***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. Мета 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. Перший крок в довгій історії сонячної енергетики був зроблений в 1839 році, коли французький фізик Олександр Едмон Беккерель відкрив фотоелектричний ефект. А вже 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. Інтерстиціальне залізо (є основним забруднювачем в кремнієвих сонячних елементах. Оскільки його енергетичний рівень близький до середини забороненої зони Si, 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. утворює пари з заміщуючим бором (). Ці пари дисоціюють на і при освітленні, внаслідок стимульованої реакцією дефекту (дисоціація з посиленням рекомбінації). Якщо зразок кремнію зберігається в темряві при кімнатній температурі, пари повторно утворюються протягом пари годин. Надалі, характерна поведінка часу життя носіїв в забрудненому залізом кремнії, легованому 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 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 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.