***Вступ***

Подальший розвиток добробуту людей знаходиться на роздоріжжі. Протягом декількох десятиліть, людство потребувало потужності більш ніж однієї планети Земля, і 50% цієї потреби зумовлено експлуатацією ресурсів енергетичної системи. Доступ до (зменшення) енергетичних ресурсів викликав в минулому і викличе в майбутньому драматичні економічні, соціальні, політичні та військові конфлікти. Необхідно боротися з бідністю в світі для все ще зростаючого населення планети.

Єдиний шлях вирішення всіх цих основних проблем - це перехід до повністю сталої енергетичної системи, здатної покрити прискорене зростання попиту на енергію. Два ключові ресурси для великомасштабного збору відновлюваної енергії (ВЕ) - це вітер і прямий сонячний ресурс. Двома основними сонячними технологіями є: сонячна фотогальваніка (PV) і концентрування сонячної теплової енергії (CSP), хоча майбутня конкурентоспроможність CSP за вартістю все більше ставиться під сумнів.

Сонячні фотоелектричні системи є найбільш швидкозростаючою енергетичною технологією в світі і досягають рівня 50 ГВт нових потужностей, що збільшуються щорічно. Фінансові експерти з відновлювальних джерел енергії очікують, що показники будуть рости до 80 ГВт в 2020 році, 143 ГВт в 2030 році і 206 ГВт в 2040 році.

Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) відстає, прогнозуючи щорічні показники в 37,1 ГВт в період з 2013 до 2020 р, 32,6 ГВт з 2020 до 2025 р, 33,6 ГВт з 2025 до 2030 р, 34,4 ГВт з 2030 до 2035 г і 33,2 ГВт з 2035 до 2040 г в своєму сценарії нової політики, який не тільки суперечить вже досягнутому рівню показників 50 ГВт в 2015 році і очікуванню 60 ГВт в 2016 році і 70 ГВт в 2017 році, але і, крім того, сонячні фотоелектричні системи стали найменш витратним джерелом електроенергії в швидко зростаючому числі регіонів світу. Сценарії МЕА мають більш ніж двадцятирічну історію повної несумісності з фотоелектричними установками реального світу, і МЕА постійно не в змозі наздогнати рівень розуміння інших установ. Глобальна ​​сонячна фотоелектрична потужність досягла 237 ГВт до кінця 2015 року, і це невелика частка потужності в найближчі десятиліття.

Досягнення мети нульових викидів парникових газів в рамках угоди COP21 в Парижі може привести до глобальної енергетичної системи, яка заснована на дуже високих частках відновлюваної енергії. Моделювання системи 100% відновлюваної енергії з високим тимчасовим і просторовим дозволом моделі системи LUT Energy призведе до частки енергоспоживання сонячної фотоелектричної енергії трохи більше 40% і сонячної фотоелектричної потужності близько 27 і 42 ТВт з середини до кінця 21-го століття. Цей результат нижче, ніж нещодавні довгострокові оцінки попиту на PV близько 90 ТВт.

Вперше вплив світла на електрику помітив німецький фізик Генріх Герц. Він побачив, що заряджений провідник, який він освітлював ультрафіолетом, дуже швидко втрачає свій заряд, але пояснити це Генріх Герц не міг. Багато фізиків не могли пояснити цей ефект в той час. Проте в 1888 році Олександр Столєтов провів дослідження, яке демонструвало зовнішній фотоефект та те, як впливає світло на електрику.

Першим в цій області був Олександр Беккерель, який у 1839 році спостерігав фотовольтаїчний ефект в електроліті. Фотовольтаїчний ефект безпосередньо пов’язаний з фотоелектричним ефектом, суть якого полягає в тому, що кванти світла з енергією, більшою ніж ширина забороненої зони напівпровідника, поглинаються напівпровідником і створюють електрони в зоні провідності та дірки в валентній зоні.

В 1939 році хімік Кельвін Фуллер, фізик Джеральд Пірсон і інженер Деріл Чапін, що працювали в компанії Bell Laboratories, побудували перший кремнієвий фотоелемент. Сьогодні на ринку комерційних систем найбільш помітні кристалічні кремнієві (близько 80-85% світового ринку) і тонко-плівкові сонячні елементи (близько 10% ринку).

Розглянемо ефективність роботи кремнієвих сонячних елементів, а точніше те, що може зменшувати цю ефективність.

Атоми заліза є найтиповішою домішкою в кремнієвих сонячних елементах. Міжвузольне залізо (є основним забруднювачем в кремнієвих сонячних елементах. Оскільки його енергетичний рівень близький до середини забороненої зони кремнія, а перетин захоплення електронів відносно великий, він діє як високоефективний центр рекомбінації в кремнії p-типу, значно скорочуючи час життя носіїв заряду.

Зокрема, в полікристалічних кремнієвих сонячних елементах за допомогою нейтронно-активаційного аналізу нещодавно були виміряні неочікувано високі рівні забруднення залізом більш ніж . Порівнюючи ці результати з вимірами часу життя, стає очевидним, що тільки невелика частка загального вмісту заліза в цих матеріалах є у формі заліза впровадження, а залишкове залізо існує в менш активному стані рекомбінації, імовірно в формі осаду. Використовуючи калібрувальні вимірювання часу життя, всередині блоку полікристалічного кремнію були виявлені типові концентрації заліза , а концентрації в діапазоні були отримані після геттерування фосфором.

Осад заліза, завдяки термічній обробці під час гетерування фосфором розчиняється в міжвузольних атомах заліза, зменшуючи ефективність обробки та призводить до наявності несуттєвих концентрацій навіть після оптимізованої обробки одержанням фосфору.

У кремнію p-типу, легованого бором, добре відомо, що утворює пари із легованим бором (). Ці пари під час освітлення дисоціюють на і завдяки електронно-стимульованій реакції дефектів (дисоціація, посилена рекомбінацією). Якщо зразок кремнію зберігається у темряві при кімнатній температурі, пари повторно утворюються протягом пари годин. Надалі, характерна поведінка часу життя носіїв в забрудненому залізом кремнії, який легований бором, визначається парами , ізольованим або комбінацією обох, в залежності від попередньої обробки зразка.

Оскільки обидва центри рекомбінації проявляють дуже різні властивості рекомбінації в кремнії, залежність рівня часу життя відповідних носіїв заряду від інжекції набагато більш виражена для ізольованого , ніж для пар , і обидві криві часу життя, що залежать від інжекції, показують характерну точку перетину при приблизно фіксованому надлишку концентрації носіїв.

Дисоціація пар в сонячних елементах з кристалічного кремнію призводить до погіршення більшості параметрів цих елементів. Зокрема, струм і ефективність короткого замикання показують помітне погіршення, в той час як напруга холостого ходу, яка створюється шляхом перетворення напруги мережі живлення в двох послідовних перетворювачах, спочатку в напругу постійного струму, а потім в напругу змінного струму, може зрости до 5% для певних рівнів забруднення заліза. Очевидно, що питання про визначення концентрації заліза в кремнієвому сонячному елементу є дуже важливим для нас.