СЛАЙД 2 ------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Мета та актуальність

Сонячні елементи є важливим джерелом чистої, відновлюваної енергії, тому покращення їх ефективності та довготривалості є важливим напрямком для нас сьогодні. Метою даної роботи є характеризація дефектного складу сонячних елементів за допомогою неруйнівних методів діагностики. Вони ґрунтуються на вимірюваннях вольт-амперних характеристик і є легкими з точки зору практичного використання. В роботі представленні результати моделювання впливу домішкових атомів заліза на зміну параметрів фотоелектричного перетворення кремнієвих сонячних елементів. Різноманіття розглянутих параметрів та зовнішніх умов відрізняють цю роботу від низки попередніх досліджень.

СЛАЙД 3 ------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Структура сонячного елемента, яка моделювалася, наведена на слайді. При моделюванні оцінювались величини струму короткого замикання Isc, напруги розімкнутого кола Voc, фактору форми FF та ефективності η за умов як сонячного та монохроматичного випромінювання. Back surface field шар використовується для мінімізації впливу швидкості рекомбінації на напругу та струм.

СЛАЙД 4 -----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Для моделювання використовувався програмний пакет SCAPS. Моделювання вольт-амперних характеристик проводилося в діапазоні напруг від 0 до напруги розімкнутого кола з кроком 10мВ. SCAPS в автоматичному режимі враховує температурні залежності загального вигляду для досить обмеженого кола параметрів матеріалу. Тому при створенні вихідного файлу для SCAPS, який описує структуру, враховувалися додатково залежності та явища, перелічені на слайді.

СЛАЙД 5 ------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Для напруги холостого ходу можемо спостерігати залежність характеру відносної зміни від місця генерації надлишкових носіїв при низьких рівнях легування. Для сонячного випромінювання бачимо великі зміни напруги холостого ходу в інтервалі концентрацій заліза від до . Для монохроматичного випромінювання такі зміни відбуваються вже при більш високих концентраціях заліза. Для концентрації бору відносні зміни напруги холостого ходу дуже малі, але характер залежності змінюється при збільшенні рівня легування. Максимальна величина зміни для монохроматичного випромінювання майже в 2 рази більша ніж для сонячного випромінювання.

СЛАЙД 6 ------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Як можна бачити зміна товщини бази впливає суттєво на характер зміни напруги розімкнутого кола тільки при низьких рівнях легування і більш помітна для сонячного освітлення. Зі збільшенням рівня легування залежність від товщини бази зникає.

СЛАЙД 7 ------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Подібний характер змін спостерігається і для фактору форми. Проте абсолютні зміни менші. Для сонячного освітлення спостерігаються великі додатні зміни фактору форми при низькому рівні легування бором (від до ). Зі збільшенням легування відносна зміна фактору форми значно зменшується. Для монохроматичного освітлення спостерігається вже інший характер залежності: зміна фактору форми слабко залежить від рівня легування, а абсолютне значення відносної зміни складає всього 5% .

СЛАЙД 8 ------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Суттєвий вплив товщини бази для фактору заповнення так само як і для напруги розімкнутого кола спостерігається при низькому рівні легування бором, причому при сонячному освітленні цей вплив більш помітний, ніж для монохроматичного освітлення.

СЛАЙД 9 ------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Для параметру Ефективності очікуються також монотонні зміни при зростанні концентрації заліза. Для концентрації бору ці зміни додатні, при більш високих рівнях легування – від’ємні, які слабко залежать від температури. При монохроматичному освітленні відносна зміна ефективності стає помітною тільки при високому рівні легування, хоча порівнюючи з сонячним освітленням абсолютні максимальні значення зміни майже в 4 рази більші і досягають більше ніж 200 %.

СЛАЙД 10 -----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Як можемо бачити характер відносної зміни ефективності не залежить від товщини бази.

СЛАЙД 11 -----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Відносна зміна струму короткого замикання має такий самий характер, як і відносна зміна ефективності, але максимальні абсолютні відносні зміни менші. Для сонячного освітлення мова йде про 41%, а для монохроматичного освітлення 170%.

СЛАЙД 12 -----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Зміни струму короткого замикання та ефективності в кремнієвому сонячному елементі після розпаду пар FeB, на відміну від змін напруги розімкнутого кола та фактору форми, можуть бути основою для оцінки концентрації заліза. Зміни напруги розімкнутого кола можуть бути лише додатковим параметром, використання якого спрямоване на підвищення точності відповідного методу. Проблема багатопараметричності взаємозв’язку концентрації рекомбінаційних центрів та параметрів вольт-амперних характеристик можна вирішити за допомогою глибокого машинного навчання, що не потребує чіткої алгоритмізації. Аналіз інформативності фотоелектричних параметрів, який був розглянутий в цій роботі, допоможе збільшити ефективність прогнозування концентрації заліза методами машинного навчання.