

---

# Història del LED

Autor:

Data de publicació: 01-02-2019

Dispositius primerencs

L'electroluminiscència verda des d'un punt de contacte en un cristall de SiC recrea l'experiment original de Henry Round a partir de 1907.

L'electroluminiscència com a fenomen va ser descobert el 1907 per l'experimentador britànic HJ Round of Marconi Labs , usant un cristall de carbur de silici i un detector de bigotis de gat . [12] [13] L'inventor rus Oleg Losev va informar la creació del primer LED el 1927. [14] La seva investigació es va distribuir a revistes científiques soviètiques, alemanyes i britàniques, però no es va fer cap ús pràctic del descobriment durant diverses dècades. [15] [16]

El 1936, Georges Destriau va observar que es podria produir electroluminiscència quan el pols de sulfur de zinc (ZnS) es suspèn en un aïllant i s'aplica un camp elèctric altern. En les seves publicacions, Destriau sovint es referia a la luminescència com Losev-Light. Destriau va treballar en els laboratoris de Madame Marie Curie , també pionera en el camp de la luminescència amb la investigació sobre radi . [17] [18]

Kurt Lehovec , Carl Accardo i Edward Jamgochian van explicar aquests primers díodes emissors de llum el 1951 utilitzant un aparell que utilitza cristalls SiC amb una font de corrent de bateria o generador d'impulsos i amb una comparació amb una variant de cristall pur en 1953. [19] [20]

Rubin Braunstein [21] de la Ràdio Corporation of America va informar sobre l'emissió d'infrarojos a partir d'arseniuro de gal·li (GaAs) i altres aliatges de semiconductors el 1955. [22] Braunstein va observar una emissió d'infrarojos generada per estructures de díodes simples utilitzant antimonis de galio (GaSb), GaAs, indium aliatges de fosfuro (InP) i silici-germani (SiGe) a temperatura ambient i 77 kelvins .

El 1957, Braunstein va demostrar encara més que els dispositius rudimentaris podien ser utilitzats per a la comunicació no radiofònica a una curta distància. Com va assenyalar Kroemer [23], Braunstein "... havia creat un enllaç de comunicació òptic senzill: la música que sorgia d'un reproductor de discos es va utilitzar a través d'electrònica adequada per modular la corrent cap endavant d'un díode GaAs. La llum emesa va ser detectada per un díode PbS alguns a distància. Aquest senyal es va alimentar a un amplificador d'àudio i es va reproduir per un altaveu. Interceptar el feix va aturar la música. Ens divertim molt bé amb aquesta configuració ". Aquesta configuració preconitzava l'ús de LED per a aplicacions de comunicació òptica.

Un Texas Instruments SNX-100 GaAs LED que es troba en una caixa metàl·lica de transistors TO-18

---

Al setembre de 1961, mentre treballava a Texas Instruments a Dallas, Texas, James R. Biard i Gary Pittman van descobrir unes emissions de llum gairebé infrarojes (900 nm) d'un díode de túnel que havien construït sobre un substrat de GaAs. [8] A l'octubre de 1961, havien demostrat una eficient emissió de llum i un acoblament de senyals entre un emissor lleuger de la unió GaAs pn i un fotodetector semiconductor aïllat elèctricament. [24] El 8 d'agost de 1962, Biard i Pittman van presentar una patent titulada "Semiconductor Radiant Diode" basant-se en les seves troballes, que van descriure una unió de p-n de difusió de zinc amb un contacte espacial de càtode per permetre una emissió eficient de llum infraroja sota el perjudici cap endavant. Després d'establir la prioritat del seu treball basat en quaderns d'enginyeria abans dels enviaments de GE Labs, RCA Research Labs, IBM Research Labs, Bell Labs i Lincoln Lab al MIT, l'oficina de patents nord-americana va emetre als dos inventors la patent per a l'infraroig GaAs (IR) díode emissor de llum (US Patent US3293513), el primer LED pràctic. [8] Immediatament després de presentar la patent, Texas Instruments (TI) va començar un projecte per fabricar díodes d'infrarojos. A l'octubre de 1962, TI va anunciar el primer producte LED comercial (el SNX-100), que va emprar un cristall pur de GaAs per emetre una sortida de llum de 890 nm. [8] A l'octubre de 1963, TI va anunciar el primer LED hemisfèric comercial, el SNX-110. [25]

El primer LED d'espectre visible (vermell) va ser desenvolupat el 1962 per Nick Holonyak, Jr. mentre treballava a General Electric. Holonyak va informar primer el seu LED a la revista Applied Physics Letters l'1 de desembre de 1962. [26] [27] M. George Craford, [28] un ex estudiant graduat d'Holonyak, va inventar el primer LED groc i va millorar la brillantor del vermell i LED de color vermell ataronjat en un factor de deu en 1972. [29] El 1976, TP Pearsall va crear els primers LEDs d'alta brillantor i alta eficiència per a les telecomunicacions de fibra òptica inventant nous materials semiconductors específicament adaptats a les longituds d'ona de transmissió de fibra òptica. [30]

#### Desenvolupament comercial inicial

Els primers LED comercials s'utilitzaven habitualment com a reemplaçadors per a llums d'indicadors de llum incandescent i de neó, i en pantalles de set segments [31], primer en equips costosos, com equips de proves de laboratori i electrònics, després en aparells com calculadores, televisors, ràdios, telèfons i rellotges (vegeu la llista d'usos del senyal). Fins a 1968, els LEDs visibles i infrarojos eren extremadament costosos, en l'ordre de 200 dòlars EUA per unitat, i tenien poc ús pràctic. [32] La companyia Monsanto va ser la primera organització a produir massivament LEDs visibles, utilitzant fosfur de arseniur de gali (GaAsP) el 1968 per produir LEDs vermells adequats per a displays indicadors. [32] Hewlett-Packard (HP) va introduir el seu LED el 1968, inicialment utilitzant GaAsP subministrat per Monsanto. Aquests LEDs vermells eren prou brillants només per utilitzar-los com indicadors, ja que la sortida de llum no era suficient per il·luminar una àrea. Les lectures en les calculadores eren tan petites que les lents de plàstic es van construir sobre cada dígit per fer-les llegibles. Més tard, altres colors es van fer extensius i van aparèixer en aparells i equips. A la dècada de 1970, Fairchild Optoelectronics va produir uns dispositius LED comercialment reeixits a menys de cinc cèntims. Aquests dispositius van emprar xips de semiconductors compostos fabricats amb el procés planar inventat pel Dr. Jean Hoerni de Fairchild Semiconductor. [33] [34] La combinació de processos plans per a la fabricació de xips i mètodes innovadors d'envasat va permetre a l'equip de Fairchild liderat per Thomas Brandt, pioner de l'optoelectrònica, aconseguir les reduccions de costos necessàries. [35] Els productors LED segueixen utilitzant aquests mètodes. [36]

Pantalla LED d'una calculadora científica TI-30 (aprox. 1978), que utilitza lents de plàstic per augmentar la grandària dels díigits visibles

Els primers LED es van empaquetar en estoigs metàl·lics similars als dels transistors, amb una finestra de vidre o lent per deixar que la llum estigui fora. Els LED indicadors moderns estan empaquetats en caixes de plàstic modelat transparent, de forma tubular o rectangular, i sovint tenyides per a que coincideixin amb el color del dispositiu. Els dispositius infrarojos es poden teixir, per bloquejar la llum visible. S'han adaptat paquets més complexos per a la dissipació de calor eficient en LED d'alta potència. Els LEDs superiors a la superfície redueixen encara més la mida del paquet. Els LED destinats a l'ús amb cables de fibra òptica poden subministrar-se amb un connector òptic.

---

## LED blau

El primer LED de color blau violeta que utilitzava nitruro de galio amb magnesi va ser fabricat a la Universitat de Stanford l'any 1972 per Herb Maruska i Wally Rhines, estudiants de doctorat en ciència i enginyeria de materials. [37] [38] En el moment en què Maruska estava a la baixa de RCA Laboratories, on va col·laborar amb Jacques Pankove en treballs relacionats. El 1971, l'any després que Maruska va deixar a Stanford, els seus col·legues RCA, Pankove i Ed Miller, van demostrar la primera electroluminiscència blava a partir de nitruro de gal·li amb zinc, tot i que el posterior dispositiu Pankove i Miller va crear el primer díode emissor de nitruro de gal·li llum verda. [39] [40] El 1974, l'Oficina de Patents dels Estats Units va concedir a Maruska, Rhines i Stanford professor David Stevenson una patent per al seu treball el 1972 (US Patent US 3819974 A). Avui en dia, el dopatge de magnesi del nitruro de galio continua sent la base per a tots els LEDs blaus comercials i díodes làser. A principis dels setanta, aquests dispositius eren massa dèbils per al seu ús pràctic, i la investigació sobre els dispositius de nitruro de gal·li es va desaccelerar.

A l'agost de 1989, Cree va introduir el primer LED blau disponible comercialment basat en el semiconductor indirecte de bandgap, carbur de silici (SiC). [41] Els LED SiC tenien una eficiència molt baixa, no més que al voltant del 0,03%, però es van emetre a la part blava de l'espectre de llum visible. [42]

A la fi de la dècada de 1980, els avenços clau en el creixement epitaxial de GaN i el dopatge tipus p [43] van donar pas a l'era moderna dels dispositius optoelectrònics basats en GaN. Sobre la base d'aquesta fundació, Theodore Moustakas de la Universitat de Boston va patentar un mètode per produir LEDs d'alta brillantor amb un nou procés de dos passos. [44]

Dos anys més tard, el 1993, Shuji Nakamura de Nichia Corporation va demostrar LEDs d'alta brillantor amb un procés de creixement de nitruro de galio similar al de Moustakas. [45] [46] [47] Tant Moustakas com Nakamura van emetre patents separades, que van confondre el problema de qui va ser l'inventor original (en part perquè, malgrat que Moustakas va inventar el seu primer, Nakamura va presentar primer). Aquest nou desenvolupament va revolucionar la il·luminació LED, fent pràctiques pràctiques de llum blava d'alta potència, que van conduir al desenvolupament de tecnologies com Blu-ray, a més de permetre les brillants pantalles d'alta resolució de tabletas i telèfons moderns. [ cita requerida ]

Nakamura va ser guardonat amb el Premi de Tecnologia Millennium 2006 per la seva invenció. [48] Nakamura, Hiroshi Amano i Isamu Akasaki van ser guardonats amb el Premi Nobel de Física en 2014 per la invenció del LED blau. [49] L'any 2015, un tribunal nord-americà va dictaminar que tres companyies havien infringit la patent prèvia de Moustakas, i va ordenar que paguin càrrecs de llicència de no menys de 13 milions de dòlars. [50]

Paral·lelament, Isamu Akasaki i Hiroshi Amano a Nagoya treballen en el desenvolupament de la important nucleació de GaN sobre els substrats de safir i la demostració del dopatge tipus p de GaN. El 1995, Alberto Barbieri del Laboratori de la Universitat de Cardiff (GB) va investigar l'eficiència i fiabilitat dels LEDs d'alta brillantor i va demostrar un LED de "contacte transparent" amb òxid d'indi (ITO) a (AlGaInP / GaAs).

En 2001 [51] i 2002, [52] es van demostrar amb èxit processos per a la formació de LEDs de nitruro de gal (GaN) sobre silici. Al gener de 2012, Osram va demostrar que els LED InGaN d'alta potència es van desenvolupar en substrats de silici comercialment, [53] i els LEDs de GaN-on-silicon estan en producció en Plessey Semiconductors. A partir de 2017, alguns fabricants utilitzen SiC com a substrat per a la producció de LED, però el safir és més comú, ja que té les propietats més semblants a les del nitruro de gal, reduint la necessitat de patrons de la oblea de safir (els wafers estampats són coneguts com epi hòsties). Samsung, la Universitat de Cambridge i Toshiba estan investigant els LEDs de GaN on Si. Toshiba ha deixat d'investigar, possiblement a causa de baixos rendiments. [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60] Alguns opten per l'epitaxi, que és difícil en silici, mentre que altres, com la Universitat de Cambridge, opten per una estructura de múltiples capes, en part per tal de reduir la incompatibilitat de la xarxa (cristall) i les diferents proporcions d'expansió tèrmica, per evitar el craqueig del xip LED a altes temperatures (per exemple, durant la fabricació), reduir la generació de calor i augmentar l'eficiència lluminosa. L'epitaxi (o safir modelat) es pot realitzar amb una litografia de nanoimpressió. [61] [62] [63] [64] [65] [66] [67]

## nPola LED

El 5 de juliol de 2012 Seoul Semiconductors va presentar el nPola LED (de llum blava que cal filtrar cap a altres colors[2]) - de 5 a 10 vegades més brillant que el LED estàndard. El nou LED aconsegueix 500 lumen/W contra els 100 lumen/W obtinguts fins aquell moment. Un avenç molt important que permet substituir amb avantatge els llums fluorescents compactes. Per a la producció d'una làmpada LED que reemplaça a una bombeta de 60 W a la llar, en general s'utilitzen uns 10-20 LED actuals. Per donar una idea, la mateixa intensitat lumínica ara es pot aconseguir amb només un o dos LEDs nPola.[3]

---

LEDs blancs (o nPola LEDs tenyits) i avanç de la il·luminació

Tot i que la llum blanca es pot crear usant LEDs vermells, verds i blaus individuals, això resulta en una mala representació del color, ja que només s'emeten tres bandes estretes de longituds d'ona de llum. La consecució de LEDs d'alta eficiència blau va ser ràpidament seguida pel desenvolupament del primer LED blanc. En aquest dispositiu una Y

3 Al

5 O

12 : El recobriment de fos (fos conegut com " YAG ") per cerium produeix llum groga a través de la fluorescència. La combinació d'aquest groc amb la llum blava restant apareix blanca a l'ull. L'ús de diferents fòsfor produeix llum verda i vermella a través de la fluorescència. La barreja resultant de vermell, verd i blau es percep com a llum blanca, amb una millor representació del color en comparació amb les longituds d'ona de la combinació de fòsfor blau LED / YAG.

Il·lustració de la llei de Haitz, que mostra una millora en la producció de llum per LED al llarg del temps, amb una escala logarítmica a l'eix vertical

Els primers LED blancs eren cars i ineficients. No obstant això, la sortida de llum dels LED s'ha incrementat de manera exponencial. Les últimes investigacions i desenvolupaments han estat propagades per fabricants japonesos com Panasonic i Nichia, i per fabricants coreans i xinesos com Samsung, Kingsun i altres. Aquesta tendència a l'augment de la producció s'ha denominat llei de Haitz després del Dr. Roland Haitz. [68]

El rendiment de la llum i l'eficiència dels LEDs blaus i gairebé ultraviolats van augmentar i el cost dels dispositius fiables va baixar. Això va conduir a uns LEDs de llum blanca relativament d'alta potència per a la il·luminació, que substitueixen la llum incandescent i fluorescent. [69] [70]

S'han demostrat LEDs blancs experimentals per produir 303 lúmens per watt d'electricitat (lm / w); Alguns poden durar fins a 100.000 hores. [71] [72] No obstant això, els LED comercialment disponibles tenen una eficiència de fins a 223 lm / w. [73] [74] [75] En comparació amb les bombetes incandescents, això no és només un gran augment de l'eficiència elèctrica, sinó que, amb el temps, un cost similar o menor per bombeta. [76]

El xip LED està encapsulat dins d'un motlle petit, plàstic i blanc. Es pot encapsular amb resina, silicona o epòxid que conté (en pols) el fòsfor YAG dopat amb cerium. Després de permetre que els dissolvents s'evaporen, els LED es comproven sovint, i es col·loquen en cintes per a equips de col·locació SMT per utilitzar-los en la producció de bombetes LED. L'encapsulació es realitza després de realitzar proves, corrosió, transferència de matrius a partir d'obles a envasos i fixació de filferro o muntatge de xip, potser utilitzant òxid d'indi, un conductor elèctric transparent. En aquest cas, els fils de connexió s'adjunten a la pel·lícula de l'ITO que s'ha dipositat als LED. Algunes bombetes LED de "fòfor remot" utilitzen una única coberta de plàstic amb fòsfor YAG per a diversos LEDs blaus, en lloc d'utilitzar recobriments de fòsfor en LED blancs amb xip individual.