УДК 621.316

Д.В.Бондаренко, канд.техн.наук (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Сонячні фотоелектричні модулі під дією когерентного опромінення

В роботі викладено ідею опромінення сонячних фотоелектричних модулів когерентним випромінюванням. Розглянуто спектри фотоелементів та оптичних квантових генераторів. Підібрані напівпровідникові матеріали для ефективного перетворення світла в електроенергію. Рогзглянуто енергоефективність. Бібл. 6, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: *сонячна енергетика, сонячний модуль, когерентне випромінювання, лазер, спектр поглинання і випромінювання, енергетична ефективність.*

Orcid: 0000-0002-5629-930X

Впровадження відновлюваних джерел енергії, а саме сонячних фотоперетворювачів, спонукає нас до дослідження різних режимів роботи, різних факторів впливу та різних чинників, які створюють електричну генерацію.

Так, при побудові фотоелектричних систем живлення для генерації електроенергії традиційно використовується сонячне світло. Сонячне випромінювання має досить широкий спектр (рис. 1) [1], що дає можливість використовувати різні за спектральними властивостями фотоперетворювачі.

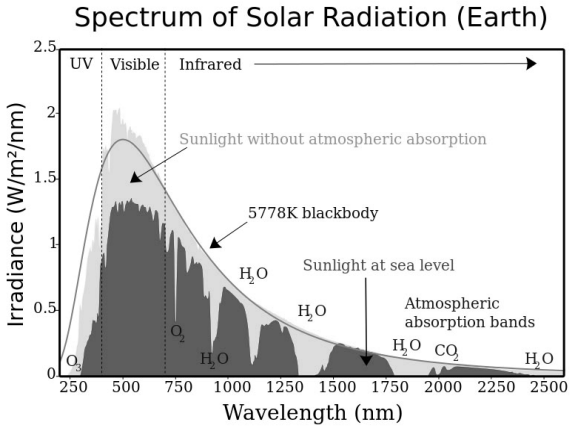


Рис. 1. Сонячний спектр.

При розробці сонячних фотоперетворювачів переважним є використання кремнію в різних агрегатних станах та структурах, наприклад, монокристалічного та полікристалічного кремнію (c-Si), аморфного кремнію (a-Si) або тонкоплівкового кремнію. Також у використанні мають перспективу різні комплексні напівпровідники, такі як арсенід галію (GaAs), телурід кадмію (CdTe) чи CIGS (CuIn(Ga)Se). Спектральні характеристики цих елементів зображені на рис. 2.

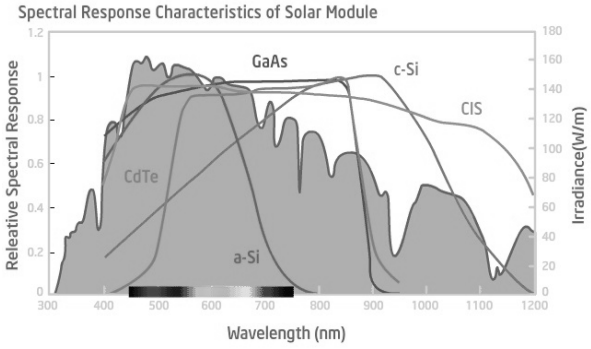


Рис. 2. Спектри поглинання напівпровідників.

З рис. 2 видно, що спектри поглинання багатьох напівпровідників є досить широкими, тому це не накладає жорстких вимог для спектральних характеристик опромінення в області видимого світла. Так, наприклад, спектр поглинання кремнію має розширений характер із-за непрямозонних переходів. Крім того, домішки, які виникають при виготовленні кремнієвих пластин для сонячних фотоелементів, також впливають на розширення спектра. Теплові режими роботи сонячних фотоелементів так само приводять до збільшення діапазону поглинання.

З точки зору вивчення властивостей перетворення світла в електричну енергію та з практичної точки зору досить цікавим є дослідження процесів у фотоелементі при опромінюванні його когерентним світловим потоком. Когерентність – це властивість хвилі зберігати свої частотні, поляризаційні та фазові

© Д.В.Бондаренко, 2017

характеристики [2, 3]. У розумінні квантової теорії світла можна сказати, що фотони світлового потоку мають однакову енергію (частоту), однакову амплітуду, однаково поляризовані та рухаються в одному й тому ж напрямку. Ідеальним генератором оптичного когерентного випромінювання є лазер, який інакше називається оптичним квантовим генератором.

Треба зазначити, що останнім часом дуже швидко розвивається напрямок створення оптичних квантових генераторів на основі напівпровідників. Спектри випромінювання багатьох напівпровідників (особливо груп 3 та 5) співпадають зі спектром видимого світла, для їх живлення використовується низька напруга, вони мають малі розміри, процес виготовлення є порівняно нескладним та недорогим. А останні досягнення в області фізики напівпровідників дають можливість виготовлення лазерів усього видимого спектра від червоного до фіолетового. Спектр, наприклад, напівпровідникового одномодового AlGaAs-лазера має вигляд, представлений на рис. 3 [4]. Ми бачимо, що це досить вузька смужка з деяким розширенням. Центр спектра співпадає з найбільш максимальним потоком фотонів, а його розташування на шкалі частот залежить від властивостей активного середовища лазера. Треба зазначити, що розширення спектра лазерного випромінювання залежить від багатьох факторів, а саме: від конструкції та принципу роботи лазера, від робочої температури, від конструкції резонатора (резонатор, як і активне середовище, є необхідним елементом виникнення когерентного випромінювання) та ін.

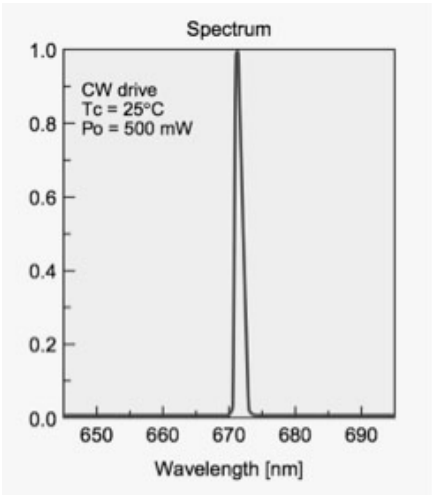


Рис. 3. Спектр випромінювання AlGaAs-лазера.

Спектральні характеристики інших напівпровідникових лазерів наведені в таблиці 1 [5].

Таблиця 1. Напівпровідникові лазери

Колір	Довжина хвилі, нм	Напівпровідник
Синій	405-465	InGaN
Зелений	510-525	InGaN
Червоний	630-670	AlGaInP
Інфрачервоний	650-880	AlGaAs
Інфрачервоний	980-1654	InGaAsP
Інфрачервоний	1877-3330	GaInAsSb

Отже, при опроміненні фотоелемента лазерним променем ми маємо світловий потік, який має вузьку спектральну складову з максимальною амплітудою. Таким чином, якщо ми будуємо систему, яка має основним джерелом енергії лазер, для побудови фотоелемента було б доцільно застосовувати напівпровідник, який має максимальну поглинаючу здатність у даній області спектра.

Базуючись на викладеному, робимо висновок, що для побудови фотоелемента було б природно використовувати напівпровідник, такий же як і для побудови напівпровідникового лазера. Тому що спектр поглинання та спектр випромінювання будуть базуватися на одному й тому ж активному переході в напівпровіднику. Крім того, треба враховувати ще спектр поглинання середовища, через яке буде розповсюджуватись випромінювання, що також буде висувати певні вимоги до складу напівпровідників.

Таким чином, можемо зробити висновок, що використання арсеніду галію в обох пристроях виглядає природно і енергетично вигідно, але системи, де в якості випромінювача використовується арсенід-галієвий лазер, а в якості поглинача світла кремнієвий фотоелемент, також є доцільним рішенням.

Розглянувши пару GaAs-фотомодуль – GaAs-лазер, ми бачимо, що максимум випромінювання знаходиться на 880 нм – це ближня інфрачервона область. І спектр поглинання починається з такої ж довжини хвилі (рис. 2), що є узгодженим. Але треба мати "запас" по енергії фотона, оскільки енергія, яку віддає фотон при внутрішньому фотоефекті, має вигляд [6]:

$$h\nu = T_e + I_i + T_я, \quad (1)$$

де T_e – кінетична енергія електрона; $T_я$ – кінетична енергія ядра віддачі; I_i – енергія іонізації; ν – частота опромінення; h – постійна Планка.

Також треба враховувати різні паразитні процеси при поглинанні та розповсюдженні фотонів. Таким чином, треба збільшити енергію, а отже і частоту випромінювання випромінювача. Це успішно можна зробити, додаючи алюміній у твердий розчин арсеніду галію. При цьому ширина забороненої зони трикомпонентного напівпровідника буде збільшуватись, а отже, буде збільшуватись і енергія випромінених фотонів. Ця технологія є дуже розповсюдженою і випробуваною при виготовленні напівпровідникових оптоелектронних пристроїв. Отже, регулюючи кількість алюмінію в розчині, ми можемо плавно зміщувати центр спектра випромінювання в червону, більш енергетичну область, при цьому знаходячи максимум генерації електроенергії. Поверхневий аналіз показує, що використання AlGaAs-лазера, який має максимум спектра на довжині хвилі 670 нм (червоне світло), є прийнятним.

Так само, регулюючи компоненти напівпровідника в фотоелементі, ми можемо наблизити генерацію до максимального значення.

Енергетичну ефективність процесів перетворення електричної енергії через оптичну складову знову в електричну можна оцінити за ККД кожного з окремих пристроїв. Так, ККД напівпровідникових лазерів складає 30%, ККД фотоелементів із монокристалічного кремнію – до 20%, а ККД фотоелементів з арсеніду галію складає до 30%, а при концентрації випромінювання навіть до 35%. Таким чином, сумарний ККД буде 6% або більше 10% відповідно. Це є не дуже значною величиною в галузі енергетики, однак лазерне опромінення як елемент енергетичної складової використання сонячних фотоелементів є дуже перспективним. Так, при використанні видаленого обладнання, яке живиться від фотобатареї, "підсвічування" її в нічний час покращить енергетичні характеристики системи в цілому. Також при недостатності сонячного випромінювання опромінення лазером може суттєво збільшити потужність генерації невеликих за розміром фотобатарей. Окремо розглядається використання когерентного випромінювання як основного елемента передачі енергії на віддалені або рухомі системи. Так, малі літальні апарати можуть живитися від фотоелементів, які дистанційно опромінюються лазерним променем. Це збільшує їх строк роботи без підзарядки до нескінченності.

Когерентне випромінювання є більш вигідним з точки зору випромінювача та поглинача. Тому що випромінювач витрачає отриману енергію на створення потоку фотонів більш ефективно, а конструкція поглинача фотонів для підвищення ефективності не потребує створення багатошарових структур, оскільки когерентне вузькоспектральне випромінювання потребує тільки одного поглинаючого елемента.

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/Когерентність
3. *Вакуленко М. О.* Тлумачний словник із фізики // М.О. Вакуленко, О.В. Вакуленко. — К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 767 с.
4. http://ldselection.com/tutorial/basics-of-laser-diode/chapter1-basics-of-laser-diode/
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_diode
6. http://nuclphys.sinp.msu.ru/ihem/ihem03.htm

REFERENCES

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/Когерентність
3. Vakulenko M. Dictionary of Physics // M. Vakulenko, OV Vakulenko. - K: Publishing and printing center "Kyiv University", 2008. - 767 p.
4. http://ldselection.com/tutorial/basics-of-laser-diode/chapter1-basics-of-laser-diode/
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_diode
6. http://nuclphys.sinp.msu.ru/ihem/ihem03.htm

Д.В.Бондаренко, канд.техн.наук (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Солнечные фотоэлектрические модули под воздействием когерентного излучения

В работе рассмотрен спектр солнечного излучения и сравнен со спектром поглощения кремния и других полупроводников. Изложена идея облучения солнечных фотоэлектрических модулей когерентным излучением. Рассмотрены спектры фотоэлементов и оптических квантовых генераторов. Показано, какую энергию должен иметь фотон для эффективной ионизации атомов в солнечном фотоэлемен-

те. Подобраны полупроводниковые материалы для эффективного преобразования света в электроэнергию. Рассмотрена энергоэффективность и некоторые области применения лазеров для облучения солнечных фотоэлементов. Библ. 6, табл. 1, рис. 3.
Ключевые слова: *солнечная энергетика, солнечный модуль, когерентное излучение, лазер, спектр поглощения и излучения, энергетическая эффективность.*

Bondarenko D. (Institute of renewable energy of NAS of Ukraine, Kyiv)

Solar photocells irradiated by coherent radiation

In article, considered the spectrum of solar radiation and comparation with the spectrum absorption of silicon and other semiconductos. Stated of the idea of irradiation of solar cells by coherent radiation. Considered spectrums of photo cells and lasers. Shown how much energy have to have photon for efficient ionization of atoms in solar cells. Selected semiconductor materials for efficient transformation light to electricity. Considered the energy efficiency and some fields realization of lasers for irradiance of solar cells. References 6, table 1, figures 3.
Key words: *solar energy, solar cell, coherent radiation, laser, spectrum absorption and radiation, energy efficient.*

SYNOPSES

In article, considered the spectrum of solar radiation and comparation with the spectrum absorption of silicon and other semiconductos. Stated of the idea of irradiation of solar cells by coherent radiation. Considered spectrums of photo cells and lasers. Shown how much energy have to have photon for efficient ionization of atoms in solar cells. Selected semiconductor materials for efficient transformation light to electricity. Considered the energy efficiency and some fields realization of lasers for irradiance of solar cells.

Стаття надійшла до редакції 23.03.17
Остаточна версія 24.05.17

