

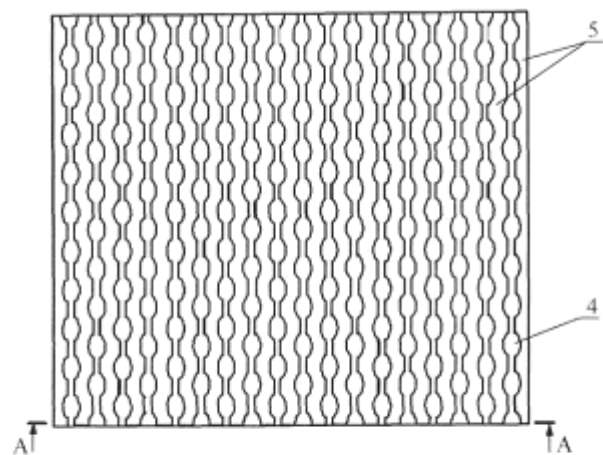


УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **98952** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)**H01L 31/00****H01L 31/042** (2014.01)**H01L 31/0392** (2006.01)**H01L 33/50** (2010.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ****(21)** Номер заявки: **u 2014 13254****(22)** Дата подання заявки: **10.12.2014****(24)** Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **12.05.2015****(46)** Публікація відомостей
про видачу патенту: **12.05.2015, Бюл.№ 9****(72)** Винахідник(и):**Дзензерський Віктор Олександрович**
(UA),**Соколовський Іван Іванович (UA),****Бистров Микола Іванович (UA),****Лавріч Юрій Миколайович (UA),****Лупирь Артем Андрійович (UA),****Погоріла Любов Михайлівна (UA)****(73)** Власник(и):**ІНСТИТУТ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ І**
ТЕХНОЛОГІЙ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ "ТРАНСМАГ",вул. Писаржевського, 5, м. Дніпропетровськ,
49005 (UA)**(54) ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ****(57)** Реферат:

Фотоелектричний перетворювач складається з електропровідної підкладки з низьковуглецевої нелегованої сталі з обмеженнями за вмістом в ній вуглецю, алюмінію, міді, хрому і нікелю з нанесеними на неї шарами аморфного кремнію, покритими контактною сіткою. Додатково містить плоский шар з ділянок металевої фольги і періодично розподілених рівновіддалених один від одного отворів переважно квазіовальної форми, виконаних в металевій фользі, що примикає до верхнього шару аморфного кремнію, при цьому більший розмір a отвору порядку довжини хвилі короткохвильової ділянки інфрачервоного випромінювання, менший розмір $b=(0,4-0,6)a$, відстань між отворами $(0,2-0,3) a$. При цьому роль контактної сітки виконують ділянки металевої фольги, що розділяють послідовність отворів, розміщених в шаховому порядку, а шар металевої фольги виконаний з того ж матеріалу, що і матеріал підкладки.

UA 98952 U



фиг. 1

Корисна модель належить до енергетики, а саме до фотоенергетики, як однієї з лідируючих технологій в спектрі джерел відновлюваної енергії.

Загальновізнано, що ера дешевих і зручних джерел енергії добігає кінця. Настала пора перейти до більш дорогих (але екологічно менш "брудних") джерел енергії. В альтернативних сценаріях розвитку світового енергетичного господарства сонячна енергетика займає ведучі позиції як енергетика, яка потенційно має мінімальні матеріальні витрати на виробництво нормативної одиниці енергії, у тому числі в найзручнішій для використання, по суті, універсальній - електричній.

Аналіз досліджень і технологічних розробок у фотоенергетиці останнім часом показує, що основні зусилля в цієї сфері були адресовані пошуку нових матеріалів, у тому числі і із залученням метаматеріалів багатшарових структур із срібла, оксиду титана і спеціальним чином легованих компонентів, що іменуються квантовими крапками, і технологій їх виробництва для підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) на їх основі [1-7]. Підхід виглядає виправданим, оскільки коефіцієнт перетворення сонячної радіації в електричний струм ФЕП на основі кремнію все ще недостатньо високий і дійсно необхідний пошук нових методів, у тому числі і з використанням нових матеріалів, для підвищення ефективності ФЕП.

Проте, існує і інші, менш витратні і, як представляється, більш швидкі (по часових витратах) підходи до підвищення ефективності, які засновані на раціональному використанні відповідних частотних смуг спектру сонячного випромінювання, у тому числі і із застосуванням люмінофорних технологій використання складових спектру, в традиційних технологіях незадіяних, зокрема, відповідних верхній частині діапазону (ультрафіолетової) [8] або його низькочастотній частині (інфрачервоної) [9]. Природно, що реалізація вказаних підходів зв'язана з відмовою від традиційної техніки і технологій виготовлення фотоелектричних модулів.

Тим часом значний і швидко реалізовуваний потенціал по підвищенню ефективності фотоелектричних перетворювачів існує на шляхах використання термодинамічних і електродинамічних підходів - просторової, частотної, просторово-частотної і поляризаційної селекції спектрів сонячного випромінювання із застосуванням резонансно-кутових фільтрів, частотно-виборчих матриць і трансформаторів поляризації, розроблених раніше для спецелектроніки [10-13] і що адресуються в корисній моделі, що заявляється, у формі, яка дозволяє оптимізувати функціонування фотоелектричних перетворювачів, побудованих за існуючими технологіями і з використанням вже освоєних матеріалів.

Відомий перетворювач сонячної енергії в електричну і теплову енергію [1], утворений з шарів монокристалічних кварцових пластин з нанесеним на них флуоресціюючим напівпровідниковим композитом - фталоціаніном перехідного металу з додатком модифікованих вуглецевих нанотрубок і наночастинок самого перехідного металу для поглинання квантів світла з подальшою генерацією випромінювання з малим стоковим зсувом. При цьому забезпечується перетворення енергії кванта світла в електричний струм і в тепло за допомогою вуглецевих нанотрубок, розміщених в нижньому шарі.

Проте невизначеність цілі по забезпеченню стокового зсуву, що ініціює випромінювання, і невиясненість механізму перетворення сонячного випромінювання в електричний струм шарами монокристалічних кварцових пластин і ролі підкладки не дозволяє розраховувати на ефективність такого перетворення.

Відомий фотоелектричний перетворювач, що складається із струмопровідної підкладки, виготовленої із сплаву хрому, титана, ванадію, ніобію, танталу і молібдену, з нанесеними на неї шарами аморфного кремнію, покритими контактною сіткою [14].

Використання у вказаному технічному рішенні аморфного кремнію, матеріалу недорогого і технологічно доступного, що виправдало доцільність його вживання в серійному виробництві ФЕП, які не претендують на рекордні показники по коефіцієнту корисної дії, є безперечною перевагою по відношенню до інших технологій виробництва ФЕП.

Проте використання струмопровідної підкладки, виготовленої з такого складного сплаву з недетермінованим вмістом кожного з компонентів в сплаві, не забезпечує вимог відтворюваності параметрів підкладки по електропровідності і по механічних властивостях, які, взагалі, достатньо високі, що затрудняє процес різання масиву матеріалу. Крім того, технологічна складність отримання вказаного сплаву в цілому - з дорогих металів - приводить до підвищення собівартості ФЕП, порівнянної з собівартістю перетворювачів, підкладки яких виготовлені із золота [15]. Недоліком вказаного перетворювача є і те, що підкладки з такого складного сплаву прийнятні для напilenня на них кремнію при температурах не вище 400 °C - при більш високих температурах дифузія ряду компонентів (переважно ванадію) в кремній стає неприпустимо інтенсивною. Дифузія значна і в типових експлуатаційних режимах, коли температура підкладки навіть у фотоелектричних перетворювачах невисокої потужності

(номіналом 50 Вт) досягає 80 °С, що знижує і коефіцієнт корисної дії ФЕП і його експлуатаційну надійність.

Найближчим по технічній суті і по результату, що досягається, до заявленої корисної моделі технічним рішенням (прототипом) є тонкоплівковий кремнієвий фотоелектричний перетворювач, який складається з електропровідної підкладки із сталі з напиленими на неї шарами аморфного кремнію, покритими контактною сіткою, при цьому сталь підкладки містить вуглецю менше 0,22 %, алюмінію - менше 0,02 %, міді - менше 0,3 %, хрому - менше 0,2 %, нікелю - менше 0,3 % [16].

Оптимізація параметрів низьковуглецевої сталі, що використовується в якості підкладки, по домішках дійсно [17] забезпечує достатньо хорошу електропровідність, пластичність (що важливе при різанні), допустимі величини дифузії алюмінію і постійність вказаних параметрів при змінах температури. Використання в технічному рішенні-прототипі аморфного кремнію, матеріалу недорогого і, як указувалося, виправдуватиме доцільність його вживання в серійному виробництві ФЕП, також є безперечною перевагою по відношенню до інших технологій виробництва ФЕП, причому використання в якості підкладки низьковуглецевої нелегованої сталі з обмеженнями за вмістом в ній вуглецю, алюмінію, міді, хрому і нікелю дозволяє зменшити вимоги за якістю аморфних кремнієвих плівок.

Проте і в технічному рішенні-прототипі не розв'язана кардинальним чином проблема зниження ефективності ФЕП (втім, і в будь-яких технологічних побудовах) унаслідок перегріву підкладки і, відповідно, активних шарів тепловою компонентою, частина якої в сонячному випромінюванні достатньо велика (45-46 % від загальної величини).

Задачею корисної моделі, що заявляється, є запобігання розігрівання фотоелектричного перетворювача і, відповідно, підвищення коефіцієнта перетворення сонячного випромінювання в електричний струм і підвищення ресурсу роботи, оскільки перегрів активних шарів веде і до прискореної деградації фотоелектричного перетворювача.

Поставлена задача вирішується тим, що фотоелектричний перетворювач, що складається з електропровідної підкладки з низьковуглецевої нелегованої сталі з обмеженнями за вмістом в ній вуглецю, алюмінію, міді, хрому і нікелю з нанесеними на неї шарами аморфного кремнію, покритими контактною сіткою, згідно з корисною моделлю додатково містить плоский шар з ділянок металевої фольги і періодично розподілених рівновіддалених один від одного отворів переважно квазіовальної форми, виконаних в металевій фользі, що примикає до верхнього шару аморфного кремнію, при цьому більший розмір а отвору порядку довжини хвилі короткохвильової ділянки інфрачервоного випромінювання, менший розмір $b=(0,4-0,6)a$, відстань між отворами $(0,2-0,3) a$, причому роль контактної сітки виконують ділянки металевої фольги, що розділяють послідовність отворів, розміщених в шаховому порядку, а шар металевої фольги виконаний з того ж матеріалу, що і матеріал підкладки.

Проблема запобігання перегріву фотоелектричних перетворювачів тепловою компонентою сонячного випромінювання важлива як з погляду зниження ККД при підвищенні температури, так і з погляду їх деградації в процесі експлуатації. Так, кремнієві фотоперетворювачі, подолавши значення температури 25 °С, що вважається оптимальним, починають втрачати $(0,45-0,5) \%$ ККД на кожний градус підвищення температури, причому максимальними втрати стають опівдні, коли кількість сонячного випромінювання досягає піку і, здавалося б, що в цей період продуктивність фотоперетворювача повинна бути максимально можливою. Проте, через те, що поверхня фотоелемента розігрівается до $(60-80)^\circ\text{C}$, електрична потужність, що генерується, через падіння ККД знижується більш ніж на 15 % в порівнянні з генераційною здатністю при оптимальній температурі 25 °С. В середньому через перегрів втрачається 10-15 % всієї генерації: 25 °С або менше може бути в холодну пору року або вранці, коли інтенсивність сонячного випромінювання в цілому невелика.

Крім того, чим вище нагрів фотоперетворювача, тим швидше падає його ефективність протягом життєвого циклу, тобто менша кількість кВт-годин кремнієва фотоелектростанція буде вироблена за час експлуатації.

Тому розробники фотоелектростанцій і у минулому, і в даний час вдаються до такого радикального рішення як розміщення їх на водосховищах [18, 19], виходячи з того, що водне базування не дозволить фотоперетворювачам досягти критичних температур і, хоча будівництво фотоелектричних станцій водного базування, поза сумнівом, дорожче серійних наземних, фактори ККД і життєвого циклу виправдовують додаткові витрати при будівництві.

Поза сумнівом, що і за вартістю, і за технологічністю продуктивним підходом, розвиненим в корисній моделі, що заявляється, є використання тонкоплівкового теплового екрана в традиційному (в рамках пристрою-прототипу) кремнієвому фотоелектричному перетворювачі, який є ефективним відбивачем інфрачервоного випромінювання і прозорим для більш

високочастотних складових спектру, що беруть участь в перетворенні червоного, зеленого і синього ділянок випромінювання в електричний струм.

Пропонований фотоелектричний перетворювач, фіг. 1-3, складається із струмопровідної підкладки 1 з низьковуглецевої нелегованої сталі, шару аморфного кремнію 2, тонкого металевому шару 3, в якому виконані квазіовальні отвори 4, розділені металевими ділянками 5, що створюють контактну сітку.

Функціонування розробленого пристрою полягає в наступному. Під час надходження сонячного випромінювання як багаточастотного хвильового потоку на металевий шар 3 - структуру з неоднорідною і строго детермінованою поверхнею - в останній формується складна диференціальна картинка, аналіз якої із залученням електродинамічної подібності [20, 21] з ретрансляцією форм для електродинамічного синтезу дозволив сформулювати вимоги до структури смугово-відбивальної поверхні в частині форми, розмірів і періодичності розташування отворів в металевому шарі 3.

Вказана структура дозволяє здійснити відбиття довгохвильової (інфрачервоної) ділянки спектру сонячного випромінювання і проходження з невеликими втратами короткохвильових ділянок, які є активними в механізмі перетворення енергії ініціюючих квантів світла в електричний струм. При цьому вказана структура металевому шару з чергуванням електропровідних ділянок і областей з отворами специфічної форми (по суті плоских ґрат) забезпечує стабільність частотної характеристики і її нечутливість до кута падіння опромінюючого хвильового потоку, так що досягається ширококутне відбиття ІЧ-випромінювання і ефективне поглинання активних ділянок спектру - червоного, зеленого і синього.

Оскільки базовий електродинамічний аналіз плоских частотно-виборчих ґрат [20, 21], який, по суті, є класифікаційним прототипом і який використовується при проектуванні фотоелектричного перетворювача, що заявляється, не враховує наявності країв ґрат, електропровідність матеріалу шару і хаотичність поляризації компонент поля сонячного випромінювання, то процес проектування фотоелектричних перетворювачів з використанням частотно-виборчих ґрат є складним, багатоваріантним ітераційним циклом розробки, враховуючи, що ІЧ-діапазон достатньо широкий і в практичних реалізаціях слід ужити каскадне вкладення матриць частотно-виборчих ґрат, що реалізують відбиття в короткохвильовій частині ІЧ-випромінювання (з довжинами хвиль 0,8-0,95 нм, де зосереджена переважна частина інфрачервоного випромінювання, в середньохвильовій (з довжинами хвиль 1,0-1,13 нм) і в довгохвильовій ділянці (з довжинами хвиль 1,2-1,32 нм). Природно, що багатокаскадне включення матриць ґрат до складу фотоелектричних перетворювачів ускладнює задачу їх проектування унаслідок необхідності рішення оптимізаційних задач структурного синтезу з використанням високопродуктивних систем автоматичного проектування, проте проблема підвищення ефективності і зниження деградаційних процесів ці ускладнення виправдовує.

Проте, виробництво, виготовлення вказаних частотно-виборчих ґрат в загальному технологічному циклі виробництва фотоелектричних перетворювачів нескладне: технології магнетронного і термічного напылення, тунельно-зондові нанотехнології [22, 23] вказані задачі вирішують.

Використані джерела

1. Патент на изобретение 2408954 RU МПК H01L31/042, B62B3/00. Преобразователь солнечной энергии в электрическую и тепловую / В.В. Лунин, А.Б. Юрчук, С.В. Савилов. - Оpubл. 10.01.2014, Бюл. № 1.

2. Патент на изобретение 2336596 RU МПК H01L31/042, B82B1/00. Полупроводниковый фотоэлектрический генератор (варианты) / Д.С. Стребков, О.В. Шеповалова, В.В. Заддэ - Заявка: 2007113493/28, 11.04.2007, Патентообладатель: Российская Академия Сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ). - Оpubл. 20.10.2008.

3. Патент на изобретение 2331141 RU, МПК H01L31/04. Преобразователь электромагнитного излучения / И.Е. Проценко, О.А. Займидорога, В.М. Рудой. - Заявка: 2007106584/28, 22.02.2007. - Патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью "Новые энергетические технологии". - Оpubл. 10.08.2008.

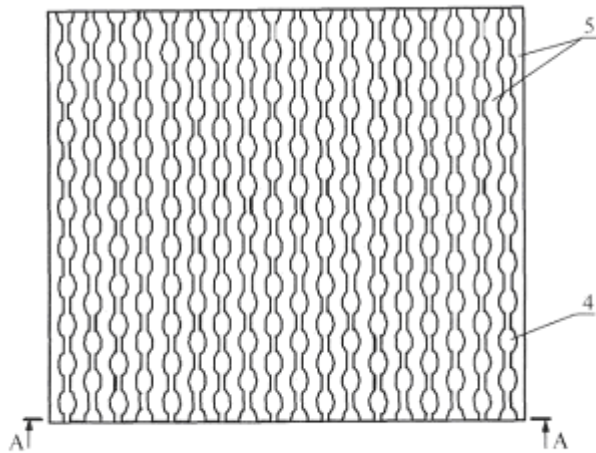
4. Патент на полезную модель 57054 RU, МПК H01L31/04. Преобразователь солнечной энергии в электрическую / А.В. Тутов. - Заявка: 2006117561/22, 22.05.2006 Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Курский государственный технический университет". - Оpubл. 27.09.2006.

5. United States patent 5 851 310, МПК H01L 31/075, H01L 031/0304, H01L31/06, H01L31/06, H01L31/0304, H01L031/18. Strained quantum well photovoltaic energy converter / A. Freundlich, Ph. Renaud, Mauro F. Vilela, A. Bensaoula, Appl. No.: 08/568,12922, Filed: December 6, 1995. - Publ. 22 Dec. 1998.
6. United States patent 5 407 491, МПК H01L31/0304, H01L31/068, H01L31/06, H01L31/18, H01L31/0264, H01L031/06, H01L031/18, H01L031/0304. Tandem solar with improved tunnel junction / A. Freundlich, Mauro F. Vilela, A. Bensaoula, A. Ignatiev. Appl. No.: 08/044,941, Filed: April 8, 1993. - Publ. 18 Apr. 1995.
7. Пигур О.Н., Попович В.Д., Potera P., Вирт И.С., Вирий (Ивасив) З.Ф. Влияние обработки водородом монокристаллов теллурида кадмия на их спектры оптического пропускания // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2011. - № 4. - С. 35-38.
8. Патент на изобретение 2456712 RU МПК H01L33/50. Источник белого света / В.С. Редькин и др. - Заявка: 2011108184/28, 02.03.2011 Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук. - Оpubл. 20.07.2012.
9. Стевич З., Райчич-Вуясинович, Иванов С., Пожега Е. Тепловизионные исследования гибридных солнечных систем на основе ТООлектрических и термоэлектрических модулей // МНПК "Сучасні інформаційні і електронні технології", Одеса, 26-30 травня 2014.
10. Соколовский И.И., Покровский Ю.А. Прикладная радиооптика. Теория и методы резонансной угловой фильтрации. - Киев: Наукова думка, 1986. - 220 с.
11. Schennum G.H. Frequency-selective surface for multiple-frequency antennas // Microwave J. - 1973. - No 5 (May). - p.p. 55-57.
12. Yong L., Robinson L.A., Hacking C.A. Meander-line polarizer // IEEE Trans. Antennas Propagat. - 1973. - Vol. AP-2-1. - p.p. 376-378.
13. Tsao C.H., Mitra R. Spectral clamain analysis frequency selective surface comprised periodic arrays cross dipoles and Jerusalem crosses // IEEE Trans. Antennas Propagat. - 1973. - Vol. AP-3-1, No 5. - p.p. 478-486.
14. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы (пер. с англ.). - М.: Мир, 1986. - 435 с.
15. Патент на изобретение 2049365 RU, МПК H01L27/01. Тонкопленочный электрический элемент и способ его изготовления / Джеймс Уолтер Геллер, Кирк Уиллис Джонсон, Дэвид Дипсон. - Заявка: 4894779/25 от 12.02.1991; Заявитель и патентообладатель: Эли Лили энд Компании, США. - Оpubл. 27.11.1995.
16. Патент на изобретение 2477905 RU МПК H01L 31/0392. Тонкопленочный кремниевый фотоэлектрический преобразователь / Т.Т. Кондратенко и др. - Заявка: 2011137951/28 от 15.09.2011; Патентообладатель: Капитанов В.А. Оpubл. 20.03.2013.
17. Марочник сталей и сплавов / Под общ. Ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.
18. Матевосян П.А., Мнакацян М.Г., Мелконян Д.О. Автономный фотоэлектрический источник водного базирования // Известия ВУЗов. Энергетика. - 1977. - № 22. - С. 67-69.
19. Junko Movellan. Running Precious Land? Floating Solar PV Systems May Be a Solution- Solar-on-the-Water Okegawa // Renewable Energy World.com. November 07, 2013.
20. Pelton E.L., Munk B.A. Scattering from periodic arrays crossed dipoles // IEE Trans. Antennas, Propagate. - 1979. - Vol. AP-27 № 5. - P. 323-330.
21. Mitra R.A., Chan Ch.H. Techniques for Analizing frequency selective surface-A Review // Proc. IEEE. - Vol. 76 № 12. - P. 1593-1615.
22. Наволин В.К. Физические основы туннельно-зондовой нанотехнологии // Электронная промышленность. - 1993. - № 10. - С. 8-15.
23. Наволин В.К. Физические основы туннельно-зондовой нанотехнологии (учебное пособие). - М.: Изд-во ГОЦ ВПО, 2004. - 100 с.

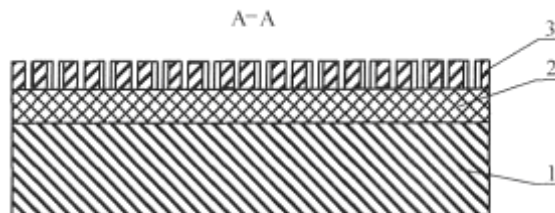
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Фотоелектричний перетворювач, що складається з електропровідної підкладки з низьковуглецевої нелегованої сталі з обмеженнями за вмістом в ній вуглецю, алюмінію, міді, хрому і нікелю з нанесеними на неї шарами аморфного кремнію, покритими контактною сіткою, який **відрізняється** тим, що додатково містить плоский шар з ділянок металевої фольги і періодично розподілених рівновіддалених один від одного отворів переважно квазіовальної форми, виконаних в металевій фользі, що примикає до верхнього шару аморфного кремнію, при цьому більший розмір а отвору порядку довжини хвилі короткохвильової ділянки

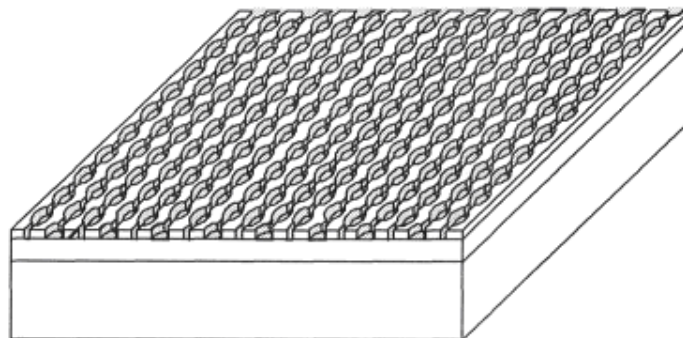
інфрачервоного випромінювання, менший розмір $b=(0,4-0,6)a$, відстань між отворами $(0,2-0,3)a$, причому роль контактної сітки виконують ділянки металевої фольги, що розділяють послідовність отворів, розміщених в шаховому порядку, а шар металевої фольги виконаний з того ж матеріалу, що і матеріал підкладки.



фiг. 1



фiг. 2



фiг. 3

Комп'ютерна верстка В. Мацело

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