

Invenția se referă la procesele fizice de transformare a energiei radiației solare în energie electrică, în particular, la construcția contactelor și la compoziția chimică a materialelor, folosite la executarea elementelor conducătoare de curent și semiconductoare ale transformatorului fotoelectric (t.f.).

Este cunoscută compoziția peliculei subțiri și tehnologia de obținere a acesteia din semiconductor din siliciu policristalin hidrogenat [1] cu dimensiunile medii ale cristalelor mai mici de 10 nm conținând peste 50% de fază cristalină.

Dezavantajul peliculei de acest fel este conținutul în ea până la 40% de siliciu amorf, ceea ce duce la scăderea eficacității energetice a transformatorului și creează necesitatea măririi corespunzătoare a dimensiunilor ariei, suprafeței iradiate a semiconductorului, în scopul de a mări intensitatea curentului până la valori maxime posibile.

Este cunoscut și procedeul de executare a peliculei de acest fel din siliciu nanocristalin hidrogenat prin precipitarea de plasmă în vid pe suport din fază gazoasă, care conține în reactor silan, hidrogen și tetrafluorid de siliciu, la temperatura suportului de 80...300°C.

Dezavantajele procedeului sunt pătrunderea în compoziția peliculei a siliciului amorf, ceea ce duce la scăderea clarității optice a peliculei și la dispersia energiei razelor, ce cad pe faza cristalină, micșorarea pe unitate de suprafață a numărului de nanocristale de siliciu, care contactează cu elementele colectoare de curent și conducătoare de curent ale transformatorului; mărirea rezistenței de tranziție între ele; totodată are loc orientarea spontană a plantelor cristalografice interne centrate cubice și cu fețe centrale cubice ale celulelor elementare de siliciu, iar obținerea se realizează prin folosirea utilajului complicat, necesar în timpul executării operațiilor tehnologice, ceea ce duce la consumul de energie și de mijloace, totodată formarea peliculei decurge fără a fi controlată orientarea cristalelor acesteia.

Este cunoscut de asemenea contactul de pelicule groase între semiconductorul de siliciu cristalin și electrozii conducători de curent, care constau din pastă cu conținut de argint prelucrată la temperatură înaltă aplicată pe ambele părți ale semiconductorului, acoperită pe partea din spate cu aliaj de lipit preparat din cositor-plumb, iar de partea luminată – cu aliaj și cu acoperire de nichel [2].

Dezavantajul contactului constă în aceea că folosirea fondantului în timpul cositoririi și lipirii duce la scurgerea acestuia pe suprafața de lucru a semiconductorului, ecranarea parțială a acesteia, micșorarea suprafeței active, micșorarea eficacității energetice a celei; folosirea nichelului pentru acoperirea fâșiilor subțiri colectoare de curent mărește rezistența electrică a acestora și duce la consumul suplimentar de energie produsă pentru încălzirea semiconductorului, iar folosirea fâșiilor colectoare de curent complică procesul de fabricare și reduce siguranța t.f..

Mai apropiat după esența tehnică și rezultatul obținut este fototransformatorul semiconductor, luat în prezenta invenție în calitate de prototip [3], ce conține placa semiconductorului, a cărei parte din spate este acoperită cu aliaj de lipit preparat din cositor-plumb, iar suprafața frontală este unită de asemenea cu contacte metalice colectoare de curent din argint și nichel (sau din titan); fiind protejată contra acțiunilor externe de un strat de clei organosilicic, care servește concomitent pentru întărirea sticlei de siguranță, pe ale cărei îmbinări este aplicată o peliculă hidrofobă, sticla folosită are proprietatea de a forma în timpul radiației ionizante un câmp electric de frânare interior.

La dezavantajele prototipului se referă: folosirea fondantului în timpul cositoririi părții din spate a plăcii semiconductoare, ceea ce duce ulterior la folosirea incompletă a suprafeței active a acesteia, la micșorarea suprafeței de contactare a cristalelor semiconductorului cu aliajul de lipit din cauza pătrunderii fondantului în adâncituri și a ecranării de către aceștia a unei porțiuni a suprafeței reale a nanocristalelor semiconductorului, care la folosirea în fotoefect ar putea mări conductibilitatea electrică a stratului de tranziție și eficacitatea energetică a t-f-; folosirea plăcii policristaline din siliciu cu plane cristalografice parțial orientate duce la scăderea randamentului de curent al fiecărei unități de volum a materialului semiconductor; aplicarea pe partea frontală a t.f. a pastei cu conținut de argint la executarea fâșiilor înguste colectoare de curent este legată de asemenea cu murdărirea și cu ecranarea unei porțiuni a suprafeței de lucru a plăcii cu substanțele liante, reducerea clarității ei optice și înrăutățirea rezultatelor fotoefectului; folosirea sticlei de siguranță cu acoperire hidrofobă în condiții proprii Pământului de exploatare a t.f. micșorează puterea lui de ieșire, conform rezultatelor experimentale preliminare, nu mai puțin decât cu 17...20%.

Crearea cu ajutorul sticlei metalizate de siguranță a câmpului electric, care frânează electronii, în condiții proprii Pământului duce la micșorarea energiei razei care cade și puterea specifică de ieșire.

Până în prezent nu a fost formulată teoria care ar descrie adecvat fenomenele ce decurg în transformatorul semiconductor de energie a radiației solare în energie electrică, precum și procesele de regenerare cu foton, la ciocnirea acestuia cu electronul atomului rețelei cristaline a semiconductorului, electronului liber, transferabil la suprafața anodului încărcat pozitiv.

Pentru analiza funcțională a elementelor t.f. se iau trei corpuri, dintre care două reprezintă metale necunoscute cu conductibilitate electrică diferită, iar corpul al treilea este un semiconductor, de asemenea cu proprietăți fizico-chimice necunoscute, cum sunt, de exemplu, mărirea lucrului de ieșire al electronului, mărirea potențialului staționar al substanței, viteza de oxidare a acestuia în condițiile date, precum și valoarea potențialului Volta între aceste corpuri la apropierea lor.

S-a observat că termenii care se folosesc în literatura tehnică (noțiunile) potențialul Volta, potențialul de contact, potențialul difuz, precum și diferența de potențiale Lippman, de puncte zero, de potențiale ale suprafeței neîncărcate caracteristică practic una și aceeași mărime a tensiunii între două puncte ale corpurilor care contactează sau ale fazelor.

În prezent o înaltă exactitate de determinare a mărimilor acestora poate fi obținută, folosind metoda nouă de determinare a potențialului suprafeței neîncărcate ($\varphi_{\varepsilon=0}$) [4].

Între suprafețele curate care contactează ale celor trei corpuri apropiate după un anumit timp se stabilește echilibrul electronic, în legătură cu aceasta se poate admite că nivelurile Fermi pentru electronii acestor corpuri în momentul dat sunt egale cu una și aceeași mărime, de la care se poate efectua citirea nivelurilor energetice ale acestora, ca ale punctelor superioare ale gropilor de potențial corespunzătoare (vezi fig. 1) sau lucrului de ieșire (A) al electronilor din corpurile cercetate; între suprafețele electrozilor cu priză de curent apare diferența de potențiale ($\Delta\varphi$) și, prin urmare, se formează câmp electric cu o anumită intensitate (E), a cărei mărime $\approx (0,1\dots 0,9) \cdot 10^9$ V/m.

În fig. 1 este prezentată schema modelului energetic al transformatorului semiconductor de energie a radiației solare în energie electrică (în lipsa radiației ionizante), unde A_1 , A_2 , A_3 reprezintă lucrul de ieșire al electronului corespunzător din anod (A_1), din semiconductor (A_2) și din catod (A_3), calculat în raport cu nivelul Fermi (a–b).

Analiza modelului energetic a demonstrat că transformatorul semiconductor trebuie să lucreze cu atât mai eficient, cu cât este mai mare mărimea diferenței dintre lucrul de ieșire al electronului din materialul catodului (A_3) și al anodului (A_1), adică atunci când $A_3 > A_1$, iar când $A_3 = A_1$, t.f. nu trebuie să lucreze; iar în cazul în care $A_3 < A_1$, electrozii își vor schimba polaritatea cu cea opusă.

Să analizăm cazul când corpurile care contactează aflate în echilibru electronic sunt amplasate în ordinea creșterii lucrului de ieșire din ele al electronului (de exemplu, de la dreapta spre stânga (v. fig. 1)) și alcătuim pentru ele sistemul din trei ecuații (având în vedere numerotarea consacrată a elementelor) și semne ale potențialelor (raportate la scara de hidrogen) sub formă de model matematic (1):

$$\begin{aligned} |A_2 - A_1| &= |e| \cdot |\varphi_{\varepsilon=0}^2 - \varphi_{\varepsilon=0}^1| \\ |A_3 - A_2| &= |e| \cdot |\varphi_{\varepsilon=0}^3 - \varphi_{\varepsilon=0}^2| \\ |A_1 - A_3| &= |e| \cdot |\varphi_{\varepsilon=0}^1 - \varphi_{\varepsilon=0}^3| \end{aligned} \quad (1),$$

unde sunt luate în calcul valorile negative ale tuturor potențialelor.

Sistemul de ecuații conține trei mărimi necunoscute ale lucrului de ieșire (A) al electronului și trei mărimi necunoscute ale potențialelor suprafeței neîncărcate ($\varphi_{\varepsilon=0}$) a corpurilor selectate.

Din soluția sistemului (1) reiese raportul:

$$\left| \Delta\varphi_{\varepsilon=0}^{21} \right| + \left| \Delta\varphi_{\varepsilon=0}^{32} \right| = \left| \Delta\varphi_{\varepsilon=0}^{13} \right| \quad (2),$$

din care se poate trage concluzia că valoarea inițială a forței electromotoare (f.e.m) a transformatorului nu are legătură cu natura materialului semiconductorilor, cu tipul lor de conductibilitate și cu compozițiile amestecurilor folosite, ci depinde de diferența de potențiale ale suprafeței neîncărcate a materialelor ale electrozilor întâi și al treilea (vezi fig. 1).

Conform valorilor determinate pe cale experimentală $\varphi_{\varepsilon=0}$ ale corpurilor supuse cercetării se pot calcula mărimile lucrului necunoscut de ieșire (A_x) din ele al electronului iei cu ajutorul formulei:

$$|A_x - A_0| = |e| \cdot |\varphi_{\varepsilon=0}^x - \varphi_{\varepsilon=0}^0| \quad (3),$$

unde:

A_x reprezintă mărimea căutată a lucrului de ieșire al electronului corpului supus experimentului eV;

A_0 reprezintă mărimea lucrului de ieșire al electronului din eșantionul etalon cunoscut în prealabil (de exemplu, din mercur);

iei este mărimea absolută a sarcinii elementare;

$\varphi_{\varepsilon=0}^x - \varphi_{\varepsilon=0}^0$ reprezintă mărimile măsurate ale potențialelor suprafeței neîncărcate a corpului supus cercetării și a eșantionului etalon respectiv.

Cunoașterea mărimii lucrului de ieșire al electronului A_x din corpurile supuse cercetării dă posibilitate de a evalua oportunitatea folosirii materialului dat pentru executarea electrodului pozitiv sau negativ al transformatorului semiconductor de energie a radiației solare și posibilitatea sporirii constructive a randamentului energetic al acestuia.

După cum se știe, P.N. Lebedev a demonstrat pe cale experimentală că lumina este o formă deosebită a materiei, care are proprietatea de a exercita presiune asupra corpurilor solide (1899) și asupra gazelor (1909), ceea ce permite de a trage concluzie că și gazele pot exercita presiune asupra razei de lumină, prin urmare îi pot schimba direcția.

În urma experimentelor sale P.N. Lebedev a stabilit legitimitatea care leagă mărimea presiunii (p), cu care fotonii acționează pe o unitate de suprafață într-o unitate de timp sub formă de:

$$p = m \cdot c \quad (4),$$

care ulterior în fizică a devenit cunoscută ca formula Einstein (în continuare pentru deosebirea masei fotonului se va folosi m_f).

Din teoria câmpului electromagnetic, formulată de D. Maxwell (1868...1869) reiese legătura teoretică între presiune și energie $p=E/c$, ceea ce coincide cu formula (5) și confirmă importanța fundamentală a acesteia, care reflectă caracterul material al fotonului, proprietatea acestuia de a avea masă (m_f), spre deosebire de fotonul consacrat în fizică ca o formațiune fără masă [5].

Din fizică se știe că câmpul electric nu poate pătrunde în interiorul metalului, cu toate acestea, el pătrunde la o adâncime nu prea mare în semiconductor. Când are loc apropierea unor corpuri eterogene, căderea de potențial se observă atât între suprafețe care contactează, cât și parțial pe grosimea semiconductorului, în apropierea liniilor de

delimitare a fazelor, lucru de care se ține cont în timpul analizei, precum și condiția că atomii semiconductorului și ai amestecurilor introduse în el se află în strânsă legătură covalentă unii cu ceilalți și nu se pot deplasa liber pe rețeaua cristalină sub acțiunea energiei fotonilor (vezi fig. 2).

În fig. 2 este reprezentată schematic secțiunea transversală a elementelor transformatorului semiconductor de energie a radiației solare în energie electrică, care reflectă direcția mișcării sarcinilor pozitive și negative și amplasarea straturilor electrice duble pe liniile de delimitare a suprafețelor care contactează, unde nr. 1, nr. 2, nr. 3 sunt, respectiv, anod-semiconductor de tipul p sau n - catod; cerculețele întunecate semnifică electronii, iar sarcinile lor sunt marcate cu semnul „-”; cu cerculețe de culoare deschisă sunt marcate particulele încărcate pozitiv, iar sarcinile lor sunt marcate cu semnul „+”.

Fotonii aduși pe calea undelor de la Soare spre t.f., cedându-și periodic energia prin acțiunea asupra electronilor de valență, atomii semiconductorului și ai amestecurilor introduse în el produc reacții alternative de pierdere și de acumulare a electronilor externi, care se formează ca rezultat al dezintegrării fotonilor (precum și a dipolilor) în electroni și particule încărcate pozitiv (posibil, pozitroni e^+), iar câmpul electric îi introduce în circuitul electric interior al t.f. și ca rezultat al încorporării lor în straturile electrice duble (s.e.d.) se mărește sarcina capacității, crește tensiunea între electrozi, în timpul mișcării lor regenerează câmpul magnetic, crește intensitate câmpului electric (E) în interiorul semiconductorului și mărirea forței electrice ($F=e \cdot E$).

O parte dintre fotonii (dipolilor electrice cu axe de lungimi și mărimi ale energiilor diferite) radiației naturale solare interacționează cu atomii semiconductorului și cu suprafața catodului, exercită asupra lor presiune (de la p până la 2 p), unii dintre aceștia pot să dezbată electronii care se află în legătură cu atomii și să creeze o anumită parte de particule încărcate pozitiv ca rezultat al dezintegrării fotonilor; cealaltă parte de fotoni poate să se reflecte sub unghiuri diferite, îndepărtând de la suprafața semiconductorului catodului particulele de recul încărcate eteropolar, ca rezultat pot să micșoreze randamentul t.f.

dacă se admite că fotonii electrice neutri reprezintă dipoli electrice care constau din particule și antiparticule (de exemplu, electron-pozitron, neutrino-antineutrino), iar dipolii, după cum se știe, pot fi atrași sau respinși de către câmpurile electrice, pot să absoarbă sau să efectueze iradierii secundare de energie electromagnetică în spațiul înconjurător sub formă de unde electromagnetice cu frecvențe diferite, atunci este posibil de a analiza fotonii ca transmițători naturali de energie în spațiul interplanetar la distanțe cât se poate de îndepărtate.

Din fluxul total de fotoni în cazul dat prezintă interes acei fotoni, a căror energie este suficientă pentru dezbateră electronului din atomul semiconductorului și transferarea acestuia, deoarece nu toți fotonii pot participa în procesele electrodinamice de transformare a energiei lor în lucru de ieșire al electronului și de mărire a numărului de sarcini electrice în s.e.d. din apropierea electrozului.

Energia fotonului la interacțiunea cu electronul atomului semiconductorului se consumă pentru deformarea orbitei electronice, dezbateră electronului și formarea unui nucleu (nucleon) încărcat pozitiv cu mult mai activ, la ruperea legăturii între particulele eteropolare ale fotonului (dipolului), la deplasarea uneia dintre ele pe direcția propagării unde purtătoare (înspre anod), la învingerea forței de rezistență a câmpului electric interior și regenerarea câmpurilor magnetice (în conformitate cu efectul, invers efectului Holl).

Prin urmare, din toată energia introdusă de fotoni în interiorul semiconductorului (fără a ține cont de energia undelor ce se reflectă de la suprafață) numai aproximativ jumătate se folosește în procesul de transformare electrodinamică a energiei electromagnetice în energie electrică, prin urmare, randamentul unui asemenea t.f. nu poate depăși 50%.

Rezultatele preliminare ale cercetărilor teoretice permit de a formula problema practică.

Problema invenției este crearea unor asemenea soluții tehnice, care ar permite de a obține un transformator semiconductor de energie a radiației solare în energie electrică, care să asigure creșterea eficacității energetice a acestuia de 1,5 și mai multe ori.

Folosirea construcției propuse a transformatorului semiconductor de energie a radiației solare în energie electrică va permite de a spori eficacitatea energetică a procesului de transformare pe baza noului rezultat tehnic; îmbunătățirea contactului electric între suportul metalic, amplasat în partea din spate a cristalelor semiconductoră, prin scufundarea în topitură modificată de aliaj preparat din cositor-plumb a cristalelor orientate sub acțiunea câmpului electrostatic exterior, de exemplu, a siliciului, și răcirii acestora în comun; prin activarea anodică electrochimică a suprafeței frontale a plăcii semiconductoră cu ajutorul curentului periodic; obținerea aliajului galvanic în regimurile care asigură adeziunea înaltă a șinelor cu priză de curent cu suprafață de lucru proaspăt pregătire a semiconductorului; formarea stratului superficial de siguranță din siliciu amorf; obținerea și folosirea unor noi materiale conducătoare de curent pentru anod și catod.

Problema tehnică propusă constă în aceea că confecționarea plăcii semiconductoră se efectuează prin unirea aliajului topit modificat cu semiconductorul prin scufundarea cristalelor de siliciu mărunțite până la nanodimensiuni orientate în prealabil pe câmpul electric, în scopul asigurării contactului electric trainic și a rezistenței înalte a adeziunii cristalelor semiconductorului cu acoperirea conducătoare de curent; se folosește activarea anodică electrochimică a suprafeței lui frontale și precipitarea catodică a aliajului galvanic printr-un șablon ecranat (pe sectoarele active) când există anumite raporturi catodice-anodice ale amplitudinilor și duratelor impulsurilor direct și de retur ale curentului periodic.

Problema tehnică propusă se deosebește de prototip prin aceea că transformatorul semiconductor de energie a radiației solare în energie electrică conține nanocristale de siliciu (sau de germaniu), o parte din planele cristalografice fiind orientată în special în direcția (111), totodată în calitate de aparat pentru orientarea acestora se folosește sursa câmpului electrostatic cu intensitate reglabilă; aliajul de lipit preparat din cositor-plumb conține

suplimentar stibiu în cantitate de 3..4% masice în raport cu aliajul; contactele colectoare de curent de pe partea frontală a semiconductorului constau din aliaj galvanic preparat din fier-cobalt sau din fier-mangan; iar acoperirea de siguranță este aplicată pe toate suprafețele lui sub formă de strat de clei organosilicic; înainte de obținerea fototransformatorului se folosește metoda de determinare preliminară a mărimii inițiale a f.e.m. în lipsa radiației ionizante; la construirea t.f. se folosește metoda de determinare a potențialului suprafeței neîncărcate a corpului solid, caracterizată prin aceea că se determină diferența de potențiale ale suprafeței neîncărcate pentru fiecare pereche, care se află în echilibrul electronic al corpurilor solide care contactează, ca un întreg.

Soluția tehnică conține determinarea mărimii lucrului de ieșire al electronului din materialele t.f. (din metal, semiconductor, aliaj galvanic), care constă în aceea că mărimea absolută a diferenței de lucru de ieșire al electronului din elementul cu compoziție chimică necunoscută destinat folosirii (supus studierii) și a eșantionului etalon (de exemplu, a mercurului) se egalează (pe baza rezultatelor experimentale de cercetare a modelului energetic al construcției de proiectat) cu produsul dintre mărimea absolută a sarcinii electronului și mărimea absolută a diferenței mărimilor de potențiale ale suprafețelor neîncărcate ale corpurilor care contactează găsite pe cale experimentală; totodată măsurarea se face cu exactitatea de ± 1 mV cu ajutorul, de exemplu, al multimetrului numeric, în raport cu electrozul de hidrogen sau cu alt electrod standard de comparare a potențialelor, în unul și același mediu; se substituie valorile găsite ale potențialelor suprafeței neîncărcate ($\varphi_{E=0}$) a corpului studiat în ecuația (3), e determină mărimea lucrului de ieșire din corp al electronului și se evaluează oportunitatea folosirii acestui material în calitate de electrod cu priză de curent (anod sau catod) al t.f.; la crearea construcției se folosește sistemul care include metodele: de determinare a potențialului suprafeței neîncărcate a materialului de construcție și a mărimii lucrului de ieșire al electronului din atomul său; precum și procedeele: de orientare a nanocristalelor semiconductorului (pentru obținerea randamentului de curent electric maxim posibil în condițiile date); de obținere a contactului electric trainic între cristalele semiconductorului și aliajul de lipit; operației de tratare anodică a suprafeței frontale a semiconductorului, de precipitare electrochimică pe suprafața frontală prin șablonul acoperirii galvanice, care formează grila cu priză de curent; de aplicare pe t.f. a acoperirii de siguranță caracterizat prin aceea că orientarea