



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102565** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
H01L 31/00
H01L 23/00
C01B 33/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

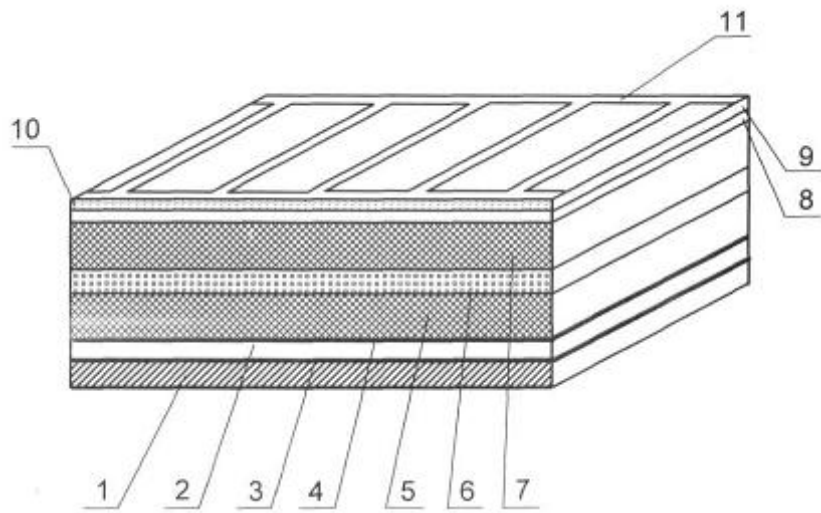
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 03427	(72) Винахідник(и): Дзензерський Віктор Олександрович (UA), Соколовський Іван Іванович (UA), Лавріч Юрій Миколайович (UA), Погоріла Любов Михайлівна (UA), Соколовський Сергій Сергійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 14.04.2015	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.11.2015	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.11.2015, Бюл.№ 21	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ "ТРАНСМАГ", вул. Писаржевського, 5, м. Дніпропетровськ, 49005 (UA)

(54) ОПТИКО-МИКРОХВИЛЬОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ**(57)** Реферат:

Оптико-мікрохвильовий перетворювач сонячного випромінювання оптичного діапазону в мікрохвильове випромінювання містить металеву пластину, що служить тильним струмознімальним електродом, фронтальний струмознімальний електрод, шари кремнію р-типу і n-типу, р-n перехід між ними, при цьому шар кремнію n-типу звернений до металевої пластини, електропровідне просвітлювальне покриття, що примикає до шару кремнію n-типу і фронтального струмознімального електрода, і зовнішнє оптично прозоре покриття, причому між тильним струмознімальним електродом і нижньою поверхнею кремнію р-типу розміщена напівпровідникова структура, яка має негативну диференціальну провідність (НДП), а металеві частинки з рідкоземельних металів, переважно у вигляді іонів ітербію Yb^{2+} або Yb^{3+} запроваджені в зовнішнє захисне покриття, переважно в нижні його шари, що примикають до електродного просвітлювального покриття.

UA 102565 U



Корисна модель належить до сонячної енергетики і може бути використана для прямого перетворення сонячного випромінювання у високо когерентне мікрохвильове випромінювання, у тому числі на частотах, які можливо використовувати в космічних сонячних джерелах енергії.

Серед альтернативних відновлюваних джерел енергії (вітрова, хвильова, геотермальна, гідроенергія, біопаливо, енергія біомаси) сонячна фотоенергетика має найбільший потенціал довгострокового зростання. Згідно з прогнозом Світового енергетичного агентства (IEA), на період з 2004 по 2030 рр. виробництво електроенергії для використання в найрізноманітніших сферах людської діяльності за рахунок сонячного випромінювання зросте в 60 разів [1].

При цьому відповідні конструктивні, що реалізують перетворення сонячної радіації в електричний струм - сонячні батареї - є найважливішим джерелом енергії для супутників і космічних кораблів при тривалих польотах. У зв'язку з усе більшим упровадженням сонячних джерел енергії - наземних перетворювачів оптичного спектра сонячного випромінювання в електричний струм - на базі розвитку матеріалознавчих технологій стає реальним і рішення задачі створення великих плоско-панельних сонячних батарей навколоземного (космічного) базування для перетворення потужних потоків сонячного випромінювання в електричний струм з подальшим його перетворенням в мікрохвильове випромінювання і транспортуванням останнього на наземні приймальні системи. Останніми роками склалося уявлення, що сонячні космічні електростанції (СКЕС) - одна з найперспективніших екологічно чистих енергосистем майбутнього, яка базується на широкомасштабному використанні засобів сучасної електроніки і ефективно стимулюватиме її розвиток. Цілеспрямовані роботи по лінії СКЕС можуть прискорити цей процес.

На користь розвитку сонячної енергетики наземного базування в попередні роки були розвинені різноманітні технології, націлені на підвищення енергоефективності напівпровідникових фотоелектричних модулів як за рахунок вдосконалення власне конструкцій модулів з використанням традиційного матеріалу - кремнію (в рамках сформованої "кремнієвої фотоелектричної промисловості"), так і за рахунок використання інших напівпровідникових матеріалів.

Відомий тонкоплівковий кремнієвий фотоелектричний перетворювач [2], що складається із сталеві підкладки, нанесених на неї шарів аморфного кремнію і контактної сітки, в якому з метою підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) і терміну служби хімічний склад матеріалу підкладки оптимізований, причому оптимізований і з погляду його оброблюваності (пластичності, обумовленої низьким змістом вуглецю, а також строгим дотриманням кількості домішок алюмінію, міді і нікелю).

Відомі технічні рішення по створенню фотовольтаїчних модулів, що базуються на використанні таких фотоактивних матеріалів як фосфід індію (InP), арсенід галію (GaAs) [3,4], завдяки чому, як декларується, можливо істотно підвищити ККД фотоелектричних перетворювачів. Проте низький вміст вказаних вище елементів в земній корі не дозволяє розраховувати на широке використання фотоелектричних перетворювачів, що побудовані на їх основі. Ситуація ускладнюється і тим, що відповідні сполучення вказаних елементів вже зайняли важливу нішу в сучасній радіоелектроніці як сировинна база створення напівпровідникових генераторів мікрохвильового і міліметрового діапазонів, де альтернативи матеріалам, що використовуються, не існує.

При створенні фотоелектричних перетворювачів космічного призначення із структурних різновидів кремнію аморфного, полікристалічного, монокристалічного - перевагу слід віддати останньому завдяки не тільки його високій радіаційній стійкості, але і найвищому з перерахованого ряду значенню напруги холостого ходу, що важливо і для отримання більш високих значень коефіцієнта корисної дії і для розширення функціональних можливостей фотоелектричних перетворювачів цього класу, при цьому останнє принципово важливе.

Найближчим до корисної моделі, яка заявляється, по технічній суті і по результату, що досягається, технічним рішенням (прототипом) є перетворювач сонячного випромінювання в оптичному діапазоні в електричний струм [5] (базовим технічним рішенням якого є [6]), який містить розташовані на металевій пластині поглинаючі шари з напівпровідникового матеріалу, переважно кремнію, n- і p-типу з p-n переходом між ними, прозорий електропровідний шар і контактну гребінку, при цьому в шар напівпровідника n-типу введені наночастинки металу розміром багато менше довжин хвиль в діапазоні $0,25 \pm 2,5$ мкм при концентрації $(1-5) \cdot 10^{-2}$ об'ємних часток.

Запровадження металевих частинок дійсно може змінити, а саме збільшити величину проникаючого в матеріал сонячного випромінювання за рахунок зміни діелектричної проникності активного напівпровідникового шару (практично створення нового, з електродинамічної точки зору, штучного матеріалу) і підвищити коефіцієнт корисної дії фотоелектричного

перетворювача. Проте реально змінити величину діелектричної проникності впровадженням добавок в кристалічну структуру матеріалу вдається лише у вузькому діапазоні частот оптичного випромінювання, фактично на резонансних частотах, тому не можливо претендувати на високий коефіцієнт поглинання в широкому діапазоні частот при вибраній (з вказаного інтервалу) в технологічному циклі концентрації металевих частинок.

Крім цього в пристрої-прототипі реалізується лише можливість перетворення сонячного випромінювання в електричний струм, але відсутня можливість перетворення в інші види полів і енергій. У ряді вживань вказаний недолік має принципове значення, саме при рішенні задачі прямого перетворення сонячного випромінювання в мікрохвильове, коли таким чином здійснюється оптико-мікрохвильове перетворення.

Задачею цієї корисної моделі є розширення функціональних можливостей перетворювача з одночасним підвищенням ефективності перетворення сонячного випромінювання в електричний струм і зниженням деградаційних процесів, що викликані ультрафіолетовим випромінюванням активних напівпровідникових шарів.

Поставлена задача вирішується тим, що в перетворювачі сонячного випромінювання оптичного діапазону в мікрохвильове випромінювання, який містить металеву пластину, що служить тильним струмознімальним електродом, фронтальний струмознімальний електрод, шари кремнію р-типу і n-типу, р-n перехід між ними, при цьому шар кремнію n-типу звернений до металевої пластини, електропровідне просвітлювальне покриття, що примикає до шару кремнію n-типу і фронтального струмознімального електрода, і зовнішнє оптично прозоре покриття, згідно з корисною моделлю, між тильним струмознімальним електродом і нижньою поверхнею кремнію р-типу розміщена напівпровідникова структура, яка має негативну диференціальну провідність (НДП), а металеві частинки з рідкоземельних металів, переважно у вигляді іонів ітербію Yb^{2+} або Yb^{3+} запроваджені в зовнішнє захисне покриття, переважно в нижні його шари, що примикають до електродного просвітлювального покриття.

На кресленні представлена конструкція оптико-мікрохвильового перетворювача, де 1 - металева пластина, що служить тильним струмознімальним електродом, 2 - напівпровідникова структура з негативною диференціальною провідністю (НДП), 3, 4 - омичні електроди, 5 - поглинаючий шар з напівпровідника р-типу, 6 - р-n перехід, 7 - поглинаючий шар з напівпровідника n-типу, 8 - просвітлювальне покриття, 9 - зовнішнє захисне покриття, 10 - частинки рідкоземельних металів, 11 - фронтальний струмознімальний електрод.

Шари напівпровідників обох типів виконані у вигляді тонких пластин монокристалічного кремнію, вирощеного методом Чохральського, при цьому р-тип провідності забезпечується переважно легуванням бором. Матеріалом просвітлювального покриття є діоксид титану (TiO_2), технологія виробництва якого і нанесення з рідкорозчинної композиції добре освоєна [7-9].

З боку фронтальної поверхні n-прошарок пасивується оксидом кремнію (SiO_2), а шари металізації для електродів виконуються переважно з алюмінію. Зовнішнє захисне покриття виготовляється з Al_2O_3 або кремнійорганічного клейкого матеріалу, в який за спеціальною технологією при нанесенні запроваджуються частинки рідкоземельних металів, переважно ітрію.

Металеві пластини виконуються з низьковуглецевої сталі, відповідно до рекомендацій, наведених в роботі [2]. Омичні контакти до напівпровідникового шару виконуються по відомих у виробництві діодів Ганна технологіях [10]. При цьому напівпровідникова структура з НДП залежно від питомого опору вибраного матеріалу може займати лише частину простору між металевою пластиною і поглинаючим шаром напівпровідника р-типу і в практичних реалізаціях може бути набором мезаструктур, по виконанню близьких до описаних в роботі [11].

Оптико-мікрохвильовий перетворювач функціонує таким чином. Фотони сонячного випромінювання, для яких зовнішнє покриття і просвітлювальне покриття є прозорими, що падають на активний поглинаючий шар, через фотоелектричний ефект породжують виникнення електронно-діркових пар, при цьому шар кремнію р-типу збирає дірки або позитивні заряди, кремнієвий шар n-типу збирає електрони. Локалізоване в зоні р-n переходу електричне поле, що виникає завдяки контакту двох різних напівпровідників, штовхає електрони у бік фронтального струмознімального електрода, а дірки - у бік тильного струмознімального електрода. Цей потік носіїв заряду і є електричний струм, що протікає в зовнішньому ланцюзі.

При цьому з метою підвищення величини струму, що протікає через фотоактивну структуру і, відповідно, через напівпровідникову структуру з негативною диференціальною провідністю, в корисній моделі, що заявляється, здійснюється перетворення короткохвильової складової сонячного випромінювання (ультрафіолетовий діапазон, частка якого складає до 29 % від загальної інтенсивності сонячного випромінювання), для якої кремній не є фотоактивним, але сприяючий його деградації, в довгохвильову складову (спектральне перетворення по Стоксу):

випромінювання з довжинами хвиль 0,28 і 0,36 мкм перетворюється у випромінювання з довжинами хвиль 0,7 і 0,8 мкм, яке потім ефективно перетворюється в електричний струм. Для задачі, поставленої в заявленій корисній моделі, це важливо, оскільки відомі напівпровідникові структури з негативною диференціальною провідністю, які є принципово великопотужними.

5 Оскільки напруга, що розвивається у фотоелектричній комірці, невелика (в комітках з монокристалічного кремнію напруга холостого ходу 0,6 В), важливим є правильний вибір матеріалу напівпровідникової структури з негативною диференціальною провідністю.

В загальному плані як такий матеріал для реалізації перетворення постійного струму в мікрохвильове випромінювання можуть бути використані сполучення групи $A^{III}B^V$, у тому числі класичний матеріал для виробництва мікрохвильових генераторів - арсенід галію - з добре розвиненою технологією його виготовлення. З матеріалів групи $A^{III}B^V$ з урахуванням малих напруг у фотоелектричній комірці, більш переважним є використання сполучень з мінімальною величиною порогових напруг (наприклад InSb - у нього ширина забороненої зони 0,17 еВ, InAs - 0,35 еВ,

15 В типових експлуатаційних режимах струми, що розвиваються в стандартній (розміром 24×15 мм) кремнієвій комірці (30-40 мА/см), співставні із струмами, потрібними для функціонування напівпровідникових структур з негативною диференціальною провідністю, вихідна потужність ($170\text{-}180$ Вт/м²), питомий послідовний опір (не більше $0,5$ Ом·см² (на якому втрачається не більше 3 % від повної електричної потужності, що виробляється фотоелектричною коміркою)), тобто енергетичні показники, розподіл опорів між коміркою і напівпровідниковою структурою з НДП прийнятні для оптимального функціонування останніх в структурі оптико-мікрохвильового перетворювача.

В попередні роки була виявлена наявність ефекту негативної диференціальної провідності в n-Ge при строго вибраній орієнтації кристалічних осей і живлячої напруги, причому негативна диференціальна провідність досягається при надзвичайно низьких порогових напругах - $650\text{-}800$ В/см [12,13] (для арсеніду галію вказаний параметр 3200 В/см). Вказаний ефект оптимальним чином виявляється при температурі $T = 77$ К, що важливо саме при використанні запропонованого оптико-мікрохвильового перетворювача, в якому реалізується пряме перетворення сонячного випромінювання в мікрохвильове, в сонячних космічних електростанціях.

При цьому доречно відмітити, що спроби прямого перетворення сонячного випромінювання в мікрохвильове за рахунок використання нелінійних властивостей метал-діелектрик-напівпровідник (МДН)-структур або поляризованих постійним полем об'ємних діелектриків, що мають перемінну діелектричну проникність в залежності від прикладеної напруги, вже мали місце [14]. Але, через багаточастотність спектра сонячного випромінювання кінцевий спектр різницевої частоти в мікрохвильовому діапазоні достатньо широкопasmовий, тому в практичних реалізаціях потрібно ретельне розфільтрування вихідного сигналу.

Запропонована корисна модель при відповідному вдосконаленні конструктивно-технологічних рішень має значний потенціал розвитку, оскільки при використанні її в космічній сонячній фото-НВЧ-енергетиці можливо відмовитися від традиційних схем побудови відповідних модулів: фотоелектричні перетворювачі, побудовані по схемі - постійний струм - підсумовування струмів - перетворення напруги вгору для живлення потужних вакуумних джерел мікрохвильового випромінювання (магнетронів, клістронів, платинотронів). При цьому розміщення масиву вказаних оптико-мікрохвильових перетворювачів на великій площі і близько розташованих дозволяє здійснити ефективну взаємну синхронізацію частоти їх випромінювання, забезпечивши сумісне функціонування більшої кількості оптико-мікрохвильових перетворювачів.

В практичних реалізаціях технічне рішення, що заявляється, може бути реалізовано на монокристалічному, полікристалічному або аморфному кремнії. При цьому слід керуватися критерієм функціонально-вартісного аналізу, саме: витрата кремнію на 1 ват вироблюваної електричної потужності для фотоелектричного перетворювача з монокристалічного кремнію складає менше 5 г, з полікристалічного кремнію - 13,7 г, з аморфного - 0,3 г.

Корисна модель, що заявляється, належить до пріоритетного напрямку розвитку науки і технологій - технологія нових і відновлюваних джерел енергії [15].

55 Джерела інформації:

1. Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 года. - М.: ИНЭИ РАН, 2012. - 191 с.
2. Патент № 2477905 RU, МПК H01L 31/0392. Тонкопленочный кремниевый фотоэлектрический преобразователь / Т.Т. Кондратенко, О.В. Бессонов, В.А. Капитанов, П.В. Максимов. - Заявка: 2011137951/28 от 15.09.2011; Опубл. 20.03.2013.

3. Патент № 5 407 491 US. Tandem solar cell with improved tunnel junction / A. Freundlich, M. Vileta, A. Bensaoula, A. Ignatiev. - Appl. №.: 044941. - Filed: 8 April, 1993. - Publ. 18 April 1995.

4. Патент № 5 851 310 US. Strained quantum well photovoltaic energy converter / A. Freundlich, Ph. Renaud, M. Vileta, A. Bensaoula. - Appl. No.: 568129. - Filed: 6 December 1995. - Publ. 22. - December, 1998.

5. Патент № 57054 RU, МПК H01L 31/04. Преобразователь солнечной энергии в электрическую / А. В. Тутов. - Заяв. 2006117561/22 от 22.05.2006. -Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего проф. тех. образования "Курский государственный технический университет". - Оpubл. 27.09.2008.

10 6. Патент № 2222846 RU, МПК H01L 31/04, H01L 31/042. Фотоэлемент / О.А. Займидорога, И.Е. Проценко, В.Н. Самойлов. - Заяв. № 2002121061/28 от 08.08.2002. - Оpubл. 27.01.2004.

7. Дзензерский В.А., Соколовский И.И., Быстрое Н.И., Лаврич Ю.Н., Плаксин СВ., Погорелая Л.М., Хачапуридзе Н.М. СВЧ технология получения титаносодержащих наноматериалов // Материалы Международной научной конференции "Функциональная база нанoeлектроники" (в рамках V-ro Международного радиоэлектронного Форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития" МРФ - 2014). - Украина, г. Харьков, 2014. - С. 10-13.

8. Копач В.Р., Листратенко А.М., Хрипунов Г.С., Черных Е.П. // Вестник Харьковского гос. политехнического университета.-1988. - Вып. 217. - С. 76-77.

9. Gorban A.P., Hostylev V.P., Borshev V.N., Listrobenko A.M. // Telecommunications and Radio Engineering. - 2001. - 55. - P. 94.

10. Шур М.С. Эффект Ганна. - М.: Энергия, 1971. - 78 с.

11. А.с. (СССР) № 1058473, МПК H01L 47/02. Полупроводниковое устройство / И.И. Соколовский, С.А. Костылев, В.Ф. Коломойцев, В.Я. Крысь. Заяв. № 3373065/18-25 от 24.12.81. - Заявитель Институт технической механики АН УССР. - Оpubл. 01.08.83. - Бюл. № 44.

25 12. Smiss I.E., Nathan M.I., Gloddy I.C. Negative Conductance Effects and Related Phenomena in Ge // IBM Journal of Rev. Dev. - V. 13. - P. 553-554.

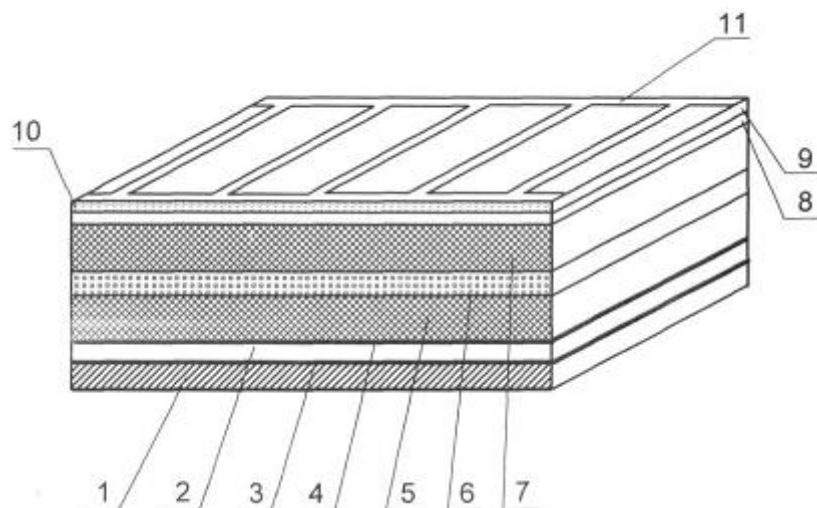
13. А.с. (СССР) № 913865, МПК H01L 47/02. Полупроводниковый прибор / А.В. Чаплик, Л.Д. Шварцман. Заяв. № 2957951/18-25 от 16.07.80. -Заявитель Институт физики полупроводников СО АН СССР. - Оpubл. 15.12.82.-Бюл. №46.

30 14. А.с. (СССР) № 174221, МПК H03B 47/02. Способ получения электромагнитных колебаний / Ф.А. Водопьянов. - Заяв. № 329013/26-9 от 128.03.47. - Оpubл. 27.08.65. - Бюл. № 17.

35 15. Смирнов Ю.Г. Технология новых и возобновляемых источников энергии // Алфавитно-предметный указатель к Международной патентной классификации по приоритетным направлениям развития науки и технологий / Ю.Г. Смирнов, С.А. Краснов. - М.: ПАТЕНТ, 2008. - С. 43.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

40 Оптико-мікрохвильовий перетворювач сонячного випромінювання оптичного діапазону в мікрохвильове випромінювання, який містить металеву пластину, що служить тильним струмознімальним електродом, фронтальний струмознімальний електрод, шари кремнію р-типу і n-типу, р-n перехід між ними, при цьому шар кремнію n-типу звернений до металевої пластини, електропровідне просвітлювальне покриття, що примикає до шару кремнію n-типу і фронтального струмознімального електрода, і зовнішнє оптично прозоре покриття, який
45 **відрізняється** тим, що між тильним струмознімальним електродом і нижньою поверхнею кремнію р-типу розміщена напівпровідникова структура, яка має негативну диференціальну провідність (НДП), а металеві частинки з рідкоземельних металів, переважно у вигляді іонів ітербію Yb²⁺ або Yb³⁺ запроваджені в зовнішнє захисне покриття, переважно в нижні його шари,
50 що примикають до електродного просвітлювального покриття.



Комп'ютерна верстка О. Рябко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601