiau minėtas baltos šviesos šviestukas InGaN puslaidininkinio lusto ir trivalenčio cerio jonais aktyvuoto granato pagrindu, atskleistas aukščiau nagrinėtame JAV patente Nr. 5,998,925 (1999).

Tačiau šis šviestukas negali visiškai patenkinti augalų fotofiziologinių poreikių, kadangi jis yra pritaikytas vizualiesiems taikymams ir stokoja spektro komponentės tolimojoje raudonoje srityje (700–760 nm), kuri yra būtina reversiniam P_{fr} fitochromo žadinimui.

Šio išradimo tikslas yra sukurti konversijos fosfore šviestukus, kuriuose naudojama dalinė mėlynos šviesos arba visiška artimosios UV šviesos konversija bangos ilgio keitiklyje tokiu būdu, kad gauta šviesa turėtų spektrinę komponentę su smaile 700–760 nm bangos ilgių ruože, kuri yra būtina P_{fr} formos fitochromo sužadimui.

Išradimo tikslas yra pasiekiamas šviesos diodu (šviestuku), turinčiu korpusą, kuriame patalpintas puslaidininkinis lustas, generuojantis trumpabangę spinduliuotę ties bangos ilgiu trumpesniu nei 500 nm dėka injekcinės elektroliuminescencijos, ir šio lusto spinduliuojamo fotonų srauto kelyje patalpintu keitikliu, skirtu minėtos spinduliuotės konvertavimui į ilgesnių bangų spinduliuotę dėka fotoluminescencijos, ir turinčiu bent vieno tipo fosforo dalelių. Nauja yra tai, kad keitiklio sudėtyje yra fosforas, kurio spinduliuotės spektro smailė yra tolimojoje raudonojoje srityje tarp maždaug 700 nm ir 760 nm, atitinkančioje augalų fotoreceptoriaus fitochromo P_{fr} formos sugerties spektrą, toks kaip

- ličio aluminatas, aktyvuotas trivalentės geležies jonais,
- gadolinio ir galio oksidas, aktyvuotas trivalenčio chromo ir (arba) trivalenčio cerio jonais, arba
- kalcio sulfidas, aktyvuotas divalenčio iterbio jonais.

Dalinės konversijos atveju puslaidininkinis lustas yra generuojantis mėlyną šviesą 400–500 nm spektro ruože, kuri tenkina augalų fotomorfogenezinius ir fototropinius

poreikius ir keitiklis yra pasižymintis šios šviesos daline konversija į ilgesnių bangų šviesą.

Visiškos konversijos atveju puslaidininkinis lustas yra generuojantis artimąją UV spinduliuotę arba violetinę arba mėlyną šviesą, kurios bangos ilgis yra trumpesnis nei 500 nm ir keitiklis yra pasižymintis visiška šios optinės spinduliuotės konversija į ilgesnių bangos ilgių šviesą.

Tiek dalinės konversijos, tiek visiškos konversijos atveju keitiklis gali turėti papildomą fosforą, kuris spinduliuoja raudoną šviesą 620–680 nm spektro ruože, kuri tenkina augalų fotosintezinius ir fotomorfogenezinius poreikius, tokį kaip oksidinis, halooksidinis, chalkogenidinis, arba nitridinis junginys aktyvuotas divalenčio ar keturvalenčio mangano, divalenčio ar trivalenčio europio, trivalenčio bismuto, arba divalenčio alavo jonais.

Visiškos konversijos atveju keitiklis gali turėti papildomą fosforą, kuris spinduliuoja mėlyną šviesą 400–500 nm spektro ruože, kuri tenkina augalų fotomorfogenezinius ir fototropinius poreikius, tokį kaip oksidinis, halooksidinis ar nitridinis junginys, aktyvuotas divalenčio europio, divalenčio mangano, divalenčio alavo, arba trivalenčio cerio jonais.

Dalinės konversijos atveju bangos ilgio keitiklis turi arba tik vieną fosforą, kuris dalinai konvertuoja mėlyną šviesą į tolimąją raudoną šviesą, arba kelis fosforus, kurie dalinai konvertuoja mėlyną šviesą į tolimąją raudoną šviesą ir raudoną šviesą.

Visiškos konversijos atveju, kai puslaidininkinis lustas generuoja artimąją UV spinduliuotę, bangos ilgio keitiklis turi arba tik vieną fosforą, kuris visiškai konvertuoja artimąją UV spinduliuotę į tolimąją raudoną šviesą, arba kelis fosforus, kurie visiškai konvertuoja artimąją UV spinduliuotę tik į tolimąją raudoną šviesą ir raudoną šviesą, arba tik į tolimąją raudoną šviesą ir mėlyną šviesą arba į tolimąją raudoną šviesą, raudoną šviesą ir mėlyną šviesą.

Visiškos konversijos atveju, kai puslaidininkinis lustas generuoja mėlyną šviesą, bangos ilgio keitiklis turi arba tik vieną fosforą, kuris visiškai konvertuoja mėlyną šviesą į tolimąją raudoną šviesą, arba kelis fosforus, kurie visiškai konvertuoja mėlyną šviesą į tolimąją raudoną šviesą ir raudoną šviesą.

Dalinės konversijos atveju puslaidininkinis lustas yra spinduliuojantis mėlyną šviesą 400–500 nm spektro ruože ir turintis aktyvųjį sluoksnį pagamintą iš $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ puslaidininkinio lydinio.

Visiškos konversijos atveju puslaidininkinis lustas yra spinduliuojantis ties bangos ilgiu trumpesniu nei 500 nm ir turintis 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.

- 5 Bet kuriuo iš minėtų atvejų, kai šviestukas spinduliuoja kelias spektro komponentes, kiekvienos spektro komponentės daliniai fotonų srautai ir smailių bangos ilgiai yra parinkti tokiu būdu, kad galutinė spinduliuojamos šviesos spektrinė sudėtis būtų tinkama tam, kad veikiami vien šios šviesos arba šios šviesos kartu su kitų šaltinių spinduliuote geriausiai augtų ir vystytųsi konkretūs šiltnaminiai augalai, tokie
- 10 kaip salotos, agurkai, pomidorai, ridikėliai, morkos, svogūnai, kalafiorai, brokoliai, žalieji žirneliai, kviečių ar miežių želmenys ir t.t.

Generuojamos šviesos spektro komponentės turi šiuos dalinius fotonų srautus:

- apie 1:4, kai šviestukas spinduliuoja tik atitinkamai tolimąją raudoną ir mėlyną šviesą,
- 15 apie 1:15, kai šviestukas spinduliuoja tik atitinkamai tolimąją raudoną ir raudoną šviesą,
- apie 1:15:4, kai šviestukas spinduliuoja atitinkamai tolimąją raudoną, raudoną ir mėlyną šviesą.

- Kiekvienos spektro komponentės daliniai fotonų srautai yra nustatomi parenkant
- 20 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 arba už šviestuko korpuso ribų.

- Optimaliu atveju generuojamos šviesos spektro komponentės turi šiuos smailių
- 25 bangos ilgius:

apie 730 ± 20 nm tolimosios raudonos spektro komponentės atveju,
apie 660 ± 20 nm raudonos spektro komponentės atveju,
apie 450 ± 20 nm mėlynos spektro komponentės atveju.

- Be to, bangos ilgio keitiklis gali turėti papildomą fosforą, kuris spinduliuoja
- 30 geltonoje, geltonai žalioje, žalioje ar žaliai mėlynoje srityje tokiu būdu, kad šviestuko generuojama šviesa žmogaus regos yra suvokiama kaip tam tikro spalvio šviesa, pavyzdžiui, kaip balta šviesa su nustatyta koreliuotąja spalvine temperatūra.

Siūlomo išradimo privalumai yra išdėstyti žemiau, po detalaus išradimo išaiškinimo.

Išradimas yra paaiškintas brėžiniais, kuriuose atvaizduota:

Fig.1 - mėlynos šviesos dalinės konversijos fosfore šviestuko, skirto augalininkystei, bazinė sandara.

Fig.2 - artimosios UV šviesos visiškos konversijos fosfore šviestuko, skirto
5 augalininkystei, bazinė sandara.

Fig.3 - tipiniai puslaidininkinio lusto su InGaN aktyviuoju sluoksniu elektroliuminescencijos spektrai: (a) mėlynas spinduolis; (b) artimosios UV srities spinduolis.

Fig.4 - tipiniai neorganinių fosforų fotoluminescencijos spektrai: (a)
10 tolimosios raudonosios srities spinduolis; (b) raudonas spinduolis; (c) mėlynas spinduolis.

Fig.5 - dalinės konversijos fosfore šviestukų, skirtų augalininkystei, spinduliuotės spektrai: (a) mėlynas-tolimosios raudonos srities šviestukas; (b) mėlynas-raudonas-tolimosios raudonos srities šviestukas.

Fig.6 - visiškos konversijos fosfore šviestukų, skirtų augalininkystei,
15 spinduliuotės spektrai: (a) tolimosios raudonos srities šviestukas; (b) mėlynas-tolimosios raudonos srities šviestukas; (c) raudonas-tolimosios raudonos srities šviestukas; (d) mėlynas-raudonas-tolimosios raudonos srities šviestukas.

Siūlomas šviestukas susideda iš puslaidininkinio lusto 1; 14 (Fig.1; Fig. 2),
20 generuojančio trumpabangę spinduliuotę ties bangos ilgiu trumpesniu nei 500 nm dėka injekcinės elektroliuminescencijos, patalpinto reflektorinėje taurelėje 2;15 ir sujungto su išvadais 3; 16 vielutėmis 4; 17. Lustą 1; 14 dengia bangos ilgio keitiklis 5; 18, apgaubtas skaidriu korpusu 6; 19. Minėtas keitiklis yra skirtas minėtos spinduliuotės konvertavimui į ilgesnių bangų spinduliuotę dėl fotoluminescencijos, ir turi bent vieno
25 tipo fosforo (liuminofo) dalelių 7;21, o taip pat gali turėti papildomų fosforų dalelių 8, 24, 27. Fotonai pavaizduoti pozicijose 9. 10, 11, 12, 13; 20, 22, 23, 25, 26, 28.

Mėlynos šviesos dalinės konversijos fosfore šviestukas turi puslaidininkinį lustą 1 (Fig. 1), spinduliuojantį mėlyną šviesą 400–500 nm spektriniame ruože, kuri tenkina fotomorfogenezinius ir fototropinius augalų poreikius. Ši mėlyna šviesa taip pat yra
30 suderinta su keitiklio 5 fosforų sugerties spektrais. Tam tikra pirminio srauto dalis yra konvertuojama tinkamais fosforais 7 į tolimąją raudoną šviesą 700–760 nm spektro ruože, kuri atitinka augalų fotoreceptorius fitochromo P_{fr} formos sugerties spektrą. Tuo tarpu likusi dalis pirminės mėlynos šviesos, tenkinančios augalų fototropinius ir fotomorfogenezinius poreikius, lieka nesugerta.

Artimosios UV šviesos visiškos konversijos fosfore šviestukas turi puslaidininkinį lustą 14 (Fig. 1), spinduliuojantį artimąją UV, violetinę arba mėlyną šviesą su bangos ilgiais trumpesniais nei 500 nm. Ši šviesa yra suderinta su fosforų sugerties spektrais ir yra visiškai konvertuojama bangos ilgio keitiklyje 18. Keitiklyje 18 yra fosforo 21, konvertuojančio trumpabangę spinduliuotę į tolimąją raudoną šviesą 700–760 nm spektro ruože, kuri atitinka augalų fotoreceptoriaus fitochromo P_{fr} formos sugerties spektrą.

Be fosforų, spinduliuojančių tolimojoje raudonoje srityje, tokių šviestukų bangos ilgio keitiklis gali turėti papildomų fosforų 8;24;27, kurie spinduliuoja kituose augalų augimui ir vystymuisi svarbiuose spektro ruožuose. Augalininkystei skirtuose konversijos fosfore šviestukuose galima taikyti daugybę prieinamų fosforų [Inorganic Phosphors. Compositions. Preparation and Optical Properties, edited by W. M. Yen and M. J. Weber (CRC Press, Boca Raton, 2004), 475 p., ISBN 0849319498; R. Mueller-Mach, G. Mueller, M. R. Krames, H. A. Höpfe, F. Stadler, W. Schnick, T. Juestel, and P. Schmidt, Phys. Status Solidi A, 202 (9), pp. 1727–1732 (2005); JAV patentai Nr. 6,084,250 (2000), 6,252,254 (2001), Nr. 6,294,800 (2001), Nr. 6,501,102 (2002), Nr. 6,621,211 (2003), Nr. 6,670,748 (2003), Nr. 7,038,370 (2006)]. Fosforų spektrinių smailių padėtis ir juostų plotis yra suderinami su fitopigmentų sugerties spektrais, parenkant pagrindinio kristalo cheminę sudėtį ir aktyvatoriaus jonų rūšį.

Visiškos arba dalinės konversijos fosfore šviestuko keitiklyje 5;18 gali būti papildomo fosforo 8;24, kuris sugeria dalį trumpesnės nei 500 nm bangos ilgio spinduliuotės ir spinduliuoja raudoną šviesą 620–680 nm spektro ruože, kuri tenkina fotosintezinius ir fotomorfogenezinius augalų poreikius. Toks fosforas gali būti oksidinis, haloooksidinis, chalkogenidinis, arba nitridinis junginys aktyvuotas divalenčio ar keturvalenčio mangano, divalenčio ar trivalenčio europio, trivalenčio bismuto arba divalenčio alavo jonais. Pavyzdžiui, papildoma raudona komponentė gali būti generuojama neorganiniuose fosforuose, tokiuose kaip $Mg_2SiO_4:Mn^{2+}$, $Mg_4(F)GeO_6:Mn^{2+}$, $(Mg,Zn)_3(PO)_4:Mn^{2+}$, $Y_3Al_5O_{12}:Mn^{4+}$, $(Ca,Sr,Ba)_2Si_5N_8:Eu^{2+}$, $Sr_2Si_4AlON_7:Eu^{2+}$, $MgO-MgF_2-GeO_2:Eu^{2+}$, $Y_2O_2S:Eu^{3+},Bi^{3+}$, $YVO_4:Eu^{3+},Bi^{3+}$, $Y_2O_3:Eu^{3+},Bi^{3+}$, $SrY_2S_4:Eu^{2+}$, $SrS:Eu^{2+}$ ar $MgSr_5(PO)_4:Sn^{2+}$.

Visiškos konversijos fosfore šviestuko keitiklyje 18 gali būti papildomo fosforo 27, kuris sugeria dalį trumpesnės nei 430 nm bangos ilgio spinduliuotės ir spinduliuoja mėlyną šviesą 400–500 nm spektro ruože, kuri tenkina fotomorfogenezinius ir fototropinius augalų poreikius. Toks fosforas gali būti oksidinis, haloooksidinis, ar

nitridinis junginys, aktyvuotas divalenčio europio, divalenčio mangano, divalenčio alavo, arba trivalenčio cerio jonais. Pavyzdžiui, papildoma mėlyna komponentė gali būti generuojama neorganiniuose fosforuose, tokiuose kaip $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6\text{:Eu}^{2+}$, $\text{Ba}_5\text{SiO}_4\text{Cl}_6\text{:Eu}^{2+}$, $\text{Mg}_3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_4\text{:Eu}^{2+}$, $(\text{Ca,Sr,Ba})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl:E}^{2+}$,
 5 $\text{Ca}_2\text{B}_5\text{O}_9(\text{Br,Cl})\text{:Eu}^{2+}$, $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}\text{:Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$, $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}\text{:Eu}^{2+}$, $(\text{Lu,Gd})_2\text{SiO}_5\text{:Ce}^{3+}$, $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7\text{:Sn}^{2+}$, $\text{SrSiAl}_2\text{O}_3\text{N}_2\text{:Ce}^{3+}$, ar $\text{La}_3\text{Si}_6\text{N}_{11}\text{:Ce}^{3+}$.

Dalinės konversijos fosfore šviestukų spinduliuojamos šviesos spektras gali turėti arba dvi komponentes (mėlyną ir tolimąją raudoną) arba visas tris komponentes (mėlyną, raudoną ir tolimąją raudoną).

10 Visiškos konversijos fosfore šviestukų, kuriuose puslaidininkinis lustas 14 generuoja trumpesnio nei 430 nm bangos ilgio spinduliuotę, spinduliuojamos šviesos spektras gali turėti arba vieną komponentę (tolimąją raudoną) arba dvi komponentes (mėlyną ir tolimąją raudoną arba raudoną ir tolimąją raudoną) arba visas tris komponentes (mėlyną, raudoną ir tolimąją raudoną).

15 Visiškos konversijos fosfore šviestukų, kuriuose puslaidininkinis lustas 14 generuoja 430–500 nm bangos ilgio spinduliuotę, spinduliuojamos šviesos spektras turėti arba vieną komponentę (tolimąją raudoną) arba dvi komponentes (raudoną ir tolimąją raudoną).

Konversijos fosfore šviestukas turi įprastos konstrukcijos puslaidininkinį lustą 20 1;14, kurį sudaro p tipo sluoksnis, sujungtas su anodo išvadu ir n tipo sluoksnis, sujungtas su katodo išvadu 3;16, 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 puslaidininkinis lustas 1;14 turi 25 aktyvųjį sluoksnį, kuris spinduliuoja mėlyną arba artimą UV šviesą. Aktyviajame sluoksnyje yra parankiausia naudoti trečios grupės nitridų junginius, kurių bendra formulė yra $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$. Šios medžiagos pasižymi dideliu cheminiu ir fotocheminiu inertiškumu, lemiančių šviestukų ilgaamžiškumą. Šių puslaidininkinių energinių juostų sandara (nutolę šoniniai slėniai) bei krūvininkų rekombinacijos 30 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.

Dalinės konversijos fosfore šviestukuose, kuriuose puslaidininkinis lustas 1 spinduliuoja 400–500 nm bangos ilgių ruože, labiausiai tinkama aktyviojo sluoksnio medžiaga yra trigubas $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ lydinys.

Visiškos konversijos fosfore šviestukuose, kuriuose puslaidininkinis lustas 14 spinduliuoja ties bangos ilgiu trumpesniu nei 500 nm, aktyvusis sluoksnis gali būti pagamintas iš trigubo $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ lydinio (bangos ilgių intervalas 370–500 nm), dvinario GaN junginio (bangos ilgis apie 360 nm), arba trigubo $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ lydinio (bangos ilgiai trumpesni nei 360 nm). Taip pat visame bangos ilgių intervale galima naudoti keturgubą $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ lydinį.

Tipiškai lustas 1, 14 yra montuojamas reflektoriaus taurelėje 2; 15 ir vielutėmis 4; 17 sujungiamas su metaliniais išvadais 3; 16, per kuriuos lustas 1; 14 yra maitinamas srove. Bangos ilgio keitiklis 5; 18, kuris yra dervos sluoksnis, kristalinė ar keramikinė plokštelė ar plastiko liejinys turintis fosforų dalelių, yra talpinamas šalia puslaidininkinio lusto 1; 14 tokiu būdu, kad dalis ar visas fotonų srautas generuojamas puslaidininkiniame luste būtų sugertas fosforų dalelių. Keitiklis 5; 18 taip pat gali būti už šviestuko korpuso ribų, pavyzdžiui, keitiklio funkcijas gali atlikti skaidrus šviestuvo dangtelis, padengtas fosforo dalelėmis.

Bangos ilgio keitiklis 5; 18 yra sukonstruotas tokiu būdu, kad šviestukų spinduliuotės spektro komponentių bangos ilgiai, o taip pat, kai spinduliuojamos kelios spektro komponentės, kiekvienos spektrinės komponentės daliniai fotonų srautai būtų labiausiai tinkami augalininkystei. Augalai gali būti veikiami vien siūlomų šviestukų generuojamos šviesos arba šios šviesos kartu su kitų šaltinių spinduliuote. Įvairūs šiltnaminiai augalai, tokie kaip salotos, agurkai, pomidorai, ridikėliai, morkos, svogūnai, kalafiorai, brokoliai, žalieji žirneliai, kviečių ar miežių želmenys ir t.t. pasižymi fotosintezės ir morfogenezės ypatumais ir skirtinga atskirų augalo organų (stiebų, lapų, šaknų, šakniavaisių, žiedų, vaisių) vystimosi sparta, todėl jie gali turėti individualius poreikius šviesos spektro sudėčiai. Be to optimali šviesos spektro sudėtis gali skirtis įvairiuose augalo vystimosi tarpsniuose.

Žiūrint koks komponentių skaičius ir jų spektro sritis, siūlomi šviestukai gali būti naudojami įvairiose augalų apšvietimo sistemose. Pavyzdžiui, vienkomponentiai tolimosios raudonos srities šviestukai su visiška konversija fosfore gali būti naudojami vietoje to paties bangos ilgio AlGaAs šviestukų augalų auginimui skirtose šviestukų matricose, kombinuojant juos su raudonais ir mėlynais šviestukais. Dvikomponentiai dalinės ar visiškos konversijos šviestukai, spinduliuojantys tolimojoje raudonoje ir

mėlynoje spektro srityse gali būti naudojami augalų auginimui, kombinuojant juos matricose su raudonais šviestukais arba aukšto slėgio natrio lempomis. Dvikomponenčiai visiškos konversijos šviestukai, spinduliuojantys tolimojoje raudonoje ir raudonoje spektro srityse, gali būti naudojami augalų auginimo įrenginiuose, kurie yra pritaikyti tik fotosintezinių ir (arba) fitochromo valdomų fotomorfogenezinių poreikių tenkinimui, arba kombinuojant juos su mėlynais šviestukais. Galiausiai, trikomponenčiai visiškos konversijos fosfore šviestukai, kurie spinduliuoja visose trijose augalų augimui ir vystimuisi svarbiose spektro srityse (tolimojoje raudonoje, raudonoje ir mėlynoje) gali būti naudojami šviestuvuose, skirtuose universaliam augalų kultivavimui, kuriame tenkinami visi fotofiziologiniai poreikiai.

Vidutiniškai optimali augalų poreikius tenkinančios šviesos sudėtis yra tokia, kai visuminiame fotonų sraute yra apie 75% raudonos šviesos, apie 20% mėlynos šviesos ir apie 5% tolimosios raudonos šviesos. Todėl siūloma, kad plataus pritaikymo konversijos fosfore šviestukų, kurių spinduliuotėje yra kelios spektro komponentės, kiekvienos komponentės dalinių srautų santykis atitiktų šias proporcijas. Pavyzdžiui, šviestukams, kurie spinduliuoja tik tolimąją raudoną ir mėlyną šviesą, atitinkamų dalinių srautų santykis būtų 1:4. Šviestukams, kurie spinduliuoja tik tolimąją raudoną ir raudoną šviesą, atitinkamų dalinių srautų santykis būtų 1:15. Trijų komponentių šviestukams, kurie spinduliuoja tolimąją raudoną, raudoną ir mėlyną šviesą, atitinkamų dalinių srautų santykis būtų 1:15:4.

Dviejų ir trijų spektro komponentių šviestukuose, skirtuose augalininkystei, kiekvienos spektrinės komponentės daliniai srautai gali būti nustatomi 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 elektroliuminescencinio darinio ir bangos ilgio keitiklio padėtį šviestuko korpuse ar už jo ribų.

Optimalus augalų apšvietimo spektras gali būti pasiektas, kai šviestukų spektro komponentės yra tiksliai suderintos su fitopigmentų optinės sugerties spektrais. Šiuo atveju siūlomų šviestukų spinduliuotės tolimosios raudonos spektro komponentės smailė turi būti suderinta su P_{fr} formos fitochromo sugerties spektru ir atitikti maždaug 730 nm. Papildomos raudonos spektro komponentės smailė turi būti suderinta su chlorofilų sugerties spektru ir atitikti maždaug 660 nm. Papildomos mėlynos komponentės smailė turi būti suderinta su karotinoidų ir kriptochromų sugerties

spektrais ir atitikti maždaug 450 nm. Kadangi fitopigmentų sugerties spektro juostos yra išplitę, nurodytos optimalios bangos ilgių vertės gali skirtis ± 20 nm ribose.

Anksčiau pasiūlytų šviestukų vizualiai suvokiama spalva yra raudona (vienkomponenčio tolimosios raudonos srities ir dvikomponenčio raudono-tolimosios raudonos srities šviestukų atveju) arba purpurinė (dvikomponenčio mėlyno-tolimosios raudonos srities ir trikomponenčio raudono-mėlyno-tolimosios raudonos srities šviestukų atveju). Stipri tokios spalvos šviesa gali sukelti regimąjį diskomfortą ir spalvinės regos sutrikimus šiltadaržių darbuotojams, o taip pat šalia šiltadaržių gyvenantiems žmonėms. Todėl be minėtų trijų spektro komponentių (tolimosios raudonos, raudonos ir mėlynos) šviestukų yra siūlomi šviestukai papildomai spinduliuojantys kitose spektro srityse. Pavyzdžiui, jų keitiklis gali turėti papildomą fosforą (neparodytas Fig. 1 ir Fig. 2), kuris spinduliuoja geltonoje, geltonai žalioje, žalioje ar žaliai mėlynoje srityje. Parinkus tokios papildomos spinduliuotės dalinį srautą, tokie šviestukai gali spinduliuoti šviesą, kuri žmogaus regos yra suvokiama kaip tam tikro kito spalvio šviesa, pavyzdžiui, kaip balta šviesa su nustatyta koreliuotąja spalvine temperatūra.

Atskleidžiami augalininkystei skirti konversijos fosfore šviestukai yra pranašesni pagrindinio prototipo [JAV patentas No 5,998,925 (1999)] ir kitų baltų šviestukų [JAV patentai No 6,084,250 (2000); 6,294,800 (2001); 6,501,102 (2002); 6,504,179 (2003) ir kt.], atžvilgiu tuo, kad jie generuoja spektro komponentę su smaile tolimojoje raudonoje srityje, kuri yra būtina P_{fr} formos fitochromo žadinimui.

Siūlomi konversijos fosfore šviestukai, skirti augalininkystei, taip pat turi eilę pranašumų palyginus su žinomais šviesos šaltiniais, kurių spinduliuotės spektras yra optimizuotas augalų fotofiziologiniams poreikiams tenkinti.

Atskleidžiami augalininkystei skirti konversijos fosfore šviestukai yra pranašesni ankstesnių analogų, susijusių su augalininkystei skirtomis fluorescencinėmis lempomis [JAV patentai Nr. 3,287,586 (1963); 3,992,646 (1976); 4,371,810 (1983); 5,525,860 (1996); 7,259,509 (2007)], atžvilgiu potencialiai didesniu našumu. Pavyzdžiui, mėlynai šviestukai, turintys 70% spindulinį našumą, yra technologiškai įmanomi [J. M. Phillips, M. E. Coltrin, M. H. Crawford, A. J. Fischer, M. R. Krames, R. Mueller-Mach, G. O. Mueller, Y. Ohno, L. E. S. Rohwer, J. A. Simmons, and J. Y. Tsao, *Laser & Photon. Rev* 1 (4), pp. 307-333 (2007)]. Turint omenyje, kad konvertuojant mėlyną (450 nm) šviesą į tolimąją raudoną (730 nm) šviesą, Stokso poslinkis yra daug mažesnis, visuminis tolimosios raudonos šviesos generavimo

našumas atitinkamame šviestuke su konversija fosfore gali siekti 43%, t.y. beveik du kartus daugiau nei teorinė našumo riba fluorescencinėse lempose (22%). Atitinkamai didesnis yra papildomų mėlynos ir raudonos spektro komponentių generavimo našumas. Kiti konversijos fosfore šviestukų pranašumai fluorescencinių lempų atžvilgiu yra mechaninis tvirtumas, maži matmenys, ilgaamžiškumas (iki to 5 100 000 valandų), spartus persijungimas, staigus perdegimo nebuvimas, žema maitinimo įtampa (2–4 V), suderinamumas su kompiuterinėmis elektronikos priemonėmis, siaurajuostė spinduliuotė be nepageidaujamų spektrinių komponentių, pavojingų medžiagų (gyvsidabrio) neturėjimas ir lankstumas montavimo į skirtingos 10 formos matricas atžvilgiu.

Atskleidžiami augalininkystei skirti konversijos fosfore šviestukai taip pat yra pranašesni grynai elektroliuminescencinių šviestukų matricų [JAV patentas Nr. 5,012,609 (1991)] atžvilgiu. Kai tolimoji raudona spektrinė komponentė yra generuojama vienkomponentčiame visiškos konversijos fosfore šviestuke, pranašumą 15 teikia jame naudojamas InGaN puslaidininkio lustas, kuris lyginat su iki šiol naudojamu AlGaAs puslaidininkiu pasižymi didesniu spinduliniu našumu, didesniu išėjimo srauto temperatūriniu stabilumu ir didesniu atsparumu korozijai. Kai tolimoji raudona spektrinė komponentė yra generuojama daugiakomponentčiame dalinės ar visiškos konversijos fosfore šviestuke, be minėto pranašumo galima naudoti mažesnio 20 kanalų skaičiaus maitinimo elektronines priemones. Kai konversijos fosfore šviestukas spinduliuoja visose trijose augalų augimui ir vystymuisi svarbiose spektro srityse, be minėtų pranašumų galima tolygiau paskirstyti skirtingų spektrinių komponentių, turinčių nustatytus dalinius srautus, apšvietą po augalus, išvengiant sudėtingų topologijų, reikalingų skirtingų grupių šviestukų išdėstymui, ir išvengiant maitinimo 25 srovių nustatymo skirtingų grupių šviestukams.

Fig. 1 vaizduoja mėlynos šviesos dalinės konversijos šviestuko, skirto augalininkystei, bazinę sandarą. 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 30 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 lydynyje x yra parenkami tokiu būdu, kad spinduliuotės juosta turėtų smailę 400–500 nm spektro ruože.

5 Šviesa, generuojama puslaidininkiniame luste 1, praeina pro bangos ilgio keitiklį 5, kuriame yra pirmo tipo fosforo dalelių 7, o taip pat papildomai gali būti antro tipo fosforo dalelių 8 (Fig. 1. vaizduoja atvejį, kai naudojamos abiejų tipų fosforo dalelės). Fotonų, išspinduliuotų iš puslaidininkinio lusto, likimas gali būti dvejopas. Fotonas, kuris 1 pav. pažymėtas rodykle 9, nėra sugeriamas fosforo dalelėse ir
10 ištrūksta iš lusto į aplinką pro skaidrų korpusą. Fotonas 10 yra sugeriamas pirmo tipo fosforo dalelėje 7 ir konvertuojamas į fotoną 11, kurio bangos ilgis atitinka spektro komponentę su smaile 700–760 nm (tolimajame raudoname) spektro ruože. Tuo tarpu fotonas 12 yra sugeriamas antro tipo fosforo dalelėje 8 ir konvertuojamas į fotoną 13, kurio bangos ilgis patenka į 620–680 nm (raudoną) spektro ruožą. Galiausiai
15 šviestukas spinduliuoja šviesą, turinčią bent dvi augalų fotofiziologijai svarbias spektro komponentes. Šviestukas, kurio keitiklis 5 turi tik pirmo tipo fosforo daleles 7, spinduliuoja dvikomponentę mėlyną-tolimąją raudoną šviesą, o šviestukas, kurio keitiklis turi abiejų tipų fosforo daleles 7 ir 8, spinduliuoja trikomponentę mėlyną-raudoną-tolimąją raudoną šviesą.

20 Fig. 2 vaizduoja artimos UV šviesos visiškos konversijos fosfore šviestuko, skirto augalininkystei, bazinę sandarą. Šviestuke yra puslaidininkinis lustas 14, kuris generuoja artimąją UV šviesą injekcinės elektroliuminescencijos dėka. Lustas 14 yra patalpintas į reflektoriaus taurelę 15 ir sujungtas su išvadais 16, naudojant prijungtas vielutes 17. Lustą dengia bangos ilgio keitiklis 18. Lustas 14 ir keitiklis 18 yra
25 įkapsuliuoti į skaidrų korpusą 19. 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
30 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 lydynyje yra parenkamos tokiu būdu, kad spinduliuotės juosta turėtų smailę ties bangos ilgiu, trumpesniu nei 430 nm.

Šviesa, generuojama puslaidininkiniame luste 14, praeina pro bangos ilgio keitiklį 18, kuriame yra pirmo tipo fosforo dalelių 21, o taip pat papildomai jame gali būti antro tipo fosforo dalelių 24 ir (arba) trečio tipo fosforo dalelių 27 (Fig. 2. vaizduoja atvejį, kai naudojamos trijų tipų fosforo dalelės). Visi fotonai, išspinduliuoti iš puslaidininkinio lusto, yra sugeriami fosforo dalelėse. Fotonas, 20 yra sugeriamas pirmo tipo fosforo dalelėje 21 ir konvertuojamas į fotoną 22, kurio bangos ilgis atitinka spektro komponentę su smaile 700–760 nm (tolimajame raudoname) spektro ruože. Fotonas 23 yra sugeriamas antro tipo fosforo dalelėje 24 ir konvertuojamas į fotoną 25, kurio bangos ilgis patenka į 620–680 nm (raudoną) spektro ruožą. Tuo tarpu fotonas 26 yra sugeriamas trečio tipo fosforo dalelėje 27 ir konvertuojamas į fotoną 28, kurio bangos ilgis patenka į 400–500 nm (mėlyną) spektro ruožą. Galiausiai šviestukas spinduliuoja šviesą, turinčią bent vieną augalų fotofiziologijai svarbią spektro komponentę. Šviestukas, kurio keitiklis 18 turi tik pirmo tipo fosforo daleles 21, spinduliuoja tik tolimąją raudoną šviesą; šviestukas, kurio keitiklis turi tik pirmo tipo fosforo daleles 21 ir antro tipo fosforo daleles 24, spinduliuoja dvikomponentę raudoną-tolimąją raudoną šviesą; šviestukas, kurio keitiklis turi tik pirmo tipo fosforo daleles 21 ir trečio tipo fosforo daleles 27, spinduliuoja dvikomponentę mėlyną-tolimąją raudoną šviesą; šviestukas, kurio keitiklis turi visų trijų tipų fosforo daleles 21, 24, ir 27, spinduliuoja trikomponentę mėlyną-raudoną-tolimąją raudoną šviesą.

Fig. 3. vaizduoja galimus puslaidininkinių lustų, kurie yra siūlomi naudoti augalininkystei skirtuose konversijos fosfore šviestukuose, elektroluminescencijos spektrus. Esant tiek dalinei, tiek visiškai konversijai, šviestukų elektroluminescencijos spektrai, turi būti suderinti su fosforų sugerties spektrais. Be to, esant dalinei konversijai, šviestuko elektroluminescencijos spektras turi būti suderintas su augalų fotofiziologiniais poreikiais 400–500 nm spektro ruože.

Fig. 3 (a) vaizduoja elektroluminescencijos spektrą, atitinkantį 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 450 nm mėlyname spektro ruože. Toks lustas gali būti naudojamas augalininkystei skirtame dalinės konversijos šviestuke. Fig. 3 (b) vaizduoja elektroluminescencijos spektrą, atitinkantį 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 augalininkystei skirtame visiškos konversijos šviestuke.

Fig. 4 vaizduoja individualius fotoluminescencijos spektrus, atitinkančius fosforus, kuriuos galima būtų panaudoti augalininkystei skirtuose konversijos fosfore šviestukuose. Fig. 4 (a) parodo fotoluminescencijos spektrą, atitinkantį gadolinio ir galio oksido fosforą, aktyvuotą trivalenčio chromo jonais $[\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}]$, kuris sugeria mėlyną arba artimą UV šviesą ir spinduliuoja tolimąją raudoną šviesą, kurios spektro juostos smailė yra ties maždaug 730 nm. Toks fosforas gali būti naudojamas augalininkystei skirtuose dalinės arba visiškos konversijos šviestukuose tam, kad generuotų tolimąją raudoną spektro komponentę. Fig. 4 (b) parodo fotoluminescencijos spektrą, atitinkantį nitridosilikatinį fosforą, aktyvuotą divalenčio europio jonais $[(\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}]$, kuris sugeria mėlyną arba artimą UV šviesą ir spinduliuoja raudoną šviesą, kurios spektro juostos smailė yra ties maždaug 660 nm. Toks fosforas gali būti naudojamas augalininkystei skirtuose dalinės arba visiškos konversijos šviestukuose tam, kad generuotų raudoną spektrinę komponentę. Fig. 4 (c) parodo fotoluminescencijos spektrą, atitinkantį 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 450 nm. Toks fosforas gali būti naudojamas augalininkystei skirtuose visiškos konversijos šviestukuose tam, kad generuotų mėlyną spektrinę komponentę.

Fig. 5 vaizduoja siūlomų augalininkystei skirtų dalinės konversijos šviestukų spinduliuotės spektrus. Visi spektrai turi mėlyną komponentę, kurios smailė yra ties 450 nm, generuojamą InGaN puslaidininkinio lusto dėl injekcinės elektroluminescencijos, ir tolimąją raudoną spektro komponentę, generuojamą dėka bangos ilgio keitiklio fotoluminescencijos. Daliniai 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. Fig. 5 (a) vaizduoja spektrą, atitinkantį dvikomponetę mėlyną-tolimąją raudoną šviesą, kuri yra generuojama naudojant dalinę mėlynos šviesos konversiją $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ fosfore, kuris spinduliuoja tolimąją raudoną šviesą dėka fotoluminescencijos. Mėlynos ir tolimosios raudonos šviesos daliniai fotonų srautai yra atitinkamai 80% ir 20%. Tokie mėlyni-tolimosios raudonosios srities raudoni šviestukai gali būti naudojami sudėtinėse apšvietimo sistemose, kurios turi kitus

šaltinius, žadinančius fotosintezę chlorofiluose, tokius kaip aukšto slėgio natrio lempos. Fig. 5 (b) vaizduoja spektrą, atitinkantį trikomponentę mėlyną-raudoną-tolimąją raudoną šviesą, kuri yra generuojama, naudojant dalinę mėlynos šviesos, generuojamos dėl elektroluminescencijos, konversiją $(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ ir $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ fosforuose, kurie spinduliuoja atitinkamai raudoną ir tolimąją raudoną šviesą dėka fotoluminescencijos. Mėlynos, raudonos ir tolimosios raudonos šviesos daliniai fotonų srautai yra atitinkamai 20%, 75%, ir 5%. Tokie mėlyni-raudoni-tolimosios raudonosios srities šviestukai gali būti naudojami universaliam augalų kultivavimui, kai yra tenkinami visi augalų fotofiziologiniai poreikiai.

Fig. 6 vaizduoja siūlomų augalininkystei skirtų visiškos konversijos šviestukų spinduliuotės spektrus. Visi šie šviestukai, turintys puslaidininkinį lustą, dėka injekcinės elektroluminescencijos generuojantį šviesą, kurios bangos ilgis yra trumpesnis nei 430 nm, spinduliuoja bent vieną ilgesnių bangų komponentę dėka fosforų fotoluminescencijos. Daugiakomponenčiuose šviestukuose daliniai fotonų srautai, atitinkantys kiekvieną fosforą, 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 jo ribų. Fig.6 (a) vaizduoja spektrą, atitinkantį vienkomentę tolimąją raudoną šviesą, kuri yra generuojama, naudojant visišką artimosios UV šviesos konversiją $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ fosfore, kuris spinduliuoja tolimąją raudoną šviesą dėka fotoluminescencijos. Toks tolimosios raudonos srities šviestukas gali būti naudojamas augalų auginimui kombinuojant su kitais šviesos šaltiniais, kurių spinduliuotė stokoja spinduliuotės ties 730 nm. Fig.6 (b) vaizduoja spektrą, atitinkantį dvikomponentę mėlyną-tolimąją raudoną šviesą, kuri yra generuojama naudojant visišką artimosios UV šviesos konversiją $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ ir $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ fosforuose, kurie spinduliuoja mėlyną ir tolimąją raudoną šviesą dėka fotoluminescencijos. Mėlynos ir tolimosios raudonos šviesos daliniai fotonų srautai yra atitinkamai 80% ir 20%. Tokie mėlyni-tolimosios raudonosios srities šviestukai gali būti naudojami sudėtinėse apšvietimo sistemose, kurios turi kitus šaltinius, žadinančius fotosintezę chlorofiluose, tokius kaip aukšto slėgio natrio lempos. Fig.6 (c) vaizduoja spektrą, atitinkantį dvikomponentę raudoną-tolimąją raudoną šviesą, kuri yra generuojama naudojant visišką artimosios UV šviesos konversiją $(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ ir $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ fosforuose, kurie spinduliuoja raudoną ir tolimąją raudoną šviesą dėka fotoluminescencijos. Raudonos ir tolimosios raudonos šviesos daliniai fotonų srautai yra atitinkamai 90% ir 10%.

Tokie raudoni-tolimosios raudonosios srities šviestukai gali būti naudojami augalų auginimo įrenginiuose, kurie yra pritaikyti tik fotosintezinių ir (arba) fitochromo valdomų fotomorfogenezinių poreikių tenkinimui. Fig. 6 (d) vaizduoja spektrą, atitinkantį trikomponentę mėlyną-raudoną-tolimąją raudoną šviesą, kuri yra generuojama, naudojant visišką artimosios UV šviesos, generuojamos dėl elektroliuminescencijos, konversiją $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$, $(\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$, ir $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ fosforuose, kurie spinduliuoja atitinkamai mėlyną, raudoną ir tolimąją raudoną šviesą dėka fotoluminescencijos. Mėlynos, raudonos ir tolimosios raudonos šviesos daliniai fotonų srautai yra atitinkamai 20%, 75%, ir 5%. Tokie mėlyni-raudoni-tolimosios raudonosios srities šviestukai gali būti naudojami universaliai augalų kultivavimui, kai yra tenkinami visi augalų fotofiziologiniai poreikiai.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Šviesos diodas (šviestukas), turintis korpusą, kuriame patalpintas puslaidininkinis
5 lustas, generuojantis trumpabangę spinduliuotę ties bangos ilgiu trumpesniu nei
500 nm dėka injekcinės elektroliuminescencijos, ir šio lusto spinduliuojamo fotonų
srauto kelyje patalpintas keitiklis, skirtas minėtos spinduliuotės konvertavimui į
ilgesnių bangų spinduliuotę dėka fotoluminescencijos ir turintis bent vieno tipo
fosforo dalelių, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad keitiklio (5; 18) sudėtyje yra fosforas
10 (7;21), kurio spinduliuotės spektro smailė yra tolimojoje raudonojoje srityje tarp
maždaug 700 nm ir 760 nm, atitinkančioje augalų fotoreceptoriaus fitochromo P_{fr}
formos sugerties spektrą, toks kaip
- ličio aluminatas, aktyvuotas trivalentės geležies jonais,
 - gadolinio ir galio oksidas, aktyvuotas trivalenčio chromo ir (arba)
15 trivalenčio cerio jonais, arba
 - kalcio sulfidas, aktyvuotas divalenčio iterbio jonais.
2. Šviestukas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad puslaidininkinis lustas
(1) yra generuojantis mėlyną šviesą 400–500 nm spektro ruože, kuri tenkina augalų
20 fotomorfogenezinius ir fototropinius poreikius ir keitiklis (5) yra pasižymintis šios
šviesos daline konversija į ilgesnių bangų šviesą.
3. Šviestukas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad puslaidininkinis lustas
(14) yra generuojantis artimąją UV spinduliuotę arba violetinę arba mėlyną šviesą,
25 kurios bangos ilgis yra trumpesnis nei 500 nm ir keitiklis (18) yra pasižymintis
visiška šios optinės spinduliuotės konversija į ilgesnių bangos ilgių šviesą.
4. Šviestukas pagal 2 arba 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jo bangos ilgio
keitiklis (5; 18) turi papildomą fosforą (8;24), kuris spinduliuoja raudoną šviesą
30 620–680 nm spektro ruože, kuri tenkina augalų fotosintezinius ir
fotomorfogenezinius poreikius, tokį kaip oksidinis, haloooksidinis, chalkogenidinis,
arba nitridinis junginys aktyvuotas divalenčio ar keturvalenčio mangano,
divalenčio ar trivalenčio europio, trivalenčio bismuto, arba divalenčio alavo
jonais.

5. Šviestukas pagal 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jo bangos ilgio keitiklis (18) turi papildomą fosforą, (27) kuris spinduliuoja mėlyną šviesą 400–500 nm spektro ruože, kuri tenkina augalų fotomorfogenezinius ir fototropinius poreikius, tokį kaip oksidinis, halooksidinis ar nitridinis junginys, aktyvuotas divalenčio europio, divalenčio mangano, divalenčio alavo, arba trivalenčio cerio jonais.
6. Šviestukas pagal 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad bangos ilgio keitiklis (5) turi arba tik vieną fosforą (7), kuris dalinai konvertuoja mėlyną šviesą į tolimąją raudoną šviesą, arba kelis fosforus (7; 8), kurie dalinai konvertuoja mėlyną šviesą į tolimąją raudoną šviesą ir raudoną šviesą.
7. Šviestukas pagal 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jo bangos ilgio keitiklis (18) turi arba tik vieną fosforą (21), kuris visiškai konvertuoja artimąją UV spinduliuotę į tolimąją raudoną šviesą, arba kelis fosforus (21; 24; 27), kurie visiškai konvertuoja artimąją UV spinduliuotę tik į tolimąją raudoną šviesą ir raudoną šviesą (fosforai 21 ir 24), arba tik į tolimąją raudoną šviesą ir mėlyną šviesą (fosforai 21 ir 27) arba į tolimąją raudoną šviesą, raudoną šviesą ir mėlyną šviesą (fosforai 21, 24 ir 27).
8. Šviestukas pagal 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad bangos ilgio keitiklis (18) turi tik vieną fosforą (21), kuris visiškai konvertuoja mėlyną šviesą tik į tolimąją raudoną šviesą, arba kelis fosforus (21; 24), kurie visiškai konvertuoja mėlyną šviesą į tolimąją raudoną šviesą ir raudoną šviesą.
9. Šviestukas pagal 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad puslaidininkinis lustas (1) yra spinduliuojantis mėlyną šviesą 400–500 nm spektro ruože ir turintis aktyvųjį sluoksnį pagamintą iš $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ puslaidininkinio lydinio.
10. Šviestukas pagal 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad puslaidininkinis lustas (14) yra spinduliuojantis ties bangos ilgiu trumpesniu nei 500 nm ir turintis 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.

11. Šviestukas pagal 2 arba 3 punktą, besiskiriantis tuo, kad kiekvienos spektro komponentės daliniai fotonų srautai ir smailių bangos ilgiai yra parinkti tokiu būdu, kad galutinė spinduliuojamos šviesos spektrinė sudėtis būtų tinkama tam, kad veikiami vien šios šviesos arba šios šviesos kartu su kitų šaltinių spinduliuote geriausiai augtų ir vystytųsi konkretūs šiltnaminiai augalai, tokie kaip salotos, agurkai, pomidorai, ridikėliai, morkos, svogūnai, kalafiorai, brokoliai, žalieji žirneliai, kviečių ar miežių želmenys ir t.t.
12. Šviestukas pagal 2 arba 3 punktą, besiskiriantis tuo, kad jo generuojamos šviesos spektro komponentės turi šiuos dalinius fotonų srautus:
- apie 1:4, kai šviestukas spinduliuoja tik atitinkamai tolimąją raudoną ir mėlyną šviesą,
- apie 1:15, kai šviestukas spinduliuoja tik atitinkamai tolimąją raudoną ir raudoną šviesą,
- apie 1:15:4, kai šviestukas spinduliuoja atitinkamai tolimąją raudoną, raudoną ir mėlyną šviesą.
13. Šviestukas pagal 2 arba 3 punktą, besiskiriantis tuo, kad kiekvienos spektro komponentės daliniai fotonų srautai yra nustatomi parenkant fosforo (7;8;21;24;27) dalelių dydį ir koncentraciją, bangos ilgio keitiklio (5;18) storį, bangos ilgio keitiklio medžiagos lūžio rodiklį, atstumą tarp bangos ilgio keitiklio ir elektroluminescencinio darinio (1;14), ir bangos ilgio keitiklio padėtį šviestuko korpuse arba už šviestuko korpuso ribų.
14. Šviestukas pagal 2 arba 3 punktą, besiskiriantis tuo, kad jo generuojamos šviesos spektro komponentės turi šiuos smailių bangos ilgius:
- apie 730 ± 20 nm tolimosios raudonos spektro komponentės atveju,
- apie 660 ± 20 nm raudonos spektro komponentės atveju,

apie 450 ± 20 nm mėlynos spektro komponentės atveju.

15. Šviestukas pagal 6, 7 arba 8 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jo bangos ilgio keitiklis (5,18) turi papildomą fosforą (Fig. 1 ir Fig. 2 neparodytą), kuris spinduliuoja geltonoje, geltonai žalioje, žalioje ar žaliai mėlynoje srityje tokiu būdu, kad šviestuko generuojama šviesa žmogaus regos yra suvokiama kaip tam tikro spalvio šviesa, pavyzdžiui, kaip balta šviesa su nustatyta koreliuotąja spalvine temperatūra.

Fig.1

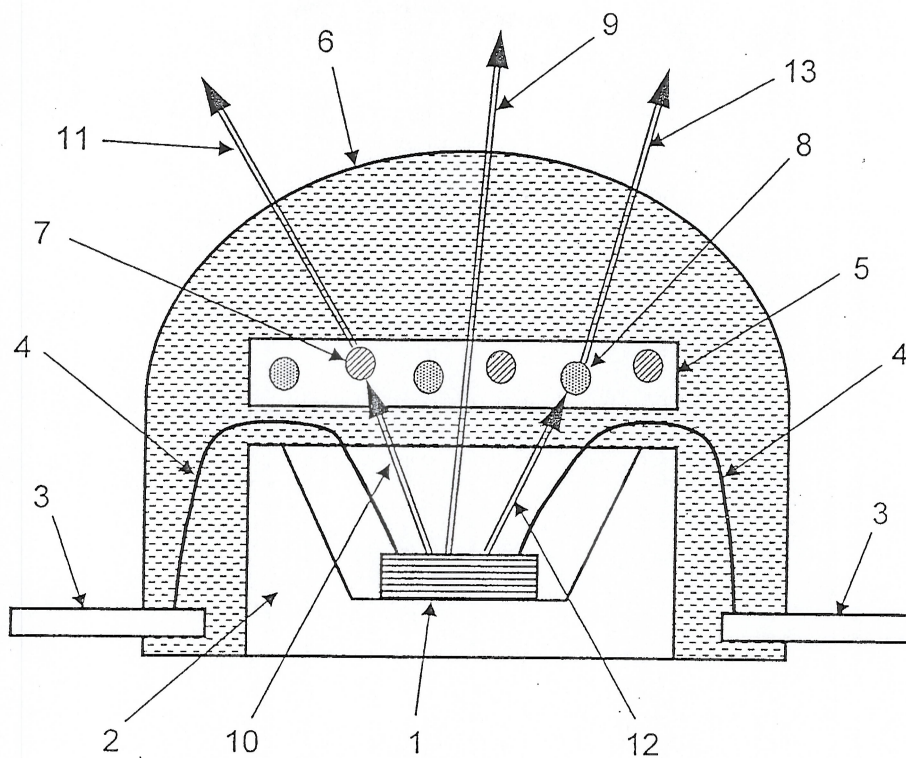


Fig.2

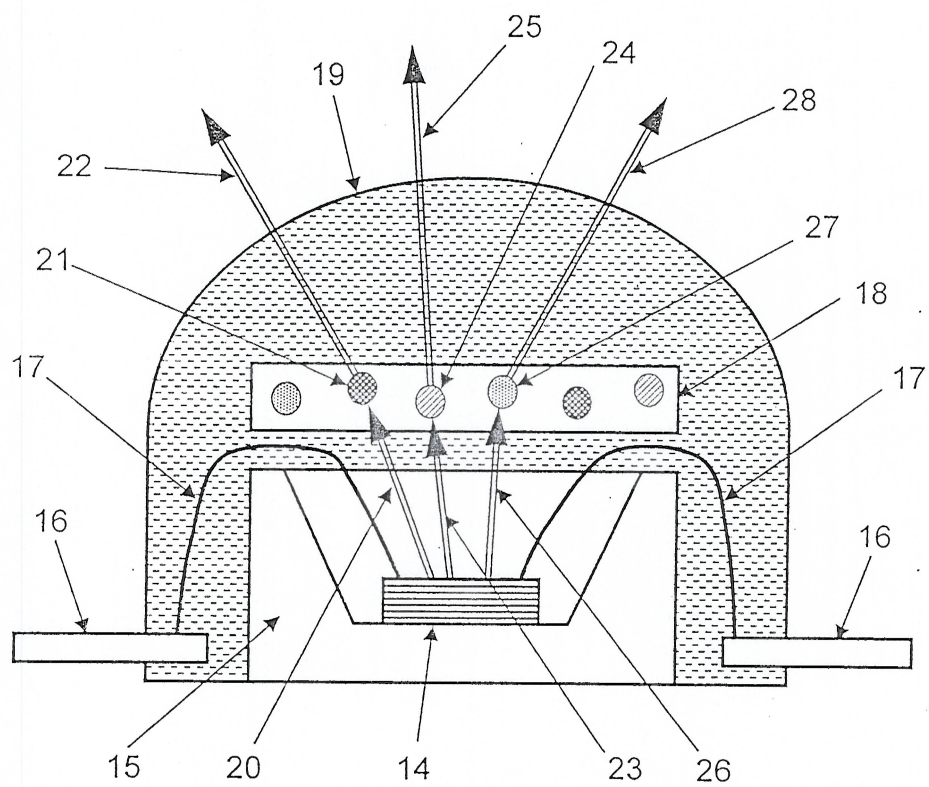


Fig. 3

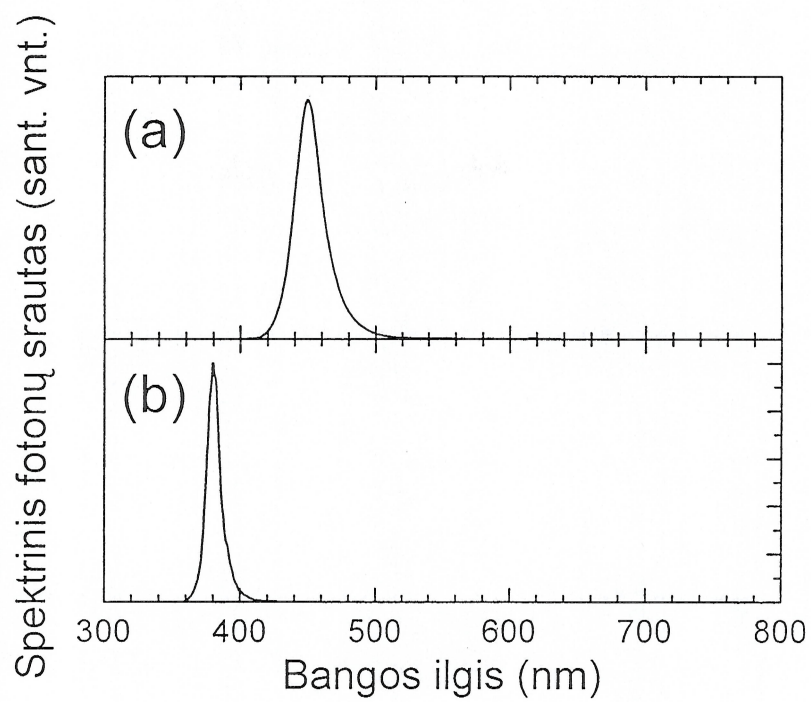


Fig.4

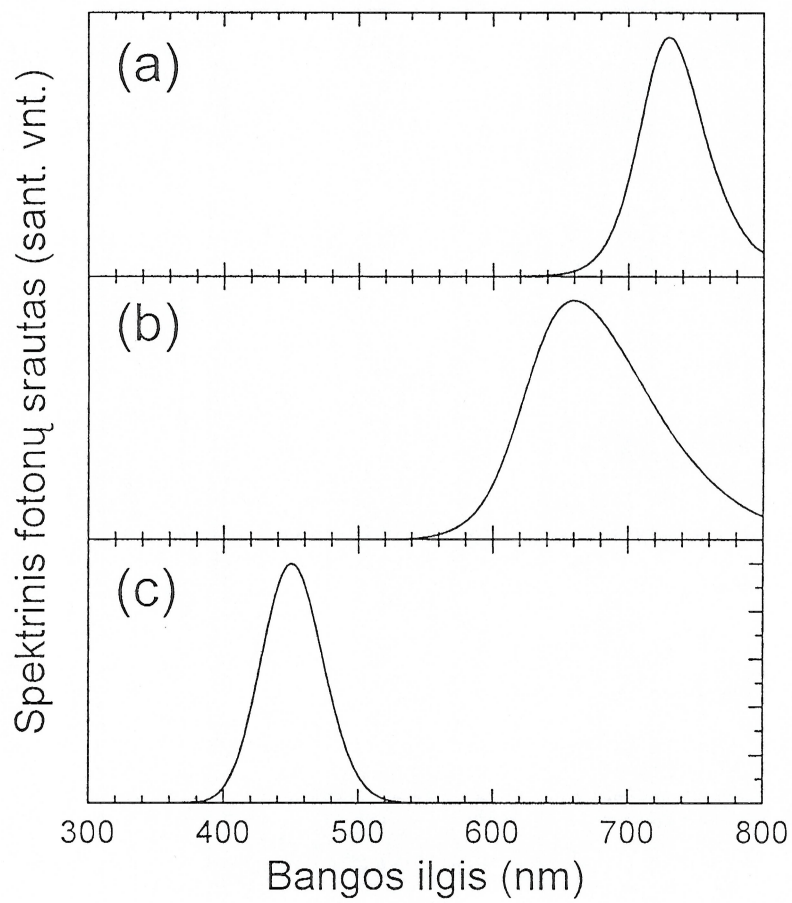


Fig.5

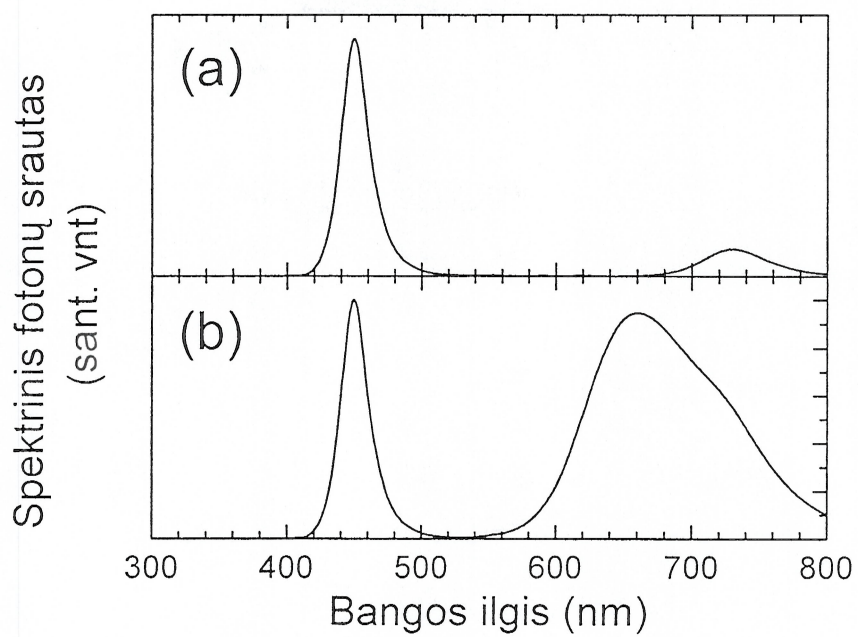


Fig.6

