

СОНЯЧНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ ПЕРОВСКІТУ: МАТЕРІАЛИ, КОНСТРУКЦІЇ І ПЕРСПЕКТИВИ

О. Бугаєнко, студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Новий повністю твердотільний гібридний сонячний елемент на основі органічних-неорганічних металогалогенідних перовскітів ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$) привернув велику увагу дослідників в усьому світі і вважається одним з 10 найкращих наукових досягнень 2013 року. Ефективність фотоелектричного перетворення енергії перовскітних сонячних елементів збільшилася з 3,8% у 2009 році до 22,1% в 2016 році, що робить перовскітні сонячні елементи кращим потенційним кандидатом для заміни традиційних кремнієвих сонячних елементів в майбутньому.

Мета роботи. Огляд складу, структури, синтезу і властивостей матеріалів, що використовуються в сонячних елементах на основі перовскіту, конструкцій перовскітних фотоелементів та перспектив їх впровадження поряд з традиційними кремнієвими фотоелементами.

Матеріали та результати досліджень. Перовскіт для сонячних фотоелементів виготовляють на основі титанату кальцію (CaTiO_3), який має молекулярну структуру типу ABX_3 . Перовскітні матеріали привертають широку увагу завдяки октаедричним шаруватим структурам з кубічною кристалічною ґраткою, що має унікальні оптичні, теплові і електромагнітні властивості. Використовувані в сонячних елементах перовскітні матеріали є свого роду орґано-неорґанічними сполуками галогенідів металів зі структурою перовскіту, в якому група А (метиламоній, CH_3NH_3^+ , MA^+ або формамідиній, $(\text{CH}(\text{NH}_2)_2)^+$, FA^+) розташована в вершині гранецентрованої кубічної ґратки, а катіон металу В (Pb^{2+} , Sn^{2+} і т. д.) і аніон галогену Х (Cl^- , Br^- , I^- або співіснування кількох галогенів) займають ядро і вершину октаєдрів відповідно. Октаєдр метал-галоген пов'язані один з одним і сформують стабільну тривимірну сітчасту структуру. Кристалічна структура матеріалу показана на рис 1.

У матеріалів з такою структурою є чотири особливості. По-перше, матеріали мають відмінні фотоелектричними властивостями і високими коефіцієнтами оптичного поглинання (до 10^4 cm^{-1}). По-друге, шар перовскіту може ефективно поглинати сонячну енергію. По-третє, матеріали володіють великою діелектричної проникністю, і електрони і дірки можуть ефективно передаватися і збиратися. Остання особливість - електрони і дірки можуть передаватися одночасно, а відстань передачі становить до 100 нм і більше, навіть більше 1 мкм [1].

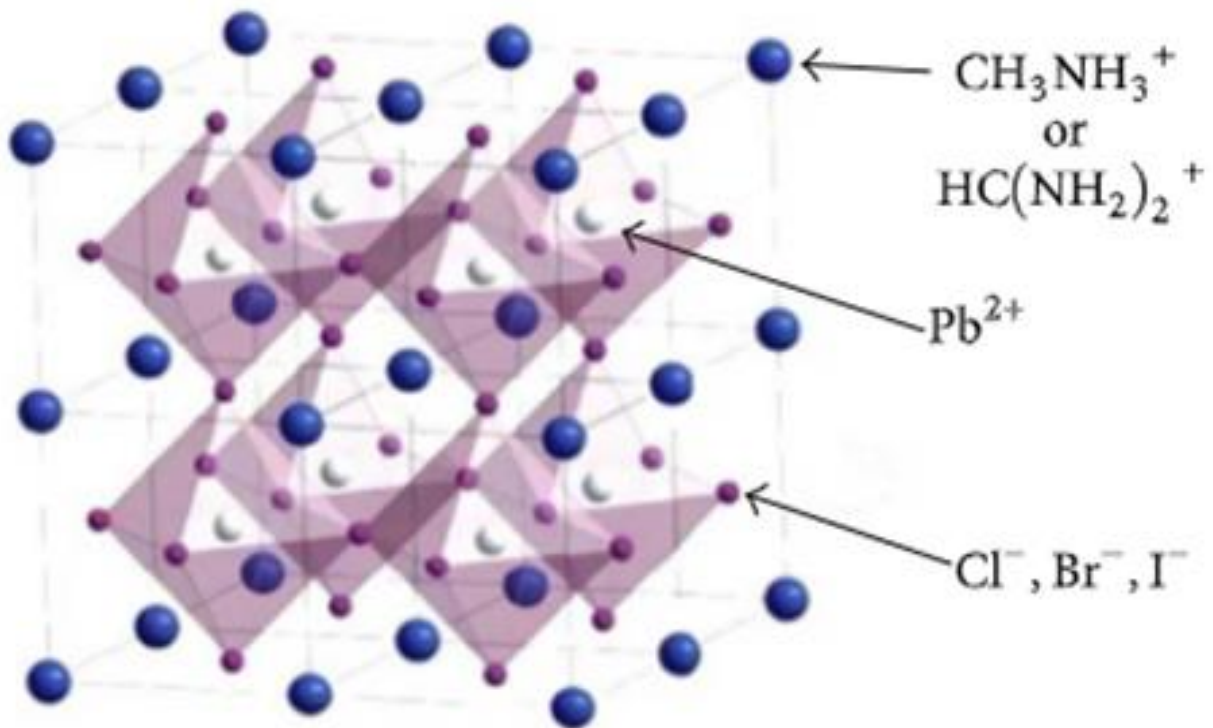


Рисунок 1 – Кристалічна структура перовскітного матеріалу для сонячних фотоелементів

В останні роки були розроблені різні структури перовскітних сонячних елементів, включаючи мезопористу структуру і планарну гетероструктуру. На рис. 2 показані структури двох типових перовскітних сонячних елементів: мезоскопічна архітектура і структура планарного гетеропереходу [4].

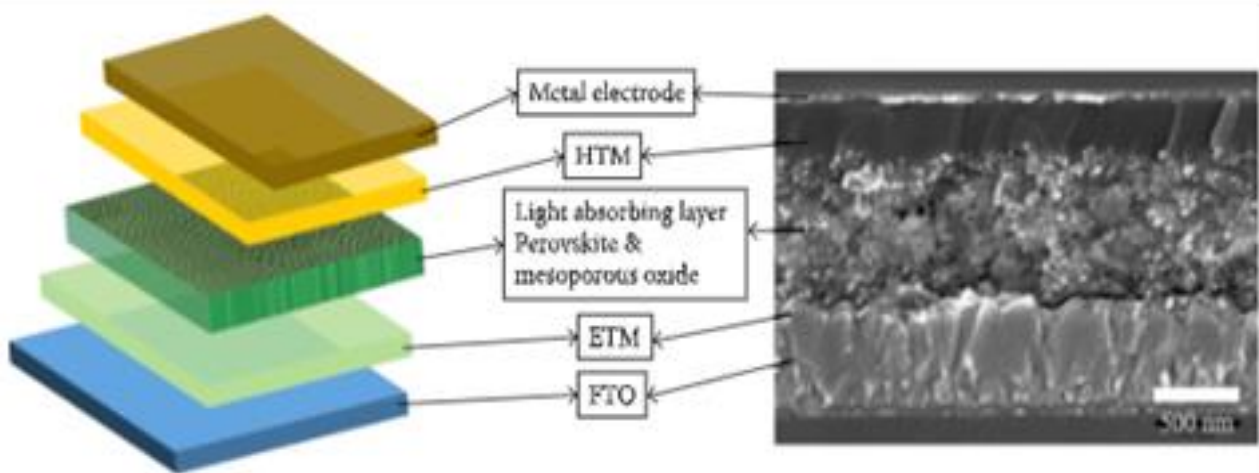
Методи синтезу світлопоглинаючого шару перовскітних сонячних елементів можна умовно розділити на три типи:

- метод розчинення,
- метод осадження з парової фази,
- метод розчинення з парової фази.

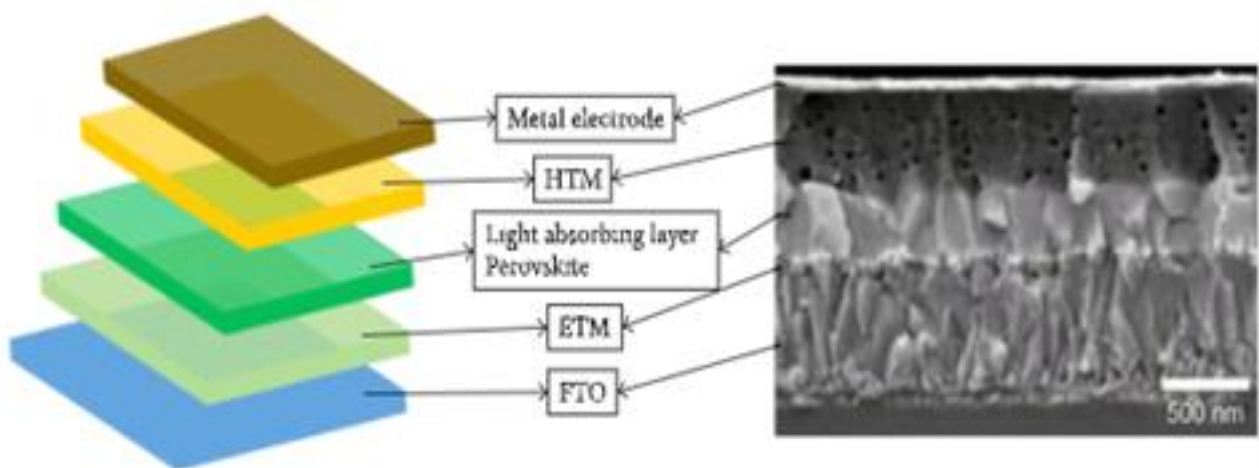
Метод розчинення простий і економічний, але в синтетичних кристалах буде утворюватися більше внутрішніх дефектів, а шар перенесення дірок буде знаходитися в прямому контакті з шаром перенесення електронів, що знижує коефіцієнт використання пристрою і напругу холостого ходу [2].

Плівки перовскіту, отримані методом осадження з парової фази, мають високу поверхневу щільність і меншу кількість дефектів, що покращує коефіцієнт заповнення і напругу холостого ходу. Однак цей метод вимагає високого вакууму і великих затрат енергії. Метод розчинення з використанням пари об'єднує переваги методу розчинення і методу випаровування. При більш низькому вакуумі можна синтезувати перовскітні матеріали з меншою кількістю внутрішніх дефектів [3].

Швидкий розвиток перовскітних сонячних елементів обмежується деякими критичними факторами.



(a)



(b)

Рисунок 2 – Схематична діаграма і зображення перетину (a) PSC з мезоскопічною архітектурою, (b) PSC з планарною структурою з гетеропереходів.

По-перше, на стабільність перовскіту органічного галогеніду свинцю сильно впливають фактори навколишнього середовища (такі як вологість, температура і ультрафіолетове випромінювання), що призводить до низької стабільності сонячних елементів і великих труднощів під час інкапсуляції клітин на більш пізній стадії. Отже, розробка високостабільного складу елемента, що включає світлопоглинаючий шар, шар перенесення електронів/дірок і електродні матеріали, а також розробка простого і ефективного методу упаковки елементів матиме велике значення для таких пристроїв.

По-друге, матеріал Spiro-OMeTAD для перенесення дірок, який використовується в перовскітних сонячних елементах, дорогий (в 10 разів

дорожчий за ринкову ціну золота), а процес його синтезу складний. Отже, необхідно розробити і синтезувати нові матеріали для перенесення дірок, щоб сприяти комерційному застосуванню перовскітних сонячних елементів.

По-третє, важко осаджувати суцільну перовскітну плівку великої площі традиційними методами, а тому потрібно розробляти і вдосконалювати методи виготовлення високоякісних перовскітних сонячних елементів великої площі для промислового виробництва в майбутньому.

По-четверте, елемент Pb, який використовується в перовскітних сонячних елементах, дуже токсичний, що буде перешкоджати промислому просуванню і розвитку перовскітних сонячних елементів. Отже, необхідно знайти малотоксичний або нетоксичний інгредієнт для заміни Pb в майбутньому [4].

Перелік посилань

1. M. A. Green, S. R. Wenham, J. Zhao, J. Zolper, and A. W. Blakers, "Recent improvements in silicon solar cell and module efficiency," in *Proceedings of the Twenty First IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 1990 Part 2 (of 2)*, pp. 207–210, May 1990.
2. D. M. Chapin, C. S. Fuller, and G. L. Pearson, "A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power," *Journal of Applied Physics*, vol. 25, no. 5, pp. 676-677, 1954.
3. M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (version 41)," *Progress in Photovoltaics*, vol. 21, no. 1, pp. 1–11, 2013.
4. S. Mathew, A. Yella, P. Gao et al., "Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers," *Nature Chemistry*, vol. 6, no. 3, pp. 242–247, 2014.