

Reculls periòdics

TECNICA

Les cèl·lules fotoelèctriques. Històrica i obteniment¹

Les recerques sobre les propietats de les cèl·lules fotoelèctriques tenen llur punt d'origen en els experiments de HERTZ en 1887, els quals conduïren al descobriment de la telegrafia sense fils. HERTZ havia observat que un esclatador, exposat a la llum d'una guspira elèctrica, donava una descàrrega més forta que en la cambra negra. Per un seguit d'enginyoses deduccions, explicà aquest fenomen per l'acció dels raigs ultravioletes procedents de la guspira il·luminadora, però no tractà d'establir-ne la raó. WIEDEMANN i EBERÉ confirmaren en 1888 les observacions de HERTZ i demostraren a més, que el fenomen es limitava a l'elèctrode negatiu de l'esclatador. L'any següent, HALLWACHS observà que sota la influència de la llum ultravioleta un cos carregat negativament perd la seva càrrega i que un cos isolat pren una càrrega positiva. Ell establí la llei que porta el seu nom: Un cos sotmès a l'acció dels raigs ultravioletes perd la seva electricitat negativa, i aquesta es desplaça segons les línies de força del camp elèctric. En 1890, STOLETOW reeixí a produir un corrent elèctric en un circuit obert que portava en un dels punts d'interrupció una placa metàl·lica polida, sotmetent aquesta darrera a l'acció de la llum ultravioleta. ELSTER i GEITEL observaren el mateix any que determinats metalls, tals com l'alumini, el magnesi i el zinc, són més sensibles a l'experiment de STOLETOW. Des del punt de vista de les accions químiques, aquests metalls són electropositius. Els dos físics arribaren a la conclusió que probablement s'obtidrien millors resultats amb metalls encara més electropositius, com el liti, el sodi, el potassi, el rubidi i el cesi. Però com que aquests s'oxiden immediatament en contacte de l'aire humit, s'empraren primer llurs amalgames, les quals es revelaren immediatament molt més sensibles que totes les substàncies assajades precedentment. El més remarcable fou que guardaven la propietat de trametre el corrent quan se les sotmetia a les radiacions ultravioletes a través d'una pantalla de vidre ordinari. ELSTER i GEITEL arribaren a la conclusió que les accions elèctriques, precedentment atribuïdes solament als raigs ultravioletes, procedien, també, dels raigs visibles. L'any següent, en 1891, ELSTER i GEITEL donaren la descripció detallada de la primera cèl·lula fotoelèctrica: l'amalgama de sodi hi era disposada en una ampolla de vidre buidat d'aire el millor possible. De moment, no es preveïen les aplicacions d'aquesta cèl·lula. Simple peça de laboratori, interessava només als investigadors i als

¹ V. K. ZVORYKIN, *Journal of The Franklin Institute*, Philadelphia, juliol 1931.

savis. Cap aquella mateixa època, a Cambridge, J. J. THOMPSON assolí de posar en evidència els electrons, petites partícules carregades negativament. Aplicant aquesta nova teoria, ELSTER i GEITEL trobaren que molt probablement llur cèl·lula fotoelèctrica funcionava per l'emissió d'electrons. El mateix any, LENARD confirmava aquests resultats per una sèrie d'experiments molt enginyosos. Dels treballs experimentals sobre aquest assumpte es desprenen molt aviat tres lleis importants: 1. El nombre d'electrons emès per unitat de temps per una superfície fotoelèctrica és directament proporcional a la intensitat de la llum incident. - 2. El màxim d'energia dels electrons sortits d'una superfície fotoelèctrica no depèn pas de la intensitat de la llum incident, sinó que és directament proporcional a la seva freqüència de vibració. - 3. El nombre d'electrons i llur velocitat són, dins de grans límits, independents de la temperatura.

Aquestes propietats no rebien pas una explicació satisfactòria en física clàssica. EINSTEIN proposà en 1905 d'aplicar la teoria dels quanta de PLANCK. Segons aquesta concepció, un quantum d'energia lluminosa deslliurava un electró al qual comunicava una energia cinètica igual a la seva pròpia disminuïda del treball d'arrancament de l'electró al seu nucli atòmic. Representant per h la constant de PLANCK, per f la freqüència de la llum actuant, i per T el treball d'arrancament, es tindrà

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = hf - T$$

Es veu que, si $T = hf$, la velocitat dels electrons emesos és nul·la. Per tant, cal que f assoleixi un valor mínim perquè el fenomen es produeixi. L'experiència ha permès de verificar-ho.

Mètodes de preparació de les cèl·lules fotoelèctriques

Les cèl·lules fotoelèctriques influenciades per les radiacions visibles són sempre a base de metalls alcalins: liti, sodi, potassi, rubidí, cesi, o de terres alcalines: calci,

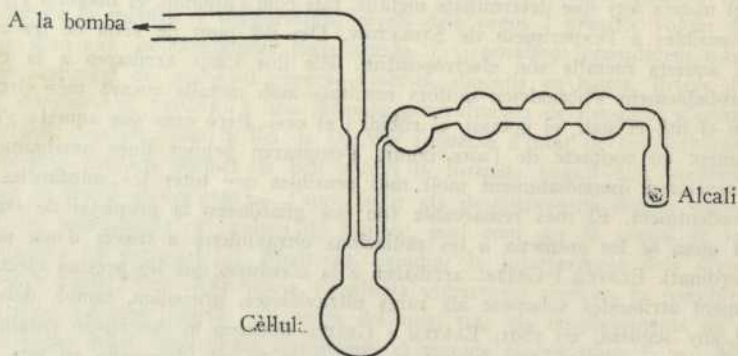


Fig. 1

estronci o bari. El dipòsit actiu de l'ampolla s'obté per solució, destil·lació, electrolisi o desintegració.

El procediment de dissolució és, actualment, de pràctica corrent. L'ampolla a sensibilitzar rep el metall alcalí dissolt en un dissolvent volàtil. Quan es practica el buit, el dissolvent s'evapora i deixa un dipòsit metàl·lic sobre el vidre. Aquest mètode és l'únic aplicable per al liti i s'utilitza l'etilamina com a dissolvent. El dipòsit per destil·lació s'obté col·locant un tros del metall escollit en un apèndix que comunica amb la cèl·lula per una sèrie de petites cambres de condensació (Fig. 1). Com que la temperatura de fusió dels àlcals és molt baixa, la destil·lació es fa fàcilment servint-se d'un metxer Bunsen o d'un petit forn elèctric. L'àlcali es fon ràpidament i comença a destil·lar, i es purifica a cada pas per una nova cambra de condensació fins que arriba a l'ampolla on es diposita directament sobre les parets o sobre un primer revestiment conductor d'argent. Cada metall presenta un màxim de sensibilitat per a una llargària d'onda definida, és a dir, per a un color determinat (Fig. 2). Totes les cèl·lules alcalines prepa-

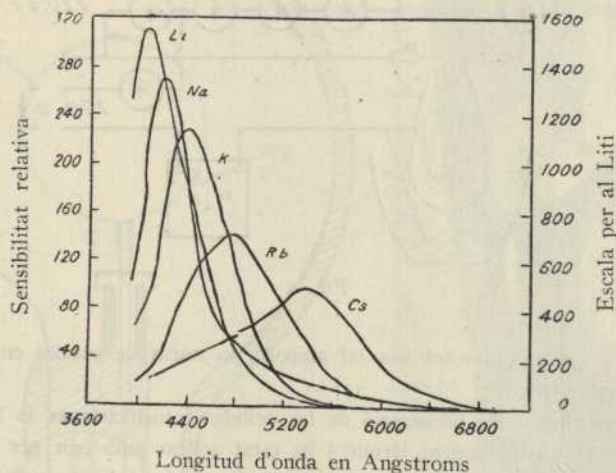


Fig. 2

rades pel mètode de solució o per destil·lació poden adquirir un notable increment de llur sensibilitat quan se les sotmet a una descàrrega en l'hidrogen. Així, per exemple, l'acció del potassi és centuplicada en aquestes condicions; en canvi, la del cesi no és afectada. Per a això s'introdueix l'hidrogen en l'ampolla a la pressió de 2 a 3 mm de mercuri i s'aplica una tensió de 300 volt entre l'ànode i el dipòsit alcalí que forma el càtode. La descàrrega luminiscent dona lloc a una coloració del dipòsit. L'operació exigeix pocs segons; però la sensibilitat queda acrescudada durant molt de temps i només desapareix de mica en mica. Hom allarga aquesta durada omplint l'ampolla d'un gas inert, tal com l'argon o el neon, després d'haver tret l'hidrogen.

El sodi i el potassi poden ésser dipositats per electròlisi, segons el procediment indicat en 1925 per R. C. BURT. L'ampolla buida d'aire destinada a rebre el sodi ha d'ésser de vidre a base de sosa. S'utilitza, per exemple, una làmpada elèctrica ordinària de 60 watt, que hom disposa il·luminada en un bany de nitrat de sodi fos (punt de fusió 312°): un gros fil de coure serveix d'ànode (fig. 3). El corrent travessa el

nitrat i el vidre, el qual és lleugerament conductor en calent, i passa vers el filament incandescent degut a l'emissió electrònica. Els ions de sodi alliberats de la solució per electròlisi entren en el vidre i hi substitueixen els que són portats vers la superfície interna de l'ampolla i que, neutralitzats pels electrons vinguts del filament, es condensen sobre de la paret freda del vidre. Una quantitat relativament important de sodi metàl·lic pot així ésser introduïda en una làmpada sense el més petit perjudici per al vidre. El sodi dipositat és molt pur; dissortadament, la sensibilitat d'una cèl·lula d'aquest gènere és inferior a la que donen els dos procediments precedents. BURT no ha arribat a obtenir en les mateixes condicions el dipòsit de potassi; però en 1926, ZWORYKIN ho assolí emprant un vidre a base d'aquest metall que no contenia abso-

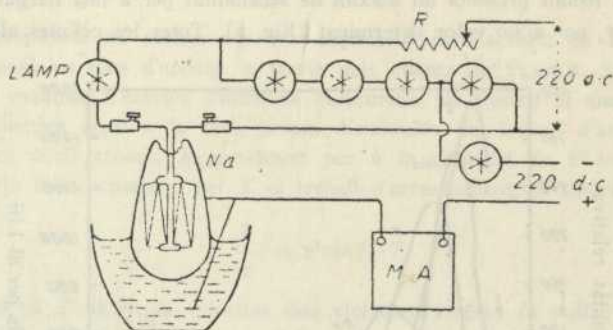


Fig. 3

lutament gens de sosa. Col·locant una tal ampolla en nitrat de potassi en fusió, realitza un dipòsit molt pur.

El quart procediment de preparació de les cèl·lules fotoelèctriques és la desintegració. Es basa sobre un tractament tèrmic i ha estat aplicat amb èxit per a les cèl·lules al cesi-magnesi, l'estructura i aspecte exterior de les quals poden veure's en les fig. 4 i 5. Dos fils són introduïts en l'ampolla; l'un precintat sobre la paret interna, i l'altre disposat al centre. Aquest darrer suporta un anell metàl·lic al qual van soldats petits trossos de magnesi lleugerament recoberts d'una solució aquosa de trinitrur de cesi. Practicat el buit a l'ampolla pels procediments habituals, hom escalfa l'anell mitjançant un corrent induït d'alta freqüència. El magnesi s'evapora i es condensa sobre de la paret. Al propi temps, el trinitrur és descomposat pel calor; el nitrogen es combina amb el magnesi de l'anell i els vapors calents del cesi deslliurat es condensen en una prima capa invisible, a sobre del magnesi ja dipositat. Escalfant amb un metxer Bunsen un determinat indret de l'exterior, s'evita que es faci en aquest lloc la condensació, amb la qual cosa s'hi practica una finestra per a l'admissió de les radiacions que han d'impressionar la cèl·lula. La sensibilitat és de l'ordre de dos micro-amperers per lumen, és a dir, aproximadament deu vegades la d'una cèl·lula de potassi tractada a l'hidrogen segons el mètode descrit més amunt.

Per a preparar la seva cèl·lula al bari, CASE recorregué, també, a una descomposició tèrmica. Un compost de bari és aplicat a sobre d'un filament en forma d'anell. S'escalfa fins que el bari sigui posat en llibertat i es condensa sobre d'un revestiment d'ar-

gent, prèviament dipositat sobre de la superfície interna de l'ampolla. Es reforça després la sensibilitat per mitjà d'un bombejament iònic. La cèl·lula més sensible fins al present coneguda és la d'òxid de cesi-argent. Posada al punt per KOLLER i THOMPSON, de la "General Electric Company", millorada després en col·laboració amb els laboratoris de recerques Westinghouse, ha assolit un alt grau de perfeccionament. El

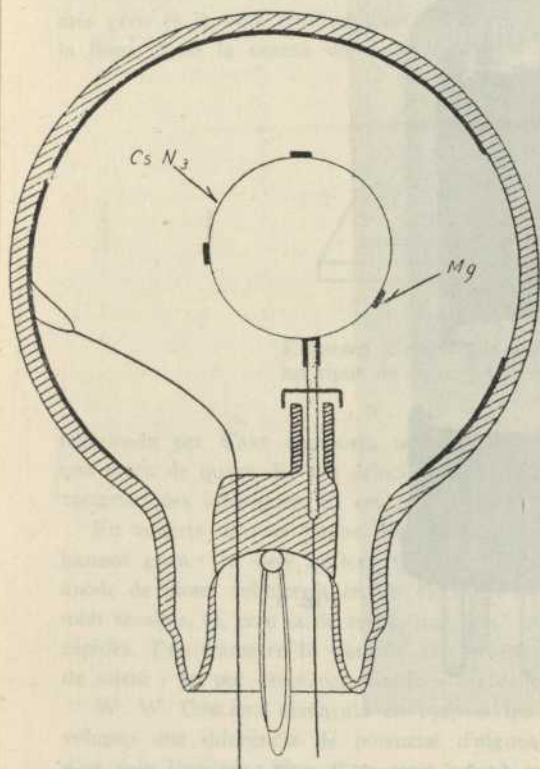


Fig. 4



Fig. 5

cesi prové de la descomposició pel calor d'un silicat. Es condensa sobre d'un càtode d'argent oxidat per una descàrrega elèctrica en oxigen pur. Escalfant aleshores en un forn, hom provoca la formació d'òxid de cesi (fig. 6).

La cèl·lula estudiada pels senyors M. E. IVES i O. R. OLPIN en els laboratoris de la "Bell Telephone Company" presenta una sensibilitat intermitja entre la de cesi-magnesi i la d'òxid de cesi-argent. És a base de sodi o de potassi. La seva qualitat és millorada per la presència de traces de sulfurs i d'oxigen. Es colora la seva superfície per tintures orgàniques com l'alitzarina per a augmentar la sensibilitat als raigs

vermells i el resultat és més marcat amb el sodi que amb el potassi. Aquesta cèl·lula a buit d'aire posseeix una sensibilitat de 25 micro-ampers per lumen. Hom pot elevar-la introduint un gas neutre a baixa pressió, argon o neon, les molècules del qual es ionitzen per xoc. La presència de gas a l'interior, fa la cèl·lula més sensible a les variacions de freqüència de la llum rebuda, i això presenta en la pràctica una gran importància. L'efecte és tant més considerable com la pressió a la qual treballa la cèl·lula és més elevada. A sota del potencial de ionització del gas, o sigui una quin-

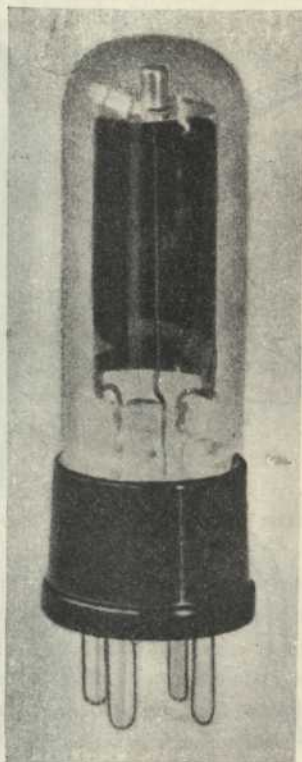


fig. 6

zena de volt, l'efecte és nul; de manera que a baixa tensió la cèl·lula es comporta com un tipus a buit d'aire.

En la majoria de les seves aplicacions, la cèl·lula fotoelèctrica és sotmesa a l'acció de la llum artificial, per a la qual el màxim d'energia es troba en la regió intraroja de l'espectre. S'ha reconegut, per altra banda, que a igualtat d'energia total emesa per la font lluminosa, les cèl·lules el màxim de sensibilitat de les quals es troba en el roig o en l'infraroig donen millors resultats que les que el presenten en el blau. Així, doncs, hom s'esforça d'acréixer la sensibilitat vers el roig. S'hi arriba, en general, per dipòsit sobre de la superfície activa d'una capa extraordinàriament prima, probablement monomolecular, d'un metall alcalí. Els experiments dels laboratoris Philips a Holanda han donat resultats absolutament concordants amb els laboratoris americans. Philips utilitza un film de fluorur de calci.

La cèl·lula fotoconductor

La cèl·lula fotoconductor es diferencia una mica de la cèl·lula fotoelèctrica, per més que en determinades aplicacions pràctiques hom pugui utilitzar indiferentment l'una o l'altra. La més antiga, la cèl·lula al seleni (fig. 7), fou descoberta per SMITH en 1873.

En el seu estat actual, és notablement més sensible que la millor cèl·lula fotoelèctrica. El seu funcionament, basat sobre un principi tot diferent, resulta del fet que la resistència elèctrica del seleni varia sota l'acció de la llum. El seu inconvenient més greu és la seva lentitud d'acció, que li priva de seguir variacions instantànies de la llum. Això la separa de moltes aplicacions. Una altra cèl·lula del mateix gènere

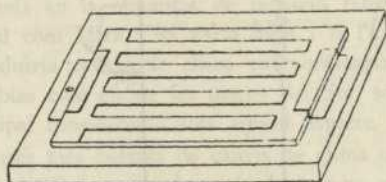


Fig. 7

Esquema d'electrodes interpenetrants per a un tipus de construcció de cèl·lules al seleni

imaginada per CASE comporta una prima capa d'oxisulfur de tali dipositada sobre una placa de quars. El seu principi és el mateix que el de la de seleni i presenta característiques idèntiques. El seu màxim de sensibilitat es troba en l'infra-roig.

En aquests darrers temps, les cèl·lules fotovoltàiques han gaudit d'una popularitat bastant gran. Un dels millors tipus és format per un càtode d'òxid de coure i un ànode de plom, submergit en un electròlit de nitrat de plom diluït. Aquesta cèl·lula, molt sensible, té, com la de seleni, una acció massa lenta per a una llum de fluctuacions ràpides. Per trametre la paraula per modulació d'un raig lluminós, és inferior a la de seleni i no pot ésser comparada a les cèl·lules fotoelèctriques plenes de gas.

W. W. COBLENZ assenyala en 1927 el fet que certs cristalls de molibdenita desenvolupen una diferència de potencial d'alguns mil·livolt quan són sotmesos a l'acció d'un raig lluminós. Fins al moment actual, no s'ha tret encara partit d'aquest descobriment.

Esmement, finalment, la cèl·lula a òxid de coure. Encara que ja utilitzada per HALLWACHS en els seus experiments sobre la llum ultravioleta no fou fins més tard que el Dr. GRONDAHL, de la "Union Switch & Signal Company", reconegué les seves propietats per a la llum ordinària.

Recentment, molts experimentadors, en particular LANGE i RUBEN, a Alemanya, han arribat a perfeccionar-la considerablement. El Dr. LANGE declara que ell ha pogut obtenir una sensibilitat de 500 micro-ampers per lumen. La preparació d'aquesta cèl·lula és molt senzilla. Una prima placa de coure electrolític és oxidada en un forn a una temperatura aproximadament de 1.000°. Hom l'ataca per un àcid i després es recobreix la superfície amb una reixa que serveix d'ànode, puix que el càtode és el

coure. Així es constitueix una pila òptica que descabdella una força electromotriu sota la influència de la llum. Aquest tipus de cèl·lula rendirà, certament, grans serveis en moltes aplicacions; però és massa aviat per a jutjar el seu pervindre. Exigeix, encara, notables perfeccionaments abans d'entrar en la pràctica corrent. Sembla, de totes maneres, difícil de reduir la seva capacitat relativament elevada, per tal de permetre-li de respondre instantàniament a les variacions de la llum.

Malgrat tots els perfeccionaments, la cèl·lula fotoelèctrica és incapaç d'assegurar

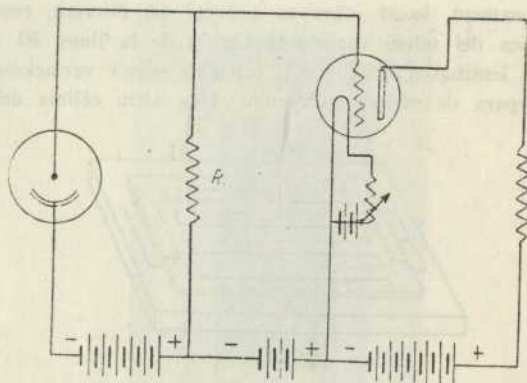


Fig. 8

el pas d'un corrent intens. No permet gairebé de sobrepassar un milionèssim d'ampere. Així, només pot interessar quan es disposa d'amplificadors suficients que no presentin deformació excessiva de l'onda inicial de corrent. Només utilitzant diverses etapes d'amplificació esdevé possible d'obtenir el corrent necessari per a la finalitat perseguida (fig. 8).

En el número pròxim completarem aquest treball amb un estudi de les aplicacions de les cèl·lules fotoelèctriques.