

Штіфзон О.Й., Бурлака А.Ю.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Огляд сучасних фотоелектричних систем.

На сьогоднішній день фотоелектричні системи активно використовуються в якості джерел енергії в усьому світі. Однією з важливих проблем застосування таких систем є аналіз їх роботи з врахування великої кількості факторів. І саме тому, при неврахуванні цих факторів, існують великі втрати енергії через невідповідність типів сонячних елементів, кліматичним умовам територій, на яких вони встановлені. Головною проблемою сонячних батарей являється нестабільність вироблюваної енергії, на що, головним чином, впливає погода, час доби, сезон, низька межа робочої температури, вище якої ККД стрімко знижується, а чутливість до природної нестабільності підвищується. Невідповідний клімат, приводить до того, що 40-60% часу сонячна батарея буде пасивна. Але всі сонячні елементи мають різну ККД, стійкість до високих температур, степінь вловлювання світла. Це дозволяє оцінити, який тип сонячної батареї краще працює в кліматичних умовах деякої території. Виходячи з цього можна зробити висновок, що при вірному виборі типу сонячної панелі, її нестабільність вироблюваної енергії на певній території буде нижчою.

Сучасні типи сонячних батарей діляться на дві групи: кремнієві та плівкові. Кожна з них представлена кількома різновидами. Кремнієві сонячні панелі можуть бути:

1. монокристалічними;
2. полікристалічними;
3. аморфними (вони є гнучкими і тому їх також можна відносити до плівкових).

Плівкові панелі бувають таких видів:

1. полімерні;
2. на основі телурій кадмію;
3. на основі селеніду міді-індію.

Різниця між цими видами в тому, як організовані атоми кремнію в кристалі. Різні сонячні елементи мають різний ККД перетворення енергії світла. Переважна більшість комірок сонячних перетворювачів сучасних серійних фотомодулів виготовляється з монокристалічного (С-Si), або полікристалічного (МС-Si) кремнію. На сьогоднішній день такі кремнієві фотоелектричні модулі займають близько 90% ринку фотоелектричних перетворювачів, з яких приблизно 2/3 припадає на полікристалічний кремній і 1/3 - на монокристалічний. Далі йдуть сонячні модулі, фотоелементи яких виготовлені по тонкоплівковій технології - методом осадження, або напилення фоточутливих речовин на різні підкладки. Розглянемо детальніше кожен вид сонячних перетворювачів.

Монокристалічна сонячна батарея

Сьогодні монокристалічні сонячні перетворювачі є найефективнішими. Вони разом з іншими, створеними на основі кремнію, панелями займають найбільшу ринкову нішу. Головна відмінність монокристалічних фотоелементів полягає в їх однорідності, яка забезпечується шляхом вирощування монокристалів, розпилювання на пластини і їх обробкою. В іншому випадку, застосовують спрямоване зростання монокристалів з подальшою обробкою. Ця сонячна батарея являє собою набір комірок з'єднаних між собою. Кожна комірка складається з дуже чистого кремнію. Для отримання такого матеріалу виробники використовують метод Чохральського. Особливістю цього кремнію є те, що всі зерна його кристалів паралельні, а кристали спрямовані в одну сторону. Завдяки цьому вирізані з кремнію пластини здатні продемонструвати ККД, рівний 18-22%. З такою ефективністю не працює жодна сонячна панель. Така особливість є головною перевагою цього виду. У порівнянні з полікристалічними фотоелементами, технологія складніша і витратна, що

позначається і на ціні. Однак, через низку переваг частка монокристалічних сонячних батарей з кожним роком зростає [1].

Переваги монокристалічних сонячних батарей

- ККД найвищий серед аналогів – 18-22%. Деякі виробники вже перевищили і цей поріг.

- Висока вихідна потужність.

- Стійкість до високих температур обумовлює найтриваліший термін експлуатації.

- Компактність розмірів. До чотирьох разів менший, ніж у тонкоплівкових з тією ж потужністю, до півтора рази – у порівнянні з полікристалічними.

Недоліки монокристалічних панелей

- Вся енергосистема повинна бути освітлена однаково. Якщо частина фотоелементів буде закрита тінню, брудом, опадами, і т.д., то увесь ланцюг втратить потужність. Виходом з цієї ситуації може стати установка мікроінверторів замість центральних.

- Найвища вартість.

- Невисока степінь вловлювання світла з різних напрямків.

Можливості використання

При вартості приблизно на 10-20% більше, ніж у полікристалічних фотоелементів, ККД може бути більшим навіть в 2 рази в одному класі якості. Експериментуючи з методами і ступенем очищення кремнію, виробники з кожним роком збільшують цей розрив. Так як у даних сонячних батареях невисока степінь вловлювання світла з різних напрямків та існує необхідність в однорідності освітлення панелі їх доцільно встановлювати в місцевостях з високим індексом прозорості атмосфери, невеликою часткою опадів або використовувати трекери для подолання цих недоліків. Стійкість до високих температур дає можливість до їх встановлення в жарких місцевостях. При дотриманні рекомендацій по встановлення даних сонячних батарей наведених вище, ступінь неоднорідності генерації електричної енергії зменшується.

Полікристалічна сонячна батарея

У виробництві полікристалічних сонячних батарей використовується полікристалічний кремній, який не вимагає застосування витратного методу Чохральського. Це робить виробництво дешевше, а технологію доступнішою. Світлочутливі пластини цих панелей складаються з того ж кремнію, що і монокристалічні. Однак його структуру утворюють полікристали, які направлені в різні боки. Крім цього, в середині кожного кристала, зерна розташовані не паралельно. У деяких місцях формуються області, які мають зернисті границі. Це ж призводить до того, що продуктивність панелі знижується. ККД панелі становить 12-18%. Неоднорідна структура кремнію, що використовується в полікристалічних батареях обумовлена більш простим методом виробництва [2].

Різна спрямованість полікристалів дає можливість вловлювати світло з різних напрямків, включаючи і те, що відбивається від різних поверхонь. Тому в похмуру погоду такі панелі не сильно втрачають ККД. Для порівняння, в похмуру погоду продуктивність монокристалічних панелей, істотно знижується.

Переваги полікристалічних панелей

- Відносно низька вартість сонячної батареї.
- Поширеність на ринку, більший вибір виробників.
- Висока степінь вловлювання світла з різних напрямків.

Недоліки полікристалічних панелей

• Стійкість полікристалічного кремнію до високих температур нижча, ніж у монокристалічного, і при роботі в спеку батареї працюють гірше. Це скорочує термін служби, хоча і незначно.

• Менший ККД передбачає використання більшої площі фотоелементів.

• ККД близько 11-18%, що трохи нижче, ніж у монокристалічних фотоелементів.

• Низька в порівнянні з монокристалічними панелями здатність тримати номінальну напругу при зниженні рівня освітленості.

Можливості використання

При підключенні фотоелементів до інвертору і акумулятора без контролера, полікристалічні сонячні батареї є більш ефективними, так як у них менша максимальна напруга і напруга холостого ходу в порівнянні з іншими видами. Так як у даних сонячних батареях висока степінь вловлювання світла з різних напрямків і стійкість полікристалічного кремнію до високих температур нижча, ніж у монокристалічного то рекомендовано їх встановлювати у місцевостях з низькими температурами зовнішнього повітря, а також є можливість їх використання на територіях з низьким індексом прозорості атмосфери. Рекомендації по встановленню даних сонячних батарей наведені вище дозволяють зменшити ступінь неоднорідності генерації електричної енергії.

Тонкоплівкова сонячна батарея

Тонкоплівкові панелі сьогодні найменш поширені через свій низький ККД, який поки що дуже рідко може перевищувати 10%, а найчастіше знаходиться на рівні 5%. Вони виготовляються за різними технологіями:

1. З аморфного кремнію;
2. З телуриду кадмію;
3. З і селеніду міді-індію;
4. З органічних елементів.

Жодна з перерахованих вище технологій сьогодні не досягнула показників кристалічного кремнію, і хоча багато виробників активно нарощують обсяги виробництва, на сьогоднішній день дана технологія не є вигідною для приватного будинку.

1. Батареї на основі аморфного кремнію

Вітчизняні та іноземні виробники виготовляють їх не з самого кристалічного кремнію, а з кремневодорода або силану. Цей матеріал не має такої продуктивності, як пластини вищеназваних видів. Його ККД не є великим 5-6%.

Переваги батарей на основі аморфного кремнію

- Відмінна гнучкість. Згинання не призводять до пошкодження матеріалу і падіння його продуктивності.

- Дуже мала товщина. Вона не є більшою 1 мкм.

- Високий рівень оптичного поглинання. Полі-і монокристалічні панелі за цим показником гірше в 20 разів.

- Низьке падіння продуктивності в похмуру погоду.

Варто акцентувати увагу на тому, що цей вид теж є представником кремнієвих сонячних панелей. Крім них компанії навчилися створювати гібридні сонячні батареї. Вони також можуть генерувати струм з напругою 12 або 24 вольт.

Один з таких варіантів виготовляють з двухфазного матеріалу, склад якого представлений аморфним кремнієм і мікро- або нанокристалами. Частка останніх є дуже малою. Однак цього досить, щоб отримати такий же ККД, який мають полікристалічні сонячні батареї [1].

2. Плівкові батареї на основі телур кадмію

Сьогодні не всі мають бажання купувати сонячні батареї з цього матеріалу, адже кадмій - це кумулятивна отрута і тому існує думка, що він може бути небезпечним. Відповідно до проведених досліджень частка потрапляє в атмосферу кадмію дуже мала. З цієї причини він не здатний завдати шкоди.

Переваги плівкових батарей на основі телур кадмію

- ККД дорівнює 10%.

- 1 кВт потужності є дешевше на 20-30% від 1 кВт потужності кремнієвих сонячних батарей.

3. Панель з селеніду міді-індію

Для створення даної фоточутливої пластини використовують селенід, мідь, індій. Деякі з компаній замінюють невелику кількість елементів індію галієм. Причиною такого підходу є регулярне застосування його у виробництві плоских моніторів. Галій має кілька схожі властивості. Однак ККД панелі з таким елементом стає менше.

Сонячна батарея на основі селеніду міді-індію здатна перетворити 15-20% падаючого на неї сонячного випромінювання в електричну енергію. Як видно, по ККД цей вид мало чим відстає від монокристалічної кремнієвої батареї.

Основним недоліком цього виду панелей є велика вартість, що обумовлена використанням міді та індію.

4. Полімерні сонячні панелі

Цей вид сонячних батарей можна назвати найбільш молодим, адже інженери почали розробляти його відносно недавно. Створюючи його, вони хотіли скористатися наявними можливостями органічних напівпровідників. Це їм вдалося зробити більш-менш добре. Сонячна батарея на 50 Вт і більшою потужністю (наприклад, 0,1 кВт) здатна показати ККД, рівний 5-6%.

Для виробництва цих джерел струму використовують різні органічні напівпровідники. Список найбільш уживаних складається з:

- поліфенілена;
- вуглецевих фулеренів;
- фталоціана міді і аналогів.

Завдяки цим матеріалам плівка має товщину, рівну 100 нм.

Головні переваги такої панелі:

- Мала собівартості.
- Легкість і доступність.
- Неможливість завдати шкоди навколишньому середовищу.
- Добра механічна еластичність.

До загальних переваг тонкопліткових панелей можна віднести:

- Низька собівартість в порівнянні з кристалічним кремнієм.
- Однорідність панелей, їх естетичність.
- Можливість гнучкого монтажу та покриття великої площі цільним матеріалом.

- Низькі втрати при нагріванні, а також при непрямим сонячних променях.

Загальні недоліки тонкопліткових батарей

- Більш низький ККД, що вимагає збільшення площі сонячних батарей.

- Для монтажу більшої площі панелей потрібні великі опорні конструкції, більше кабелів. У підсумку, вартість кінцевої системи зростає, незважаючи на низькі витрати на фотоелементи.

- Виробники дають меншу гарантію, що означає менший термін служби в порівнянні з кристалічними фотоелементами.

Можливості використання

З огляду на тенденції виробників, з часом ККД тонкоплівкових панелей може зрости аж до 16%, але з огляду на паралельне зростання ККД систем з кремнієвими кристалами, актуальність тонкоплівкових фотоелементів залишається сумнівною. Найбільш затребувані серед них - з телуриду кадмію. Саме вони сьогодні нарощують темпи виробництва і працюють над модифікаціями і підвищенням ККД [2]. Так як у даних сонячних батареях низькі втрати при нагріванні, а також при непрямим сонячних променях, то для зниження ступеня неоднорідності генерації електричної енергії рекомендовано їх встановлювати в місцевостях з низьким індексом прозорості атмосфери, а також є можливість їх використання на територіях з високими температурами.

Отже, незважаючи на існування великої різноманітності сонячних перетворювачів, проблема нестабільної генерації енергії при зміні рівня освітленості залишається остаточно невирішеною. На сьогодні, найкращі показники стабільної генерації енергії мають батареї на основі аморфного кремнію, гірші - полікристалічні сонячні батареї, а найгірші – монокристалічні.

Література:

1. Handbook of photovoltaic science and engineering / ed. By A. Luque, S. Hegedus. – Southern Gate, Chichester England, John Wiley & Sons Ltd, 2003. – 1179 p.
2. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. — СПб.: Наука и Техника, 2014. — 320 с.