

В. Мачулін, В. Литовченко, М. Стріха

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА: ПОРЯДОК ДЕННИЙ ДЛЯ СВІТУ Й УКРАЇНИ

Механізми глобальних кліматичних змін і досі виступають предметом дискусії фахівців. Єдиним достовірним фактом уважають те, що протягом минулого сторіччя середня температура земної поверхні зросла приблизно на градус Цельсія, причому половина цього підвищення припала на півтора останні десятиліття. Імовірна причина екологічних змін — енергетичні перевитрати людства, у яких «винна» головним чином теплова енергетика, базована на спалюванні запасів органічних речовин, які природа накопичила за мільйони років існування органічного життя. Саме вона насичує атмосферу вуглекислотою, сірководнем, іншими шкідливими викидами, що спричиняють парниковий ефект. За прогнозами вчених, ключову роль у розв'язанні енергетичної проблеми мають зіграти галузі, котрі розвивають альтернативні джерела енергії, зокрема сонячна енергетика.

АЛЬТЕРНАТИВИ ТРАДИЦІЙНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Глобальне потепління, що викликає танення льодовиків, може мати низку загрозливих наслідків, наприклад, підвищення рівня Світового океану. Експертні оцінки ІРСС (Міжурядової ради з кліматичних змін) щодо абсолютних показників цього підвищення до 2100 р. коливаються від 18–59 см («помірний» сценарій) до 80–200 см («катастрофічний» сценарій, що призведе

до затоплення значних площ суходолу і навіть зникнення цілих острівних держав, таких як Мальдіви чи Тувалу, а також повсюдних радикальних змін клімату) [1]. У будь-якому випадку потепління дістане характер «ланцюгової реакції»: нагріті океанічні води викидатимуть в атмосферу величезні маси розчиненого в них вуглекислого газу, через що зросте температура.

Негативні кліматичні метаморфози зачепили й Україну. На часі зміна традиційних

© МАЧУЛІН Володимир Федорович. Академік НАН України. Директор Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Голова Наукової ради з проблеми «Фізика напівпровідників та напівпровідникові пристрої».

ЛИТОВЧЕНКО Володимир Григорович. Член-кореспондент НАН України. Завідувач відділення фізики поверхні та мікроелектроніки цього ж інституту. Президент Українського фізичного товариства.

СТРІХА Максим Віталійович. Доктор фізико-математичних наук. Головний науковий співробітник цього ж інституту (Київ). 2011.

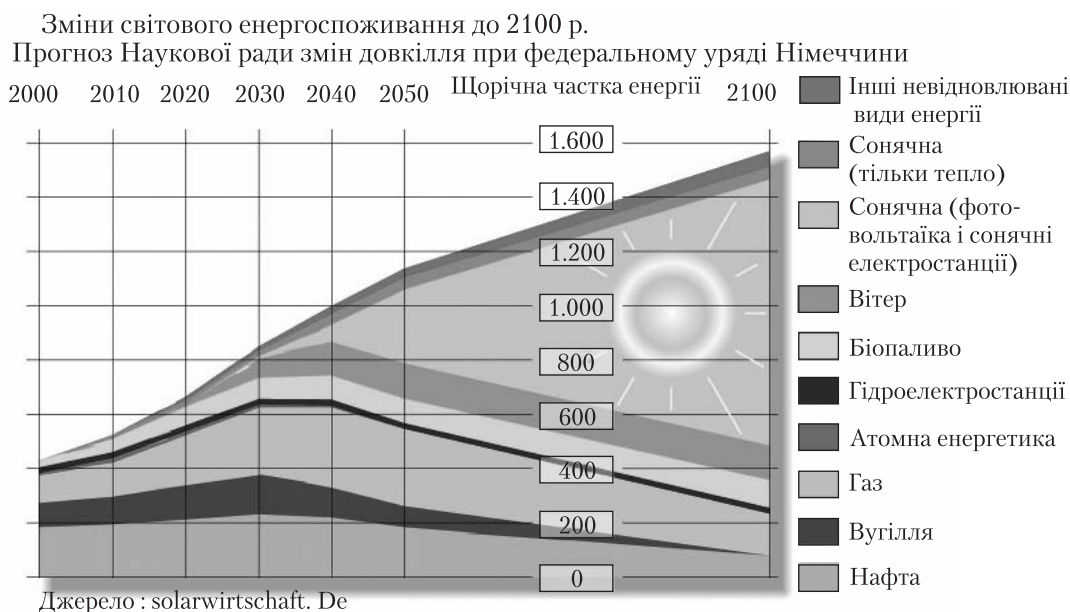


Рис. 1. Перспектива використання різних видів енергії до 2100 р.

технологій землеробства, зокрема перехід до поливного рільництва в посушливих зонах, нове районування багатьох сільськогосподарських культур, що потребує великих і скоординованих зусиль на державному рівні. Ще одним тривожним «дзвіночком» стає поява організмів, характерних раніше тільки для Причорномор'я (у тому числі й небезпечних каракуртів), на широті півночі Лісостепу (Черкащина і південна Київщина).

Протидії глобальним змінам клімату було присвячено вже кілька самітів країн-світових лідерів. При цьому пошуки шляхів розв'язання цих проблем традиційно наражаються на спротив держав з потужною тепловою енергетикою і металургією (США, Китай, Індія тощо), для яких обмеження викидів стане дуже витратним, суттєво обмежить економічну конкурентоспроможність. Однак, попри перешкоди, механізм Кіотського протоколу набув чинності. Низка держав (не лише розвинених, а дедалі частіше й так званого «третього світу») здійснює найсерйозніші кроки для заміни традиційної теплової енергетики

альтернативною, зокрема й базованою на сонячній енергії з її перетворенням в електричну (фотовольтаїка).

Паралельно домагаються повнішого використання тепла, яке створює людина (скажімо, з допомогою теплових насосів), упровадження альтернативного палива (біогаз, солома, сміття, дизельне паливо з олійних культур тощо — хоч це лише частково зарядить бідним на викопне паливо країнам і не усуне загрози глобального потепління). Повсюдними стали суворі заходи з енергоощадження, здійснювані як гігантськими виробництвами, так і окремими домогосподарствами, а також запровадження нових очисних технологій. У низці випадків це вже радикально змінило структуру енергоспоживання (рис. 1).

За прогнозами експертів, упродовж найближчих десятиліть достатньо інтенсивно розвиватиметься й атомна енергетика — найбільш реальний конкурент тепловій. Але з цією галуззю пов'язані очевидні ризики: небезпека масштабних аварій (ми, українці, переживши наслідки катастрофи



Рис. 2. Фараон Ехнатон (XIV ст. до н.е.) поклоняється божеству-Сонцю (стела з Каїрського музею)

на Чорнобильській АЕС, відчуваємо її особливо гостро, а нещодавня трагедія на станції Фукусіма-1 посирила тривогу в усьому світі), а також нерегульованість довгострокового зберігання радіоактивних відходів. Крім того, ця енергетика також невідтворювана, а запасів атомного палива вистачить на обмежений період. Уже сьогодні помітний дефіцит паливного урану. До того ж, не продукуючи шкідливого вуглекислого газу, АЕС викликає велике «теплове» забруднення довкілля, а розвиток атомної енергетики в Україні стримує, зокрема, брак водних ресурсів для ставків-охолоджувачів.

Очевидно, що розв'язання енергетичної проблеми ґрунтуватиметься на комбінації всіх перелічених інструментів, причому конкретні сценарії в кожній країні варіюватимуться залежно від кліматичної зони, ресурсів, стану економіки. Проте енергетиці, базованій на прямому перетворенні сонячного випромінювання на електроенергію, належить унікальне й універсальне місце. Адже найпотужніше джерело енергії, доступне для нашої планети, — випромінювання Сон-

ця (це розуміли ще в давньому Єгипті, де світило мало статус божества, рис. 2). Природа завбачливо розташувала за 150 млн км від Землі цей термоядерний «реактор». Його енергії вистачить принаймні на 4 млрд років, причому вона не дає не лише хімічного, але й теплового забруднення: відбувається тільки перерозподіл тієї енергії, що й падає на земну поверхню з космосу.

Чільні країни форсовано розвивають усякі форми використання сонячної енергії (зокрема, споруджують велику кількість вітроелектростанцій різної потужності). Перспективні також напівпровідникові фотоелементи, які напряду перетворюють енергію денного світила на зручну для використання електричну.

Протягом останніх десятиліть технологія сонячних перетворювачів інтенсивно розвивалася. Панелі сонячних батарей було встановлено вже на третьому радянському супутнику, виведеному на орбіту 15 травня 1958 р., відтоді вони стали обов'язковим атрибутом усіх космічних апаратів. Сьогодні ці батареї, образно кажучи, спустилися з космосу на землю і надійно ввійшли в побут, будучи ідеальними джерелами енергопостачання для окремих домогосподарств, а також надійно працюючи в найрізноманітніших автономних пристроях побутової електроніки. Достатньо добре налагоджено накопичення виробленої упродовж світлового часу «сонячної» електрики. Сонячні батареї «рухають» різноманітні транспортні агрегати, причому вже не тільки автомобілі й човни, але й експериментальні зразки літаків.

На черзі — «велика» сонячна енергетика, що працюватиме для промисловості й забезпечення життєдіяльності міст. Готуючись до цієї перспективи, США вже сьогодні збираються будувати нову систему електростанцій продуктивністю понад 100 МВт/рік (за планами, електростанція в Гіллсборо (штат Орегон) в 2011 р. виробить до 500 МВт, рис. 3) і потужних енергомереж — від пустельних штатів Південного

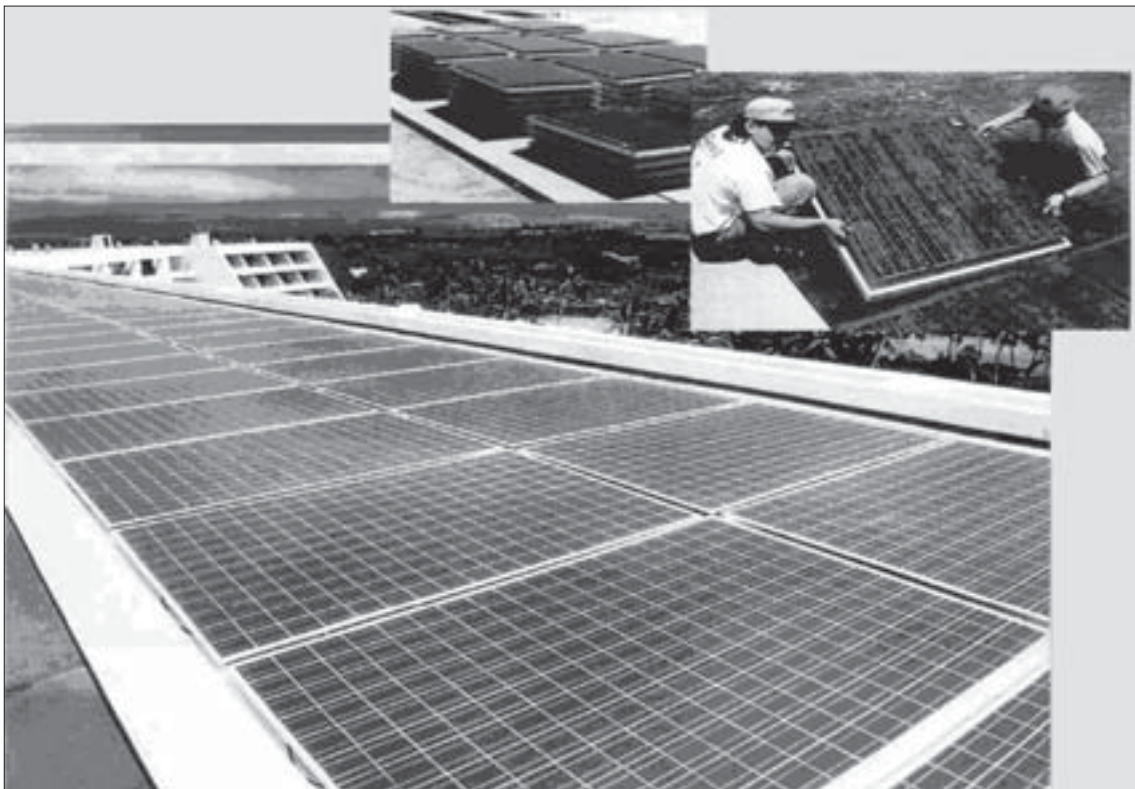


Рис. 3. Сучасна мегаватна сонячна електростанція на напівпровідникових перетворювачах (США)

Заходу зі спекотним кліматом, де спорудження великих фотовольтаїчних станцій найбільш виправдане, до місць традиційного споживання цієї енергії (див. [2]).

Значну увагу альтернативним джерелам енергії, зокрема її фотоелектричному перетворенню, приділяє Європейський Союз. У доповіді «Енергетична (р)еволюція: на шляху до постачання повністю відновлюваної енергії в ЄС» [3] підкреслено, що комплекс наявних технологій, а також широке впровадження електромобілів і скорочене споживання уможливають різкі зміни енергетичних витрат.

ЄС міг би отримати 92% енергії з поновлюваних джерел (таких як вітрова і сонячна енергія) вже до 2050 р., водночас скоротивши викиди вуглекислого газу на 95% порівняно з 1990 р. Про це йдеться в доповіді організації «Greenpeace International» і Євро-

пейської ради з відновлюваної енергетики під назвою «Сценарій енергетичної (р)еволюції ЄС від Greenpeace на 2050 рік» [4]. Для цього потрібні €2 трлн інвестицій, але ці витрати мають компенсувати €2,65 трлн економії на паливі, стверджують автори доповіді.

Прикметно, що сонячна енергетика вже стала в розвинених країнах предметом справжнього стратегічного змагання в науці й технологіях. Університети США щороку борються за найвищий ККД фотоперетворювачів, а ралі на «сонячних» автомобілях через Австралію щороку приносить новий рекорд швидкості (у 1982 р. шлях у 4 тис. км уперше подолали з середньою швидкістю 30 км/год., нині вона перевищує 90).

УКРАЇНА: ПОТЕНЦІАЛ І ЗДОБУТКИ

Як свідчить аналіз, Україна за рівнем реального надходження сонячної енергії

на одиницю площі (ураховуючи відносно сухий і малохмарний клімат) має добрі перспективи. Наша середня величина інсоляції — як на півдні Німеччини або півночі Франції, більша, ніж в Англії чи Скандинавії, де виробництво й використання «сонячної» електроенергії сьогодні в сотні раз перевищує вітчизняне. У цілому ж на рік 1 м² поверхні на широті півдня України отримує 1900 кВт енергії сонячного випромінювання (на екваторі — 2300 кВт).

Великі традиції має й наша напівпровідникова наука. Саме ця галузь скрізь у світі трудиться над конструюванням ефективніших перетворювачів.

Нагадаємо, що сам *p-n* перехід між двома областями одного напівпровідника з різним типом провідності, а також явище вентильного фотоелекту на цьому переході (що лежить в основі роботи всіх фотоелементів) відкрив у 1941 р. у Києві український учений В.Є. Лашкар'юв, чиє ім'я носить Інститут фізики напівпровідників НАН України [5]. На жаль, це відкриття «нобелівського» рівня залишилось тоді майже непоміченим — тривала Друга світова війна, а технологія основних напівпровідників — германію і кремнію — була ще зовсім нерозвинена.



Рис. 4. КА КС5МФ2 «Мікрон» і комплект сонячних батарей до нього

З кін. 70-х рр. над створенням ефективних фотовольгаїчних елементів на основі контакту металу і дешевого аморфного кремнію активно працювала група дослідників на радіофізичному факультеті Київського університету ім. Т.Г. Шевченка; її очолював учень академіка В.Є. Лашкар'юва професор В.І. Стріха [6–8]. Під його керівництвом було розроблено дуже ефективні кремнієві перетворювачі з високим ККД (близько 20%). Він став і одним з перших популяризаторів фотовольгаїки в Україні [8, 9].

Приблизно тоді ж в АН УРСР і Київському політехнічному інституті колектив під керівництвом професора А.П. Горбаня й О.М. Шмирьової розпочав створення сонячних елементів на основі кристалічного кремнію з виготовленням *p-n* переходів, щоб дістати космічні та наземні сонячні батареї [10–13]. Також було отримано сонячні перетворювачі з параметрами, близькими до світових. Зокрема, група, яку очолював А.П. Горбань, у межах Національної космічної програми України розробила, виготовила і поставила комплекти космічних сонячних батарей (СБ) з ККД близько 19%, призначених для енергопостачання космічних апаратів (КА) нового покоління. Ці батареї пройшли повний цикл автономних і комплексних випробувань, їх установили на льотному зразку першого українського КА КС5МФ2 «Мікрон», запуск якого відбувся в грудні 2004 р. (рис. 4).

На замовлення МНС України було розроблено кремнієві СБ підвищеної ефективності, які працюють у складі сонячно-аккумуляторних блоків електроживлення професійної дозиметричної та радіометричної апаратури, яку експлуатують у польових умовах. Освоєно малосерійне виробництво цих батарей. На рис. 5 представлено спільну розробку Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкар'юва НАН України й Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України — мобільний геліозварювальний апарат, який має широ-

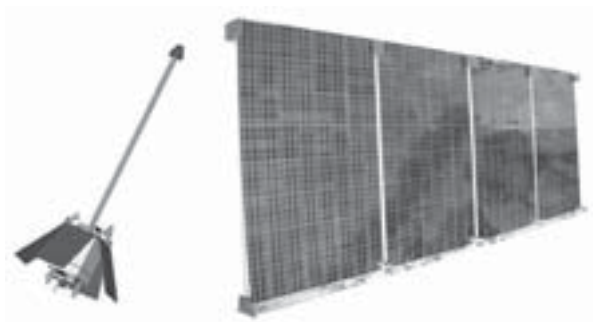


Рис. 5. Мобільна сонячна електростанція для електрозварювальних робіт (розробка ІФН НАН України й ІЕЗ НАН України)

ке застосування (зокрема, і як автономний технологічний центр [14]).

Важливим здобутком став також перший і єдиний в Україні атестований Держспоживстандартом Центр випробувань фотоперетворювачів та фотоелектричних батарей (ЦВФФБ), яким користуються і зарубіжні організації.

ФОТОВОЛЬТАІЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

Низька концентрація сонячної енергії передбачає покриття фотовольтаїчними елементами значних площ, а отже, виготовлення достатньої кількості кремнію для таких елементів. Тож постає нагальна потреба в потужній індустрії чистого кремнію, понад половину якого в 2010 р. (54 тис. з понад 100 тис. т) світ скерував саме на потреби сонячної енергетики. Для продукування сонячних фотоперетворювачів використовують й інші напівпровідники, проте в масовому виробництві відносно дешевий кремній з його практично невичерпними запасами сировини не має і в найближчій перспективі не матиме конкурентів.

Провідні країни виготовляють його чимраз більше. Однак сьогодні утворився дефіцит чистого кремнію, внаслідок чого в кілька разів підвищилася ринкова ціна на нього. За прогнозами фахівців, світовий від'ємний баланс виробництва кремнію

якості, необхідної для сонячних елементів, що склався після 2003 р., зростатиме протягом найближчих 10–15 років саме через різке підвищення попиту в зв'язку зі стрімким розвитком сонячної енергетики.

Усе ще висока вартість напівпровідникових фотоперетворювачів — генераторів енергії. Хоча впродовж минулих чотирьох десятиліть завдяки інтенсифікації технологій їх удалося значно здешевити (квадратний метр перетворювачів на кристалічному кремнії коштує €400, на аморфному — 80), генерована ними енергія з урахуванням інсталяції потужностей коштує сьогодні €2–3/кВт (для енергії, отриманої шляхом спалення вугілля, газу чи нафти, цей показник становить €0,1÷0,12/кВт). І хоча за органічне паливо треба платити весь час, а «сонячні» потужності потребують надалі порівняно невеликих експлуатаційних витрат, висока стартова ціна залишається суттєвою економічною і психологічною проблемою для традиційних споживачів.

Нарешті, маємо клопоти з недостатнім коефіцієнтом перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну (15–25% залежно від типу й матеріалу перетворювачів). Тут існує верхня теоретична межа, пов'язана з кількістю електрон-діркових пар, народжених в області *p-n* переходу (чи просторового заряду гетеропереходу, контакту метал–напівпровідник або структури метал–діелектрик–напівпровідник), яких може «розвести» внутрішнє електричне поле і які беруть участь у створенні корисної напруги.

Як відомо, спектр випромінювання Сонця відповідає спектрові випромінювання абсолютно чорного тіла з температурою 5785 К, його максимум припадає на оптичну область з довжиною хвилі порядку півмікрона. Якщо енергія кванта буде суттєво більша від ширини забороненої зони напівпровідника, то породжені ним електрон і дірка непродуктивно «грітимуть» кристалічну ґратку під час зіткнень з коливаннями її атомів (фононами). Водночас кванти

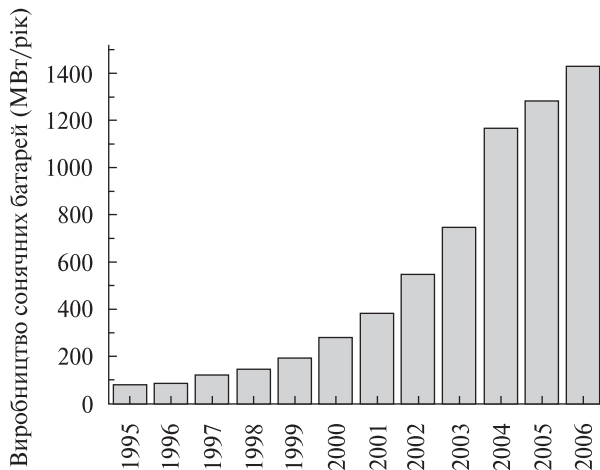


Рис. 6. Динаміка виробництва сонячних батарей у світі

з енергією, меншою від ширини такої зони, електрон-діркових пар взагалі не породжують, тому середнє і далеке інфрачервоне сонячне випромінювання для кремнієвих фотоперетворювачів ($E_g = 1,1$ еВ) «пропадає». До того ж, поле має встигнути «розвести» народжених електрона і дірку в різні боки (прорекомбінувавшись в області просторового заряду, вони не створять корисної напруги). Через те верхня межа ККД для звичайних кремнієвих перетворювачів становить приблизно 25%. Про способи її підвищення йтиметься далі.

На шляху «великої» сонячної енергетики стоїть низка суттєвих технічних перешкод. Це перетворення низької напруги, що її продукують фотоперетворювачі (порядку 1 В), на зручну для транспортування електромережами високу; накопичення електроенергії для нічного часу, коли фотоелементи не діють.

Існують і апробовані світовою практикою механізми подолання зазначених проблем. Насамперед, це державна грошова підтримка промислового випуску сонячних перетворювачів. По-друге, дотації за споживання екологічно чистої енергії, як, наприклад, у Німеччині і Скандинавії, де запроваджено спеціальні «зелені» тарифи. Нарешті, розширене фінансування наукових розроблень.

У межах амбітної європейської програми «Solar Energy» з 2007 р. на перелічені заходи скеровують близько €5 млрд на рік. Як наслідок, сонячна енергетика в Європі зростає величезними темпами — 30–40% на рік, тож ця галузь чи не найдинамічніша в сучасній індустрії. У цілому ж виробництво сонячних батарей у світі зросло протягом 1996–2006 рр. у понад 20 разів (рис. 6), а загальна потужність, яку виробляють сонячні батареї, перевищує 20 ГВт.

ЯК ПІДВИЩИТИ ККД ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ?

Існують декілька шляхів підвищення ефективності напівпровідникових перетворювачів сонячної енергії на електричну. За складністю їх можна поділити на три великі групи. По-перше, це конструктивні вдосконалення наявних перетворювачів. До них належить застосування:

- рельєфної поверхні напівпровідників сонячних батарей, що збільшує робочу площу на одиницю поверхні, зайнятої батареями (рис. 7);

- батарей із двосторонніми колекторами (цікаві перспективи відкриває тут використання електродів з прозорого напівметалу графену, який уже влітку 2010 р. отримали великими аркушами на необхідній підкладці [17]);

- антивідбивних пасивувальних і зміцнювальних покриттів, які допомагають наростити частку випромінювання, що проходить у напівпровідник;

- оптичних концентраторів сонячних потоків (лінзи Френеля, фасеточна призмовоповоротна оптика тощо);

- каскадних сонячних батарей (при цьому частину випромінювання, не використану в першому генераторі, можна використати в наступному і т.д.).

Другу групу становлять технологічні вдосконалення (і насамперед звернення до нових матеріалів). Тут перспективними слід уважати:

- тонкі плівки Si, отримані надвисоко-частотним (~100 МГц) хімічним осаджуванням з парової фази (CVD) на підкладках

органічних плівок, металічних і склоподібних підкладках, це економить напівпровідниковий матеріал у понад 10 разів (технологія інтенсивно розвивається з 2007 р.);

— багат шарові структури напівпровідників із градієнтом ширини забороненої зони E_g (у бік від «оптичного вікна» до значень, характерних для вузькощілинних матеріалів типу сполук кадмій–ртуть–телур), виготовлені як за допомогою молекулярно-променевої епітаксії, так і керованої самоорганізації. Це дає можливість використати для генерування напруги й довгохвильові кванти ІЧ-діапазону, підвищуючи ККД перетворювача;

— органічні напівпровідники, на яких уже зараз ефективність перетворювачів сягає 7–10%.

Нарешті, можливі й цілком нові принципи роботи сонячних батарей, а саме:

— батареї на основі квантових надграток (ефективні, бо послуговуються квантами практично всього спектрального діапазону сонячного випромінювання, але поки що надто дорогі, хоча їх уже зараз застосовують у космічних апаратах);

— квантові точки, убудовані в напівдіелектричні матриці (цей напрям може виявитися ефективним разом із загальним розвитком нанотехнологій);

— багатодолинні напівпровідники для генерації гарячих фотоелектронів.

Ефективність каскадних батарей з концентраторами вже становить близько 45% [18].

Дослідження з більшості цих напрямів проводять в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, Київському національному університеті ім. Тараса Шевченка, інших провідних академічних інститутах і вищих навчальних закладах. Серед досягнень відзначимо [10, 16]:

— загальну теорію фотовольтаїчних перетворювачів, що працюють у режимі концентрованого опромінення;

— нові принципи створення економічних фотоперетворювачів із фасетковими концентраторами;

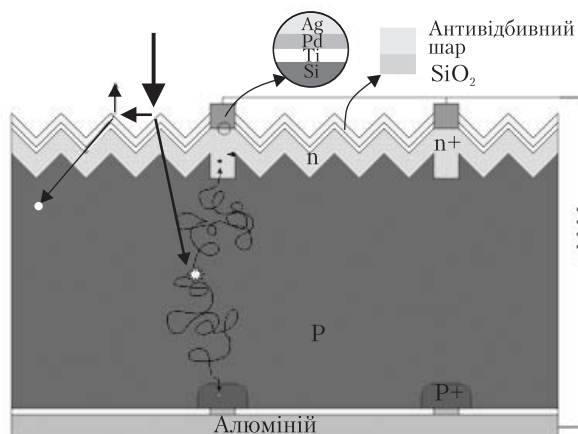


Рис. 7. Сучасний сонячний елемент на основі кремнію і механізм його дії. Рифлену освітлену поверхню вкрито антивідбивним шаром

— економічні перетворювачі з квантовими кластерами, убудованими в прозору провідну матрицю (полімерну і на основі легованого індієм окису олова).

МАЙБУТНЄ УКРАЇНСЬКОГО КРЕМНІЮ

Як зазначено, сонячна енергетика ґрунтується на чистому кремнії. У колишньому СРСР основний виробничий потенціал з полі- і монокристалічного кремнію для електроніки зосереджувався саме на території України. На жаль, на поч. 90-х рр. його було втрачено, а зараз ідеться про відновлення. Цьому підпорядковано Державну цільову науково-технічну програму «Створення хіміко-металургійної галузі виробництва чистого кремнію протягом 2009–2012 років», ухваленою Постановою Кабінету Міністрів № 1173 від 28 жовтня 2009 р. Низку рішень на її виконання прийняла Президія НАН України [19]. Цю програму очолює Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (координатор — доктор технічних наук В.О. Шаповалов), до її реалізації залучено більше десятка установ, у тому числі Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України.

На сьогодні через брак власного кремнію виробники сонячних елементів — ВАТ «Чисті метали» у Світловодську і низка приватних підприємств у Києві — працюють на імпортованій давальницькій сировині (близько 3 тис. т/рік, це помітна частка загальносвітового виробництва).

Програма ставить завдання створити індустрію чистого кремнію для потреб вітчизняних виробників високотехнологічної продукції; забезпечити розвиток наноелектроніки і нанофотоніки, випуск сонячних елементів, сонячних модулів і електронної техніки; звільнитись від імпортової залежності й одночасно сформувати потужний експортний потенціал.

Передбачено протягом трьох років відновити на ВАТ «Завод напівпровідників» (м. Запоріжжя) виробництво чистого кремнію в обсязі 3000 т/рік з поступовим нарощуванням до 5000. Сьогодні це слід уважати за наймасштабніший вітчизняний інноваційно-інвестиційний проект останніх років з енергетики, що матиме велике майбутнє. Адже з розробленням і впровадженням комплексної технології відновлення кремнію воднем з хлорумісних сполук матимемо чистий полікристалічний кремній напівпровідникової або «сонячної» якості. Його собівартість €25–35 за кг, а ринкові ціни перевищують її в кілька разів.

Реалізація програми на 30% активізує інновації в галузі завдяки новітнім технологіям. Сьогодні цей показник у середньому перебуває на катастрофічно низькій позначці в кілька відсотків. Програма стимулює розвиток сучасної сонячної енергетики, наноелектроніки, нанофотоніки, мікроелектроніки. Важливим буде й соціальний результат: залучення трудових ресурсів, створення робочих місць.

Нарешті, завдяки відродженню і виведенню індустрії чистого кремнію на високий технологічний рівень Україна посіде гідне місце серед його світових виробників; буде задоволено сировинні потреби наших компаній, що випускають сонячні мо-

дулі й електронну техніку, створено потужний експортний потенціал.

Фінансувати програму планують за рахунок інвестицій, державного бюджету, власних коштів підприємств. Для її виконання потрібні загалом 2750 млн грн, з яких не більше 7% — бюджетні. Реалізація проекту вже принесла низку важливих результатів, попри те що виділені на нього державні кошти на порядок менші від передбачуваних.

ВИСНОВКИ

Претендуючи на роль великої європейської держави, Україна не може стояти осторонь глобальних викликів, які стоять перед людством. Вони стосуються не лише якості людського життя, але й фізичного виживання, якому загрожують неконтрольовані кліматичні зміни.

Україна з її науковим і промисловим потенціалом може посісти гідне місце в сонячній енергетиці, базованій на фотоелектричних перетворювачах, що виступає однією з найреальніших альтернатив сучасній енергетиці.

Але при цьому потрібна постійна увага держави до цього, без перебільшення, доленосного напрямку. Потрібна послідовність у виконанні ухвалених рішень: не фінансовані належним чином програми не мають шансів досягнути мети; ще гірше — вони деморалізують виконавців, позбавляючи віри, що офіційні кола розуміють стратегічні напрями поступу країни. Нарешті, розвиток сонячної енергетики неможливий без пристойного рівня досліджень і підготовки кадрів. Відродження виробництва кремнію на ВАТ «Завод напівпровідників» уже виявило нагальну необхідність фахівців відповідного профілю й рівня.

Розв'язати ці проблеми допоможуть тільки об'єднані зусилля академічних і галузевих науково-дослідних установ, вищих навчальних закладів, реального сектору економіки, а також координація цих зусиль на державному рівні.

Статтю підготовлено у форматі ДНТП № 1173. Автори вдячні академікові В.Т. Грінченку і д.ф.-м.н. В.П. Костильову за плідне обговорення.

1. Making Sense of Trends // Scientific American. — 2010. — V. 303. — № 5, November. — P. 61.
2. *Matthew L. Wald*. How to Build the Supergrid // Scientific American. — 2010. — V. 303. — № 5, November. — P. 36–41.
3. <http://ua-energy.org/post/1525>.
4. <http://www.erec.org/newssingleview/article/greenpeace-eu-energy-revolution-scenario-2050.html>.
5. *В.Е. Лашкарев*. Исследование запорного слоя методом термозонда // Известия АН СССР, серия «Физика». — 1941. — Т. 5. — № 4–5. — С. 442–456.
6. *С.С. Кильчицкая, В.И. Стриха*. Свойства солнечных элементов с барьером Шоттки (обзор) // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. — 1986. — Вып. 10. — С. 3–10.
7. *В.И. Стриха, С.С. Кильчицкая*. Солнечные элементы на основе контакта металл-полупроводник. — Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1992. — 136 с.
8. *В.І. Стриха*. Сонячна енергетика і проблеми її розвитку. — К.: Товариство «Знання» УРСР, 1983. — 16 с.
9. *В.І. Стриха*. СЕС чи АЕС? // Прапор. — 1988. — № 1. — С. 148–153.
10. *А.В. Саченко, А.П. Горбань, В.П. Костылев, А.А. Сербя, И.О. Соколовский*. Сравнительный анализ эффективности фотопреобразования в кремниевых солнечных элементах при концентрированном освещении для стандартной и тыловой геометрий расположения контактов // ФТП. — 2007. — Т. 41. — Вып. 10. — С. 1231–1240.
11. *А.Р. Gorban, V.P. Kostylyov, A.V. Sachenko, V.V. Chernenko*. Generalized Analytical Model for Calculation of Conversion Efficiency in Silicon Solar Cells // Proceedings of 17 European Photovoltaic Solar Energy Conf. and Exhibition (Munich, Germany, 22–26 October, 2001). — Munich, 2001. — P. 234–237.
12. *А.П. Горбань, В.П. Костылев, А.В. Саченко и др.* Разработка физико-технических основ создания высокоэффективных кремниевых фотопреобразователей и солнечных батарей космического и наземного применения // Авиационно-космическая техника и технология. — 1999. — Вып. 8. — С. 83–87.
13. *А.Р. Горбань, V.P. Kostylev, V.N. Borschev, А.М. Lisratenko*. State and prospects of a development of silicon photoconverters and batteries for the space use // Telecommunications and Radio Engineering. — 2001. — V. 55. — № 9. — P. 94–100.

14. *V.G. Litovchenko, A.V. Makarov, B.E. Paton, A.E. Korotynsky*. Mobile Photovoltaic Electro-welding System // Proc. 19th European PV-solar energy Conference, 2–11 June 2004, Paris. — 2004. — P. 2364–2366.
15. *В.Г. Литовченко*. Разработка полупроводниковых солнечных батарей // Надёжность микроэлектронных систем и элементов. — К.: Наукова думка, 1983. — С. 3–40.
16. *V. Litovchenko, N. Klyui*. Solar cells based on DLC film-Si structures for space applications // Solar Energy Materials and Solar Cells. — 2011. — V. 65. — P. 55–70.
17. *М.В. Стриха*. Фізика графену: стан і перспективи // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. — 2010. — Т. 1(7). — Вып. 3. — С. 3–14.
18. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell.
19. www.nas.gov.ua/infrastructures/Legal-texts/.../1/11/Pages/1107.aspx.

В. Мачулін, В. Литовченко, М. Стриха

СОЛЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА: ПОРЯДОК ДЕННИЙ ДЛЯ СВІТУ Й ДЛЯ УКРАЇНИ

Резюме

У статті зроблено огляд відновлюваної енергетики на основі фотовольтаїчних перетворювачів у світі й Україні. Проаналізовано досягнення вітчизняних учених у галузі фізики напівпровідників, а також перспективи розвитку в нашій країні сучасної індустрії виробництва «сонячного» кремнію. Наголошено на необхідності державної підтримки досліджень у сфері енергетики, базованої на прямому перетворенні сонячного випромінювання на електроенергію.

Ключові слова: відновлювана енергетика, парниковий ефект, альтернативні джерела енергії, фотовольтаїчні перетворювачі, «сонячний» кремній.

V. Machulin, V. Lytovchenko, M. Strikha

SOLAR ENERGY: AN AGENDA FOR WORLD AND UKRAINE

Abstract

The article surveys a world and Ukrainian renewable energy based on photovoltaic transformers. The home scientific obtainings in the field of semiconductors physics and the prospects of home «solar» silicon production are analyzed. The necessity of state supporting within energetics based on solar irradiation direct transformation to electricity is accentuated.

Keywords: renewable energy, greenhouse effect, alternative energy sources, photovoltaic transformers, «solar» silicon.