

Invenția se referă la domeniul energetică netradițională și electrotehnică, în special, la dispozitive semiconductoare de conversie directă a radiației solare în energie electrică și poate fi aplicată în fabricarea celulei fotovoltaice (CFV) de utilizare terestră, îndeosebi, pentru instalații heliotehnice de conversie termoelectrică a energiei solare concentrate. Mai poate fi utilizată și în fabricarea dispozitivului semiconductor de temperatură înaltă.

Este cunoscut procedeul de fabricare a celulei fotovoltaice texturate (CFVT) cu p-n joncțiune din siliciu (Si) destinată aplicațiilor spațiale [1], care include decaparea suprafeței (100) a siliciului în soluție antizotropă cu 2-3% NaOH. După decapare se formează piramide patrulatere limitate de suprafețele (111), formând la vârf unghiul de 70,5°, ceea ce constituie stratul texturat a CFVT. Procedeul mai include formarea joncțiunii p-n, de exemplu, prin difuziune a fosforului după formarea stratului texturat, depunerea unui strat metalic în formă de plasă pe suprafața de recepție a radiației solare și a unui strat metalic continuu pe suprafața din spate a CFVT. Suprafața din față a celulei este texturată, adică transformată în suprafață tridimensională, care conține piramide mici cu înălțimea de 1-2 micrometri.

Neajunsul procedurii de fabricare a CFVT din siliciu este inaplicabilitatea lui la fabricarea CFVT din alte aliaje semiconductoare ce pot fi utilizate în aplicații la temperaturi mai înalte în comparație cu Si, a cărei eficiență de conversie a radiației solare diminuează la creșterea temperaturii. De exemplu, instalațiile heliotehnice moderne, care amplifică radiația solară de câteva ordine, funcționează în condiții de temperaturi înalte (120-300°C), și nu pot fi înzestrate cu panouri fotovoltaice din siliciu. Rezolvarea tehnică este înlocuirea Si cu un semiconductor cu banda energetică mai mare de 1,1 eV (Si), de exemplu cu compuși A3B5.

Ca soluție mai apropiată de invenția propusă poate fi acceptat procedeul de fabricare a elementului semiconductor [2], care include creșterea primului strat semiconductor pe un substrat în formă de plachetă de tip n sau p dezorientat cristalografic cu 3-5° (100) spre (110), iradierea stratului epitaxial cu un flux de particule, de exemplu protoni, pentru reglarea timpului de viață a purtătorilor de sarcină, formarea p-n joncțiunii prin creșterea stratului doi de semiconductor de tip opus primului strat, înlăturarea stratului unu și stratului doi epitaxial de pe suprafața din spate a substratului, de exemplu, prin șlefuire mecanică, totodată include formarea conexiunilor de curent, de exemplu, prin depunerea stratului metalic pe suprafețele externe ale plachetei, mai include și divizarea plachetei cu structura obținută în cristale.

Dezavantajele acestei soluții tehnice sunt următoarele.

Procedeul de fabricare a elementului semiconductor prototip prin iradiere cu flux de particule schimbă doar concentrația, tipul și caracteristicile purtătorilor de sarcină la formarea p-n joncțiunii, dar nu schimbă morfologia suprafeței semiconductorului pe care ar putea fi crescute în continuarea procedurii tehnologice alte straturi performante pentru fabricarea dispozitivului din A3B5, de exemplu, prin metoda clorură de epitaxie din fază gazoasă.

Alt neajuns al procedurii este costul ridicat la produs din cauza utilizării instalației tehnologice unice dar și costisitoare de iradiere cu flux de particule.

Problema pe care o rezolvă prezenta invenție este sporirea eficienței și stabilității parametrilor energetici a dispozitivului semiconductor cu p-n joncțiune din semiconductor A3B5 obținut prin tehnologia clorură de epitaxie din fază gazoasă (CFV, dispozitiv de putere etc.) în condiții de exploatare a dispozitivelor la temperaturi înalte (100-260°C), de exemplu, în construcția heliostatului care funcționează la energia solară concentrată.

Esența procedurii de fabricare a dispozitivului semiconductor cu joncțiune p-n reliefată, care include creșterea epitaxială a primului strat semiconductor pe substrat în formă de plachetă A3B5 de tip n sau p dezorientat cristalografic cu 3-5° (100) spre (110), degresarea preventiv (prealabil) epitaxiei a substratului în soluție organică și corodarea lui în soluție amoniacală, formarea p-n joncțiunii prin creșterea epitaxială a stratului doi de semiconductor de tip opus primului strat, înlăturarea stratului unu și stratului doi epitaxial de pe suprafața din spate a substratului prin șlefuire mecanică, formarea conexiunilor de curent prin depunerea stratului metalic pe suprafața stratului doi epitaxial și pe suprafața șlefuită a substratului, mai include și decuparea plachetei cu structura obținută în cristale, constă în aceea, că pe suprafața substratului după degresare și corodare în soluție amoniacală se formează o microstructură tridimensională reliefată cu dimensiuni 30-3000 nm, de exemplu, prin corodare chimică în soluția acidă selectivă HCl:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O, se crește primul strat epitaxial pe suprafața reliefată a substratului, apoi se formează joncțiunea p-n prin creșterea stratului doi epitaxial de tip opus primului strat.

O altă variantă a procedurii de fabricare a dispozitivului semiconductor cu joncțiune p-n reliefată conform constă în aceea, că pe suprafața substratului după degresare și corodare se crește planar primul strat epitaxial, pe suprafața primului strat se depune un strat din material amorf acordat la proprietățile chimice și structurale ale semiconductorului, de exemplu, din hidrat a oxidului de metal A prin introducerea plachetei în soluție de sare a metalului A cu valoarea pH 3-4,1, se formează o microstructură tridimensională reliefată cu dimensiuni 30-3000 nm, de exemplu, prin introducerea plachetei la momentul sau ulterior depunerii stratului amorf în câmp magnetic sau în flux de radiație, se tratează termic la temperatura 230-320°C timp de 2 ore în vid, apoi în mediu cu prezența oxigenului la temperatura 550-610°C timp de 5 min, se prelucrează chimic în soluție amoniacală și se formează p-n joncțiunea prin creșterea stratului doi epitaxial pe suprafața stratului reliefat.

Rezultatul invenției constă în posibilitatea fabricării la costuri mici a dispozitivului cu joncțiune p-n reliefată prin aplicarea uneia din cele mai performante tehnologii pentru materiale semiconductoare de tip A3B5 – epitaxia cu transport de reacții din fază gazoasă în varianta clorură. Joncțiunea reliefată, de exemplu, în celula fotovoltaică sporește eficiența de conversie a energiei solare concentrate cu 10-12%, dar în dispozitive de redresare ultrarapide de temperatură înaltă (260°C) ridică fiabilitatea funcționării dispozitivului.

Particularitățile distinctive ale invenției.

Spre deosebire de cea mai apropiată soluție procedeul propus include formarea microstructurii tridimensionale (reliefate) cu dimensiuni 30-3000 nm pe suprafața substratului după degresare și corodare a substratului în soluție amoniacală, de exemplu, prin corodare chimică în soluția acidă selectivă HCl:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O, mai include creșterea primului strat epitaxial pe suprafața reliefată a substratului, și formarea joncțiunii p-n prin creșterea în același procedeu tehnologic stratului doi epitaxial de tip opus primului strat.

Substratul semiconductor din compuși de tip A<sub>3</sub>B<sub>5</sub>, de exemplu GaAs cu orientare (100), fabricat industrial cu destinație specială pentru creșterea straturilor epitaxiale din fază gazoasă, are o suprafață defectată programat prin dezorientarea suprafeței (100) către (110) cu 3-5°. Multiplele defecte nano electronice a rețelei cristaline pe suprafața substratului GaAs servesc ca multiple centre de cristalizare în limitele unui strat atomic pentru omogenizarea morfologiei stratului epitaxial crescut planar din fază gazoasă. Aceste defecte pot fi activate sau dezactivate prin diferite metode, pot fi schimbate în dimensiuni și formă, orientate pe suprafață etc., formând astfel o suprafață tridimensională din conținutul substanței substratului. Dimensiunile acestor defecte depind de caracterul reacțiilor chimice și depășesc intervalul nano dimensiuni, atingând valorile intervalului micro dimensional. Stratul de semiconductor crescut epitaxial pe suprafața cu multiple defecte de dimensiuni nanometrice prin tehnologie cu transport de reacții nu formează o microstructură planară. Stratul crește la fel reliefat cu morfologie ne omogenă dar ordonată. Experiențele tehnologice efectuate în cadrul proiectului de cercetare au demonstrat, că stratul epitaxial crescut pe suprafață nanoreliefată repetă forma acestui relief la etapa inițială de formare.

A doua rezolvare tehnică se deosebește prin creșterea planară pe substrat a primului strat epitaxial de tip similar substratului, depunerea sau formarea pe suprafața primului strat a unui strat cu grosimea 8-1000 nm din material amorf sintonizat la proprietățile chimice și structurale ale materialului semiconductor, de exemplu, din hidroxid de metalul A, formarea pe suprafața stratului amorf a unui relief cu nano sau micro dimensiuni controlate prin aplicarea unei forțe externe, de exemplu, a câmpului magnetic, gravitațional sau a unui flux de radiație etc. și formarea p-n joncțiunii prin creșterea epitaxială a stratului doi de tip opus substratului pe suprafața reliefată.

Hidroxidul de galiu, de exemplu, poate fi depus prin introducerea semiconductorului în soluția sărurilor de galiu la intervalul valorilor pH de la 3 la 4,1. Substanța amorfă obținută conține o cantitate mare de apă, care se extrage în vid la temperatura 230-320°C timp de până la 2 ore. Definitivarea dehidrazării are loc la tratarea termică în mediu inert cu prezența oxigenului la temperatura 550-610°C timp de 5 min.

Exemplu de realizare a invenției.

Procedeul de fabricare a dispozitivului semiconductor cu joncțiune p-n reliefată, care include creșterea epitaxială a fost realizat pe plachete industriale de GaAs AGCZ-30b dopate cu zinc la concentrație  $p^* = 2 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$  în calitate de substrat pentru formarea structurii CFV. Pe substrat s-a crescut primul strat epitaxial planar de GaAs cu concentrația  $p^o = 4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  și grosimea 7  $\mu$  prin utilizarea tehnologiei cu transport de reacții în sistemul Ga-AsCl<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>. Placheta planară cu primul strat epitaxial s-a introdus în soluție acidă HCl:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O cu pH 3-4,1, apoi s-a tratat termic în vid la temperatura 320°C timp de 2 ore min în reactor cu gaz inert la temperatura 610°C timp de 5 min. Structura obținută din substrat și primul strat epitaxial, stratul amorf de hidroxid de galiu cu suprafața tridimensională s-a introdus în instalația de epitaxie cu sistem Ga-AsCl<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> și conform regimului de depunere s-a crescut stratul doi epitaxial de GaAs cu grosimea de 3  $\mu$  dopat cu telur la concentrația purtătorilor de sarcină  $n+ = 1919 \text{ cm}^{-3}$ , astfel crescut, al doilea strat epitaxial, care formează p-n joncțiunea, are o suprafață tridimensională texturată cu pas de 2 - 2,3  $\mu$  și înălțimea de 80-180 nm, formând unghiul de vârf până la 120°. După epitaxie partea din spate a substratului cu straturi epitaxiale s-a înălțurat prin șlefuire, obținând grosimea structurii 0,2 mm, și s-a acoperit cu un strat metalic din aliaj de argint cu zinc pentru formarea conexiunii electrice din spate. Conexiunea din față în formă de plasă metalică s-a depus din indiu pe stratul doi epitaxial. Suprafața CFVT obținute este de 2x2 cm<sup>2</sup>. CFVT a fost testată la imitatorul de radiație solară ST-1000. Rezultatele testării în comparație cu parametrii CFV planare din GaAs sunt prezentate în tabel.

Tabel 1

Parametrii CFVT în comparație cu CFV clasică (AM1)

Parametrul	CFVT	CFV
Randamentul, %	1,2	19
Densitatea curentului scurt circuit,	2,7	24,7
Tensiunea optimală, V	0,475	0,475
Rezistența de șunt, Om/cm <sup>2</sup>	3706	669
Rezistența consecutivă, Om/cm <sup>2</sup>	52,547	0,01
Coeficientul de umplere a CVA, %	78,8	76,2

Exemplu realizat demonstrează următoarele.

1. Dispozitivul semiconductor cu p-n joncțiune reliefată în varianta constructivă de celulă fotovoltaică din GaAs are pierderi optice reduse datorită efectului de multiplicare a reflecției luminii de pe suprafața texturii și formează condiții la care drumul parcurs de lumină în semiconductor nu este perpendicular pe p-n joncțiune. Joncțiunea p-n reliefată este mai aproape de domeniul semiconductorului care generează purtători de sarcină la acțiunea luminii, astfel este stimulată creșterea eficienței de colectare a purtătorilor (privește coeficientul de umplere 78,8%).

2. CFVT are rezistența de șunt de 3,8 ori mai mare decât CFV planară ce demonstrează reducerea pierderilor de energie pe suprafață, care se datorează slăbirii efectului de recombinare a purtătorilor de sarcină pe suprafață în lipsa straturilor optice anti-reflectorii.
3. Densitatea curentului în CFVT este determinată de parametrii electro – fizici și cei constructivi ai primului strat epitaxial ca componentă esențială la formarea rezistenței constructive a dispozitivului. Optimizarea parametrilor acestui strat la parametrul rezistența specifică de la 52,5 Om/cm<sup>2</sup> la 1 Om/cm<sup>2</sup> conduce la creșterea intensității curentului până la 80 mA/cm<sup>2</sup>.
4. Temperatura de lucru a dispozitivelor semiconductoare din GaAs pot atinge valorile 260–300°C.