Física del LED

Autor:
Data de publicació: 01-02-2019

En la física del díode emissor de llum , la recombinació d'electrons i forats d'electrons en un semiconductor produeix una llum (o radiació infraroja), un procés anomenat "electroluminescència". La longitud d'ona de la llum produïda depèn de la bretxa de banda d'energia dels semiconductors utilitzats. Atès que aquests materials tenen un alt índex de refracció, es requereixen característiques de disseny dels dispositius, com ara recobriments òptics especials i la forma de la matriu, per emetre de forma eficient la llum. Un LED és una font de llum de llarga vida, però certs mecanismes poden provocar una pèrdua de l'eficiència del dispositiu o un fracàs sobtat. La longitud d'ona de la llum emesa és una funció de la bretxa del material semiconductor utilitzat; materials com el gallium arsendie i altres, amb diversos elements de dopatge de traça, s'utilitzen per produir diferents colors de la llum. Un altre tipus de LED utilitza un punt quàntic que pot tenir les seves propietats i la longitud d'ona ajustada per la seva mida. Els díodes emissors de llum s'utilitzen àmpliament en les funcions d'indicador i visualització, i els LEDs blancs estan desplaçant altres tecnologies per a fins d'il·luminació general.

Continguts

1 Electroluminescència
2 Índex de refracció

2.1 Recobriments de transició

3 Eficiència i paràmetres operatius

3.1 Eficàcia caiguda

4 Vida i fracàs
5 Materials
6 LED de punts quàntics
7 Referències
8 Enllaços externs

Electroluminescència

El funcionament intern d'un LED, que mostra el circuit (part superior) i el diagrama de banda (fons)

En un LED, una unió de p-n emet llum quan la corrent elèctrica flueix a través d'ella. Aquesta és l' electroluminiscencia . Els electrons creuen des de la regió n i es recombinen amb els forats existents a la regió p. Els electrons lliures es troben en la banda de conducció dels nivells d'energia, mentre que els forats es troben en la banda d'energia de València. Així, el nivell d'energia dels forats és inferior als nivells d'energia dels electrons. Alguna part de l'energia s'ha de dissipar per recombinar els electrons i els forats. Aquesta energia s'emet en forma de calor i llum.

Els electrons dissipen energia en forma de calor per als diodes de silici i germani, però en els semiconductors de fosfuros de galio arsènic (GaAsP) i fosfat de gal (GaP), els electrons dissipen energia mitjançant l'emissió de fotons . Si el semiconductor és translúcid, la unió es converteix en la font de llum, convertint-se així en un díode emissor de llum.

Diagrama IV per a un díode . Un LED comença a emetre llum quan s'apliquen més de 2 o 3 volts. La regió de polarització inversa utilitza una escala vertical diferent de la regió de biaix cap endavant per mostrar que el corrent de fuita és gairebé constant amb tensió fins que es produeix un desglossament. En el biaix cap endavant, el corrent és petit però augmenta exponencialment amb voltatge.

La longitud d' ona de la llum emesa i, per tant, el seu color, depèn de l'energia del buit de banda dels materials que formen la unió pn . En els díodes de silici o germani , els electrons i els forats solen recombinar-se per una transició no radiativa , que no produeix cap emissió òptica, ja que aquests són materials de separació de bandes indirectes . Els materials utilitzats per al LED tenen un buit de banda directa amb energies que corresponen a la llum gairebé infraroja, visible o gairebé ultraviolada.

El desenvolupament LED va començar amb dispositius infrarojos i vermells fabricats amb arseniuro de gal·lis . Els avenços en la ciència dels materials han permès fer dispositius amb longituds d'ona cada vegada més curtes, emetent llum en diversos colors.

Normalment, els LED es construeixen sobre un substrat de tipus n , amb un elèctrode unit a la capa de tipus p que es diposita a la superfície. Són substrats de tipus P , encara que són menys comuns. Molts LED comercials, especialment GaN / InGaN, també utilitzen substrat de safir .

Índex de refracció

Exemple idealitzat de cons d'emissió de llum en un semiconductor quadrat simple, per a una única zona d'emissió de punts d'origen. La il·lustració esquerra és per a una oblea translúcida, mentre que la il·lustració correcta mostra els semiconsos formats quan la capa inferior és opaca. La llum s'emet igualment en totes les direccions des del punt font, però només es pot escapar de la superfície del semiconductor a uns pocs graus de forma perpendicular, il·lustrada per les formes del con. Quan es supera l' angle crític , els fotons es reflecteixen internament. Les àrees entre els cons representen l'energia de llum atrapada que es perd com a calor. [1]

Els semiconductors no recoberts nus com el silici mostren un índex de refracció molt elevat en relació amb l'aire. Els fotons que s'apropen a la superfície a un angle massa gran per a l'experiència normal, la reflexió interna total . Aquesta propietat afecta tant l'eficiència d'emissió de llum dels LED com l'eficiència d'absorció de la llum de les cel·les fotovoltaiques . L'índex de refracció del silici és de 3.96 (a 590 nm), [2] mentre que l'índex de refracció de l'aire és

1.0002926. [3]

En general, un xip semiconductor LED no recobert de superfície plana emet només la llum que arriba gairebé perpendicular a la superfície del semiconductor, en forma de cono anomenada el con de llum , el con de la llum [4] o el con de fuita . [1] Els fotons que arriben a la superfície més obliquament, amb un angle d'incidència superior a l' angle crític , experimenten una reflexió interna total i tornen al cristall semiconductor com si la seva superfície fos un mirall . [1]

Les reflexions internes poden escapar a través d'altres cares cristal·lines si l'angle d'incidència és prou baix i el vidre és prou transparent per no tornar a absorbir l'emissió fotònica. Però per a un simple LED quadrat amb superfícies angulars de 90 graus per tots els costats, les cares actuen com miralls d'angle igual. En aquest cas, la major part de la llum no pot escapar i es perd com a calor residual en el cristall. [1]

Una superfície de xip complicada amb aspectes angulosos semblants a una joia o lent fresnel pot augmentar la producció de llum mitjançant la distribució de llum perpendicular a la superfície del xip i molt a prop dels costats del punt d'emissió de fotó. [5]

La forma ideal d'un semiconductor amb sortida de llum màxima seria una microesfera amb l'emissió de fotons que es produeixi al centre exacte, amb elèctrodes que penetren al centre per posar-se en contacte en el punt d'emissió. Tots els raigs de llum que emanen del centre serien perpendiculars a tota la superfície de l'esfera i no tindran cap reflexió interna. També funcionaria un semiconductor semiesfèric, amb la superfície plana que serveix com a mirall per a fotons dispersos. [6]

Recobriments de transició
Després del dopatge de l' oblea , generalment es talla a trossos individuals. Cada matriu se sol anomenar un xip.

Molts xips de semiconductors LED estan encapsulats o enrotllats en plàstic sòlid modelat o transparent. L'encapsulat de plàstic té tres finalitats:

La muntatge del xip de semiconductors en els dispositius és més fàcil d'aconseguir.
El petit cablejat elèctric fràgil està suportat físicament i protegit contra el dany.
El plàstic actua com a intermediari refractiu entre el semiconductor d'índex relativament alt i l'aire obert de baix índex. [7]

La tercera característica ajuda a augmentar l'emissió de llum del semiconductor reduint els reflexos de Fresnel dels fotons dins del con de llum. Un revestiment pla no augmenta directament la mida del con de llum en el semiconductor; proporciona un angle intermedi més ampli del con en el recobriment, però l'angle crític entre els raigs del semiconductor i l'aire més enllà del recobriment no canvia. Tanmateix, amb un recobriment curvado o encapsulat, l'eficiència es pot incrementar encara més.

Eficiència i paràmetres operatius
Els LEDs indicadors típics estan dissenyats per operar amb un màxim de 30-60 miliat (mW) d'energia elèctrica. Al voltant de 1999, Philips Lumileds va introduir LED de potència capaç d'utilitzar-lo de manera contínua a un sol. Aquests LEDs utilitzen talles molt més grans de mides de semiconductors per manejar les grans entrades de potència. A més, les matrius de semiconductors es van muntar sobre braguetes de metall per permetre una major dissipació de calor de la morta LED.

Un dels avantatges clau de les fonts d'il·luminació basades en el LED és una gran eficàcia lluminosa . Els LEDs blancs es van adaptar ràpidament i van superar l'eficàcia dels sistemes d'il·luminació incandescent estàndard. El 2002, Lumileds fabricava LEDs de 5 watts amb eficàcia lluminosa de 18-22 lúmenes per watt (lm / W). Per comparació, una bombeta incandescent convencional de 60-100 watts emet al voltant de 15 lm / W, i les llums fluorescents estàndard emeten fins a 100 lm / W.

A partir de 2012 , Philips havia aconseguit les següents eficiències per a cada color. [8] Els valors d'eficiència mostren la física: potència de llum per energia elèctrica. El valor d'eficàcia de lumen per vat inclou característiques de l'ull humà i es deriva utilitzant la funció de lluminositat .

Al setembre de 2003, Cree va demostrar un nou tipus de LED blau. Això va produir una llum blanca envasada comercialment que donava 65 lm / W a 20 mA, convertint-se en el LED blanc més brillant comercialment disponible en

el moment i més de quatre vegades més eficient que els incandescents estàndard. El 2006, van demostrar un prototip amb una eficiència lluminosa LED rècord de 131 lm / W a 20 mA. Nichia Corporation ha desenvolupat un LED blanc amb eficàcia lluminosa de 150 lm / W a un corrent continu de 20 mA. [9] Els XLamp XM-L LED de Cree, comercialment disponibles el 2011, produeixen 100 lm / W a la seva potència màxima de 10 W i fins a 160 lm / W a una potència d'entrada de 2 W. El 2012, Cree va anunciar un LED blanc que donava 254 lm / W, [10] i 303 lm / W el març de 2014. [11] La il·luminació general pràctica necessita LEDs d'alta potència, d'un watt o més. Els corrents operatius típics d'aquests dispositius comencen a 350 mA.

Aquestes eficiències són només per al díode emissor de llum, que es manté a baixa temperatura en un laboratori. Atès que els LEDs instal·lats en aparells reals funcionen a una temperatura més alta i amb pèrdues de controladors, l'eficiència del món real és molt menor. Les proves del Departament d'Energia dels Estats Units (DOE) de les làmpades LED comercials dissenyades per reemplaçar les làmpades incandescents o CFL van demostrar que l'eficàcia mitjana encara era d'uns 46 Lm / W el 2009 (el rendiment assolit va ser de 17 lm / W a 79 lm / W). [12]

Eficàcia caiguda

La disminució de l'eficiència és la disminució de l' eficàcia lluminosa dels LEDs a mesura que augmenta el corrent elèctric .

Aquest efecte inicialment es va pensar que estava relacionat amb temperatures elevades. Els científics van demostrar que el contrari és cert: tot i que la vida d'un LED s'escurça, la disminució de l'eficiència és menys greu a temperatures elevades. [13] El mecanisme que provoca caigudes d'eficiència es va identificar el 2007 com la recombinació de Auger . [14] [15]

A més de ser menys eficients, els LEDs operatius a corrents elèctriques més altes generen més calor, que pot comprometre la vida útil del LED. Els LEDs d'alta brillantor solen funcionar a 350 mA, que és un compromís entre la llum, l'eficiència i la longevitat. [14]

En lloc d'augmentar els nivells actuals, la luminància sol augmentar mitjançant la combinació de diversos LEDs en un bulb. La solució del problema de la caiguda de l'eficiència significaria que les bombetes LED domèstiques necessitaran menys LED, el que reduiria significativament els costos.

Els investigadors del Laboratori de Recerca Naval dels Estats Units han trobat una forma de disminuir la caiguda de l'eficiència. Van trobar que la caiguda sorgeix de la recombinació Auger no radiant dels portadors injectables. Van crear pous quàntics amb un potencial suau de confinament per disminuir els processos Auger no radiatius. [16]

Els investigadors de la Universitat Central Nacional de Taiwan i Epistar Corp estan desenvolupant una manera de reduir la caiguda de l'eficiència mitjançant l'ús de substrats de nitruro d'alumini ceràmic (AlN), que són més conductors tèrmics que els zafiros utilitzats comercialment. La major conductivitat tèrmica redueix els efectes d'escalfament automàtic. [17]

Vida i fracàs

Article principal: Llista de modificacions de falles LED

Els dispositius d'estat sòlid com els LED estan subjectes a un desgast molt limitat si s'executa a baixes corrents ia baixes temperatures. Les vides típiques esmentades són de 25.000 a 100.000 hores, però la temperatura i la configuració actual poden augmentar o escurçar aquest temps de forma significativa. [18] És important tenir en compte que aquestes projeccions es basen en una prova estàndard que pot no accelerar tots els mecanismes potencials que poden provocar fallades en LEDs. [19]

El símptoma més comú de la falla LED és la disminució progressiva de la sortida de llum. També es poden produir fracassos sobtats, tot i que són rars. Els primers LED vermells van ser notables per la seva curta vida útil. Amb el desenvolupament de LED d'alta potència, els dispositius estan subjectes a majors temperatures de connexió i majors densitats de corrent que els dispositius tradicionals. Això provoca estrès en el material i pot provocar una primerenca degradació de la llum de sortida. Es pot donar la vida útil d'un LED com a temps d'execució al 70% o 50% de la sortida inicial. [20]

A diferència de la combustió o les làmpades incandescents, els LED només funcionen si es mantenen prou frescos. El fabricant especifica habitualment una temperatura de cruïlla màxima de 125 o 150 ° C, i les temperatures més baixes són aconsellables en benefici de la llarga vida. A aquestes temperatures, la radiació perd relativament poca calor, el que significa que el feix de llum generat per un LED és genial.

La calor residual en un LED d'alta potència es porta a través del dispositiu a un disipador de calor , que dissipa la calor a l'aire que l'envolta. Atès que la temperatura màxima de funcionament del LED és limitat, cal calcular les resistències tèrmiques del paquet, el disipador de calor i la interfície. Els led LED de mitja potència sovint estan dissenyats per soldar directament a una placa de circuit imprès que conté una capa metàl·lica conductora tèrmicament. Els LEDs d'alta potència estan empaquetats en paquets ceràmics de gran superfície que s'adhereixen a un disipador de calor metàl·lic amb greix tèrmic o un altre material per a realitzar calor.

Si un llum LED no té circulació d'aire lliure, és probable que el LED es sobrecaliente, cosa que provoca una reducció de la vida o un error inicial. El disseny tèrmic del sistema ha de permetre la temperatura ambient que envolta la llum; una làmpada en un congelador experimenta un ambient més baix que un llum en una tanca publicitària en un clima assolellat. [21]

Materials

Els LED estan fabricats a partir d'una varietat de materials semiconductors inorgànics. La taula següent mostra els colors disponibles amb el rang de longitud d'ona, caiguda de voltatge i material:

LEDs de punts quàntics

Vegeu també: visualització de punts quàntics

Els punts quàntics (QD) són nanocristalls semiconductors amb propietats òptiques que permeten sintonitzar el color de les emissions des de l'espectre visible a l'espectre infraroig. [30] [31] Això permet que els LED de punts quàntics creïn gairebé qualsevol color en el diagrama CIE . Això proporciona més opcions de color i millor representació del color que els LEDs blancs ja que l'espectre d'emissió és molt més estret, característic dels estats quàntics confinats.

Hi ha dos tipus d'esquemes per a l'excitació de QD. S'utilitza l'excitació fotogràfica amb un LED de font primària (s'utilitzen normalment LEDs blaus o UV). L'altra és l'excitació elèctrica directa demostrada per Alivisatos et al. [32]

Un exemple del esquema de foto-excitació és un mètode desenvolupat per Michael Bowers, a la Universitat Vanderbilt de Nashville, que consisteix a recobrir un LED blau amb punts quàntics que brillen en blanc en resposta a la llum blava del LED. Aquest mètode emet una llum càlida i groguenca, similar a la feta per bombetes incandescents . [33] Els punts quàntics també s'estan considerant per al seu ús en díodes emissors de llum blanca en televisors de pantalla de cristall líquid (LCD). [34]

Al febrer de 2011, els científics de PlasmaChem GmbH van poder sintetitzar els punts quàntics per a aplicacions LED i construir un convertidor lleuger en la seva base, que va poder convertir la llum del blau a qualsevol altre color durant moltes dotzenes d'hores. [35] Aquests QDs es poden utilitzar per emetre llum infraroja visible o propera de qualsevol longitud d'ona excitada per la llum amb una longitud d'ona més curta.

L'estructura de QD-LED utilitzada per al sistema d'excitació elèctrica és similar al disseny bàsic de OLED . Una capa de punts quàntics es troba intercalada entre capes de transport de electrons i materials de transport de forats. Un camp elèctric aplicat fa que els electrons i els forats es moguin a la capa de punts quàntics i es recombinen formant un excitó que excita un QD. Aquest esquema és comunament estudiat per a la visualització de punts quàntics . La sintonització de les longituds d'ona d'emissió i l'ample de banda estreta també són beneficiosos com a fonts d'excitació per a la imatge de fluorescència. S'ha demostrat la fluorescència de microscòpia òptica d' escrutini propera (NSOM) que utilitza un QD-LED integrat. [36]

Al febrer de 2008, es va aconseguir una eficàcia lluminosa de 300 lúmenes de llum visible per watt de radiació (no per vàlvula elèctrica) i emissió de llum càlida utilitzant nanocristalls . [37]

Referències

Mueller, Gerd (2000) Electroluminescència I , Premsa Acadèmica, ISBN 0-12-752173-9 , p. 67, "cone de fuita de la llum" de semiconductors, il·lustracions de cons de llum a la p. 69

"Propietats òptiques del silici" . PVCDROM.PVEducation.org . Arxivat des de l'original el 2009-06-05.

Refracció - Llei de Snell . Interactagram.com. Obtingut el 16 de març de 2012.

Lipták, Bela G. (2005) Manual d'enginyers d'instruments: control i optimització de processos , CRC Press, ISBN 0-8493-1081-4 p. 537, "con de llum" en el context de fibres òptiques

Capper, Peter; Mauk, Michael (2007). Epitaxi de fase líquida de materials electrònics, òptics i optoelectrònics . Wiley. p. 389. ISBN 978-0-470-85290-3 . Les estructures facetes són d'interès per a cel·les solars, LEDs, dispositius termo-fotovoltaics i detectors en què les superfícies i les facetes no planificades poden millorar l'acoblament òptic i els efectes de captura de llum, [amb microfotografia d'exemple d'un substrat de cristall facultat].

Dakin, John and Brown, Robert GW (eds.) Manual d'optoelectrònica, Tomo 2 , Taylor & Francis, 2006 ISBN 0-7503-0646-7 p. 356, "La conformació de la matriu és un pas cap a la solució ideal, la d'una font de llum puntual al centre d'una matriu de semiconductors esfèrics".

Schubert, E. Fred (2006) díodes emissors de llum , Cambridge University Press, ISBN 0-521-86538-7 pàg. 97, "Encapsulants d'epoxy", "L'eficiència de l'extracció de la llum pot millorar-se mitjançant l'ús d'encapsulants en forma de cúpula amb un gran índex de refracció".

"Tot en 1 Guia de solucions d'il·luminació LED" . PhilipsLumileds.com . Philips . 2012-10-04. p. 15. Arxivat des de l'original (PDF) el 14 de març de 2013 . Obtingut de 2015-11-18 .

"Nichia presenta LED blanc amb eficiència lluminosa de 150 lm / W" . Tech-On !. 21 de desembre de 2006 . Obtingut el 13 d'agost de 2007 .

"Cree estableix un nou registre per a l'eficiència LED blanca" , Tech-On, 23 d'abril de 2012.

"Cree primer per trencar 300 lúmens per vàlvula" , Cree news

DOE Il·luminació en estat sòlid CALiPER Programa Resum de resultats: ronda 9 de prova de productes (PDF) . Departament d'Energia dels EUA. Octubre de 2009.

Identificació de les causes de la Eficiència LED Droop Arxivada el 13 de desembre de 2013, a la màquina Wayback , per Steven Keeping, Digi-Key Corporation Tech Zone

Stevenson, Richard (agost de 2009) The Dark Secret de LED: la il·luminació d'estat sòlid no suplantarà la bombeta fins que pugui superar la misteriosa malaltia coneguda com a droop . IEEE Spectrum

Iveland, Justin; Martinelli, Lucio; Peretti, Jacques; Speck, James S .; Weisbuch, Claude. "Causa de la Eficiència LED Droop Finalment Revelada" . Cartes de revisió física, 2013 . Diari de ciències . Obtingut el 23 d'abril de 2013 .

McKinney, Donna (19 de febrer de 2014) Un full de ruta per a un eficient díode emissor de llum verd-blau-ultraviolat , laboratori d'investigació naval dels EUA

Cooke, Mike (11 de febrer de 2014) Permetent l'operació d'alt voltatge InGaN LED amb substrat ceràmic , Semiconductor Today

"Lifetime of White LEDs" . Arxivat des de l'original el 10 d'abril de 2009 . Obtingut 2009-04-10 . , Departament d'Energia dels Estats Units

Arnold, J. Quan els llums surten: modes i mecanismes de falles LED . Solucions DfR

Narendran, N .; Y. Gu (2005). "Vida de fonts de llum blanca basades en LED". IEEE / OSA Journal of Display Technology . 1 (1): 167-171. Bibcode : 2005JDisT ... 1..167N . doi : 10.1109 / JDT.2005.852510 .

Conway, KM i JD Bullough. 1999. Els LED transformaran els senyals de trànsit com símbols de sortida? Actes de la Conferència Anual de la Societat d'Enginyeria Il·luminadora d'Amèrica del Nord (pàg. 1-9), Nova Orleans, Louisiana, del 9 al 11 d'agost. Nova York, NY: Illuminating Engineering Society of North America.

OSRAM: LED verd Arxivat el 21 de juliol de 2011, a la màquina Wayback . osram-os.com. Obtingut el 16 de març de 2012.

Koizumi, S .; Watanabe, K .; Hasegawa, M .; Kanda, H. (2001). "Emissió ultraviolada d'un pont de diamant pn". Ciència . 292 (5523): 1899-1901. BIBLIOTECA : 2001Sci ... 292.1899K . doi : 10.1126 / science.1060258 . PMID 11397942 .

Kubota, Y .; Watanabe, K .; Tsuda, O .; Taniguchi, T. (2007). "Nitrosi borós hexagonal emissor ultraviolat profund sintetitzat a pressió atmosfèrica". Ciència . 317 (5840): 932-934. Bibcode : 2007Sci ... 317..932K . doi : 10.1126 / science.1144216 . PMID 17702939 .

Watanabe, K .; Taniguchi, T .; Kanda, H. (2004). "Propietats de banda directe i proves d'atenuació ultraviolada de cristall únic de nitruro de bor de broma hexagonal". Materials de naturalesa . 3 (6): 404-409. Bibcode : 2004NatMa ... 3..404W . doi : 10.1038 / nmat1134 . PMID 15156198 .

Taniyasu, Y ;; Kasu, M .; Makimoto, T. (2006). "Un díode emissor de llum de nitruro d'alumini amb una longitud d'ona de 210 nanòmetres". Naturalesa . 441 (7091): 325-328. Bibcode : 2006Natur.441..325T . doi : 10.1038 / nature04760 . PMID 16710416 .

"Els LED es mouen a l'ultraviolat" . physicsworld.com. 17 de maig de 2006 . Obtingut el 13 d'agost de 2007 .

Com cablear / connectar els LEDs arxivats el 2 de març de 2012, a la màquina Wayback . Llamma.com. Obtingut el 16 de març de 2012.

Tipus LED per color, brillantor i química . Donklipstein.com. Obtingut el 16 de març de 2012.

Quantum-dot LED pot ser una pantalla d'elecció per a la futura electrònica Massachusetts Institute of Technology News Office, el 18 de desembre de 2002

Neidhardt, H .; Wilhelm, L .; Zagrebnov, VA (febrer de 2015). "Un nou model per a la llum quàntica de llum que absorbeix la llum: proves i suplements" . Nanosistemes: Física, Química, Matemàtiques . 6 (1): 6-45. doi : 10.17586 / 2220-8054-2015-6-1-6-45 . Obtingut 2015-10-31 .

Colvin, VL; Schlamp, MC; Alivisatos, AP (1994). "Diodos emissors de llum a partir de nanocristalls de selenidi de cadmi i polímers semiconductors". Naturalesa . 370 (6488): 354-357. Codi bibode : 1994Natur.370..354C . doi : 10.1038 / 370354a0 .

"Punts d'invent accidental al final dels bulbs" . LiveScience.com. 21 d'octubre de 2005 . Obtingut el 24 de gener de 2007 .

Nanoco signa un acord amb Major Electronics Electronics Company , nanocogroup.com (23 de setembre de 2009)

Nanotechnologie Aktuell, pp. 98-99, v. 4, 2011, ISSN 1866-4997

Hoshino, K .; Gopal, A .; Glaz, MS; Vanden Bout, DA; Zhang, X. (2012). "Imatges de fluorescència a la nanoescala amb electroluminiscencia near-field de punt quàntic". Cartes de física aplicada . 101 (4): 043118. Bibcode : 2012ApPhL.101d3118H . doi : 10.1063 / 1.4739235 .

Inman, Mason (1 de febrer de 2008). "Llum de cristall escalfa la llum LED" . newscientist.com . Obtingut el 30 de gener de 2012 .

Enllaços externs

Color	Rang de longitud d'ona (nm)	Coeficient d'eficiència típic	Eficàcia típica (lm / W)

Vermell
620 < ? <645
0,39
72

Taronja vermell
610 < ? <620
0.29
98

Verd
520 < ? <550
0.15
93

Cian
490 < ? <520
0.26
75

Blau
460 < ? <490
0,35
37

Color Longitud d'ona [nm] Caiguda de tensió [?V] Material semiconductor

Infrarojos
? > 760
? V <1.63
Arsènido de gal (GaAs)
Arseniuro de gal·lio d' alumini (AlGaAs)

Vermell
610 < ? <760
1,63 <? V <2,03
Arseniuro de gal·lio d' alumini (AlGaAs)
Fosfuro d' arsènic de gal (GaAsP)
Aluminum galium indium phosphide (AlGaInP)

Fosfat de gal (III) (GaP)

taronja
590 < ? <610
2.03 <? V <2.10
Fosfuro d' arsènic de gal (GaAsP)
Aluminum galium indium phosphide (AlGaInP)
Fosfat de gal (III) (GaP)

Groc
570 < ? <590
2.10 <? V <2.18
Fosfuro d' arsènic de gal (GaAsP)
Aluminum galium indium phosphide (AlGaInP)
Fosfat de gal (III) (GaP)

Verd
500 < ? <570
1.9 [22] <? V <4.0
Verd tradicional:
Fosfat de gal (III) (GaP)
Aluminum galium indium phosphide (AlGaInP)
Fosfat de gal·lio d' alumini (AlGaP)
Verd pur:
Indi nitruro de gal (InGaN) / nitruro de gal (III) (GaN)

Blau
450 < ? <500
2,48 <? V <3,7
El selenidi de zinc (ZnSe)
Indi nitruro de gal (InGaN)
Safir sintètic, carbur de silici (SiC) com a substrat amb o sense epitaxi,
El silici (Si) com a substrat en desenvolupament (l'epitaxi sobre el silici és difícil de controlar)

violeta
400 < ? <450
2,76 <? V <4.0
Indi nitruro de gal (InGaN)

Ultraviolat
? <400
3 <? V <4.1

Indi nitruro de gal (InGaN) (385-400 nm)
Diamant (235 nm) [23]
Nitruro de bor (215 nm) [24] [25]
Nitruro d' alumini (AlN) (210 nm) [26]
El nitruro de gal·lio d' alumini (AlGaN)
El gal·lio d' alumini de nitruro d'indi (AlGaInN) -després de 210 nm [27]

Rosa
Tipus múltiples
? V ?3.3 [28]
Blau amb una o dues capes de fòsfor,
groc amb el fòsfor vermell, taronja o rosa afegit posteriorment,
blanc amb plàstic rosa,
o fòsfor blanc amb pigment rosa o tint sobre la part superior. [29]

Porpra
Tipus múltiples
2,48 <? V <3,7
LEDs blaus / vermells de doble color,
blau amb fòsfor vermell,
o blanc amb plàstic violeta

Blanc
Ampli espectre
2,8 <? V <4.2
Blanc fred / pur: díode blau / UV amb fòsfor groc
Blanc càlid: díode blau amb fòsfor de color taronja

Wikimedia Commons té mitjans relacionats amb díodes emissors de llum i díodes emissors de llum (SMD) .