Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та екології
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи бакалавра

на тему: **«Сонячні елементи на базі напівпровідникових матеріалів»**

Виконав: студент 4 курсу, групи НФ-41

Шевирьов Олександр Сергійович

Спеціальність 105 прикладна фізика та наноматеріали

Освітня програма: прикладна фізика енергетичних систем

Керівник:к. ф.-м. н., доцент

Семененко Володимир Єгорович

Харків – 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології____

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) __бакалавр

Спеціальність 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»___

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Кулик

підпис

"____"_____2022_року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Шевирьова Олександра Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи «Сонячні елементи на базі напівпровідникових матеріалів»

керівник роботи Семененко Володимир Єгорович, к. ф.-м. н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від "___"_____20__року №___

2. Строк подання студентом роботи_____2022р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити: ознайомлення з спеціальною літературою за темою дипломної роботи, обґрунтування необхідності створення легованих напівпровідників згідно з їхньою електронною структурою (розподіл ферми дірка), особливості методів створення досконалих напівпровідникіь.

4. План роботи

з/п	Назви етапів роботи
	Проведення аналізу літературних даних за темою сонячних елементів на базі напівпровідникових матеріалів

	Проблеми сучасного матеріалознавства у сфері сонячної енергетики
	Методи створення легованих напівпровідників, виявлення оптимальних умов кристалізації.Ознайомленя з методами мікро та макро структури
	Рекомендації щодо використання досконалих легованих монокристалів кремнію акцепторними та донорними монокристалів,сучасних областях нетрадиційної енергетики,у технології альтернативних джерел.
	Висновок

5. Дата видачі завдання _____

Студент _____ Шевирьов О.С

підпис ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Семененко В.Є.

підпис ініціали, прізвище

Реферат

Шевирьов Олександр Сергійович «Сонячні елементи на базі напівпровідникових матеріалів» (випускна робота бакалавра), - Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2022.- 35 с.

Робота складається з вступу, загальних відомостей про сонячні батареї, принцип їх роботи, переваги сонячної енергетики та їх проблемні питання, об’єкт дослідження та висновку; містить 11 рисунків, список використаних джерел з 18 найменувань.

Робота присвячена вивченню основ отримання матеріалів для сонячної енергетики. Наведено огляд процесів отримання легованого кремнію, представлені види сонячних панелей, обговорено структуру моно- та полікристалічного кремнію. Отримані результати вказують напрямки якісного поліпшення експлуатації сонячних панелей та їх модифікації.

Ключові слова: напівпровідникові матеріали, сонячні елементи, акцепторні та донорні домішки, види кристалізацій, параметри структуроутворення, сонячний кремній, дефекти структури.

Abstract

Shevyrov Oleksandr Sergeevich "Solar cells based on semiconductor materials" (bachelor's thesis), - Kharkiv: V.N. Karazin KhNU, 2022.- 30 p.

The work consists of an introduction, general information about solar panels, the principle of their operation, the benefits of solar energy and their problems, the object of study and conclusion; contains 11 figures, a list of used sources from 18 titles.

The work is devoted to the study of solar energy. The processes of obtaining doped silicon were studied. The paper presented the types of solar panels, the crystal structure of silicon. The obtained results allow to achieve a qualitative improvement in the operation of solar panels and their modification.

Keywords: semiconductor materials, solar cells, acceptor and donor impurities, types of crystallizations, structure formation parameters, solar silicon, structure defects.

ЗМІСТ

ВСТУП…… 9

Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ…..…… 11

1.1. ПРИНЦИП РОБОТИ……..…….… 13

1.2. ПЕРЕВАГИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ……..…… 16

1.3. ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ……..……. 17

Розділ 2. ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: ЛЕГОВАНИЙ КРЕМНІЙ ВИСОКОЇ ЧИСТОТИ - 99.99%.....…… 19

2.1. СОНЯЧНИЙ КРЕМНІЙ…….……... 20

Розділ 3. МЕТОДИ ВИРОЩУВАННЯ ЛЕГОВАНИХ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ……..... 23

ВИСНОВОК…… 31

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ……. 34

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ФЕП – фотоелектричні перетворювачі

ККД – коефіцієнт корисної дії

TFT- тонкоплівкові транзистори

ЛЕП- Лінія електропередачі

ВСТУП

Енергетична проблема зумовлена збільшенням енергоспоживання при виснаженні паливно-енергетичних ресурсів. Людству потрібно дедалі більше енергії, яку найближчим часом буде важко чи неможливо отримати з не відновлюваних джерел.

Якщо розглядати так звані геологічні родовища, які будуть своєчасно виявлені і їх експлуатація не буде відкладена, при постійно зростаючому енергоспоживання органічного палива хвате на 100-150 років.

Крім того, тільки вугілля може утримати свої позиції в енергетичному балансі у довгостроковій перспективі. Проте його використання сильно забруднює повітря Землі. Атомна енергетика, яка сьогодні містить набагато більше сировини, ніж викопне паливо, динамічно розвивається в усьому світі. Зараз його вже не можна вважати перспективним енергетичним видом через високий викид радіації у повітря, що призвело до техногенних аварій та катастроф, особливо під час сумнозвісної Чорнобильської катастрофи.

Тому у світі дедалі більше уваги приділяється використанню про відновлюваних джерел енергії: геотермальної енергії, енергії вітру, енергії припливів, біогазу, сонячної радіації тощо.

Майже всі джерела енергії пов'язані з дією сонця. Одним з найперспективніших джерел є пряме перетворення сонячного випромінювання на електрику в напівпровідникових сонячних елементах.

Енергія сонячного випромінювання є основним джерелом енергії. Воно вимірюється кількістю теплоти та знаходиться у мегаджоулях на 1 м2. Енергія сонячних променів досягає поверхні Землі та проникає у шари атмосфери, які частково поглинають, відображають та розсіюють сонячне випромінювання.

Оскільки його запаси практично невичерпні (астрономи підрахували, що Сонце горітиме ще кілька мільйонів років), його відносять до відновлюваних

енергоресурсів. Потік тепла сонячного випромінювання, що досягає Землі, дуже великий. Це перевищує сумарне використання всіх видів паливно-енергетичних ресурсів у світі більш ніж у 5000 разів. В даний час тонкоплівкові елементи стають перспективними, тому що вони мають малу товщину, низьку вартість матеріалу та економічність у використанні.

Сонячна енергетика є найперспективнішою і набирає величезних обертів останніми роками.

Безперечним лідером серед інших альтернативних джерел України є сонячна енергія. Друге місце займають вітряні турбіни, за ними йдуть біомаса та біогаз. Найменш популярні малі ГЕС. Вартість сонячної енергії поряд з вартістю акумуляторів стрімко падає, що сприяє широкому використанню таких комплексів у промисловості та в індивідуальних споживачів.

Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ

Сонячні колектори були першими (сонячними тепловими електростанціями), де електрика виробляла воду, нагріту до кипіння концентрованим сонячним світлом. (рис. 1).



Рис.1 – Сонячна термальна електростанція в іспанському місті Севілья

Історія сонячних панелей почалася у XIX столітті, і технології їх виробництва розвивалися надзвичайно швидко. Перша сонячна батарея мала ККД лише 1%. Іншими словами, лише один відсоток сонячного світла було перетворено на електрику. Чарльз Фріттс в 1880 використав позолочений селен для виготовлення першого сонячного елемента, ефективність якого також становила 1%.

З поясненням фотоелектричного ефекту Альбертом Ейнштейном 1905 року з'явилися сподівання на ефективніші сонячні елементи, але прогрес був повільним.

У середині 20 століття дослідження області діодів і транзисторів дали вченим необхідні знання. У 1954 році Гордон Пірсон, Дерріл Чапін та Кел Фуллер виготовили кремнієвий сонячний елемент з ефективністю 4%. Згодом ККД було збільшено до 15%.

Сонячна енергія – це форма відновлюваної енергії, яка може бути отримана із сонячного випромінювання у вигляді сонячного світла. Який забезпечує світлову та теплову енергію. Сонячна енергія є чистим і відновлюваним джерелом енергії, що не впливає на нього. Це також дуже потужне невичерпне джерело енергії, яке можна використовувати в різних областях, в основному при виробництві електроенергії і теплової енергії.

ПРИНЦИП РОБОТИ

Принцип роботи сонячної панелі починається, коли сонячні промені, що з фотонів, падають на атоми напівпровідника сонячної панелі. Таким чином він може генерувати величезну енергію, яка може вирвати електрони з атомної структури. Електрони, що відокремилися, мають негативний заряд, перемістяться в провідну зону напівпровідникового матеріалу. А в атомах, що втратили електрони, структура буде порожньою, що називається позитивно зарядженою діркою. Якщо є негативні електрони, вони можуть стати донорами електронів або називають напівпровідниками n-типу. А для напівпровідника із позитивно зарядженою діркою є акцептор електронів або напівпровідник p-типу. Потім між позитивною та негативною областями, здатними генерувати енергію, стикаються електрони та дірки у протилежних напрямках. Де електрони видаляються із негативної області, а дірки видаляються із позитивної області.

При цьому контакті p-кульок утворюється позитивний полюс джерела струму, а у n-кульок - негативний.(рис.2).

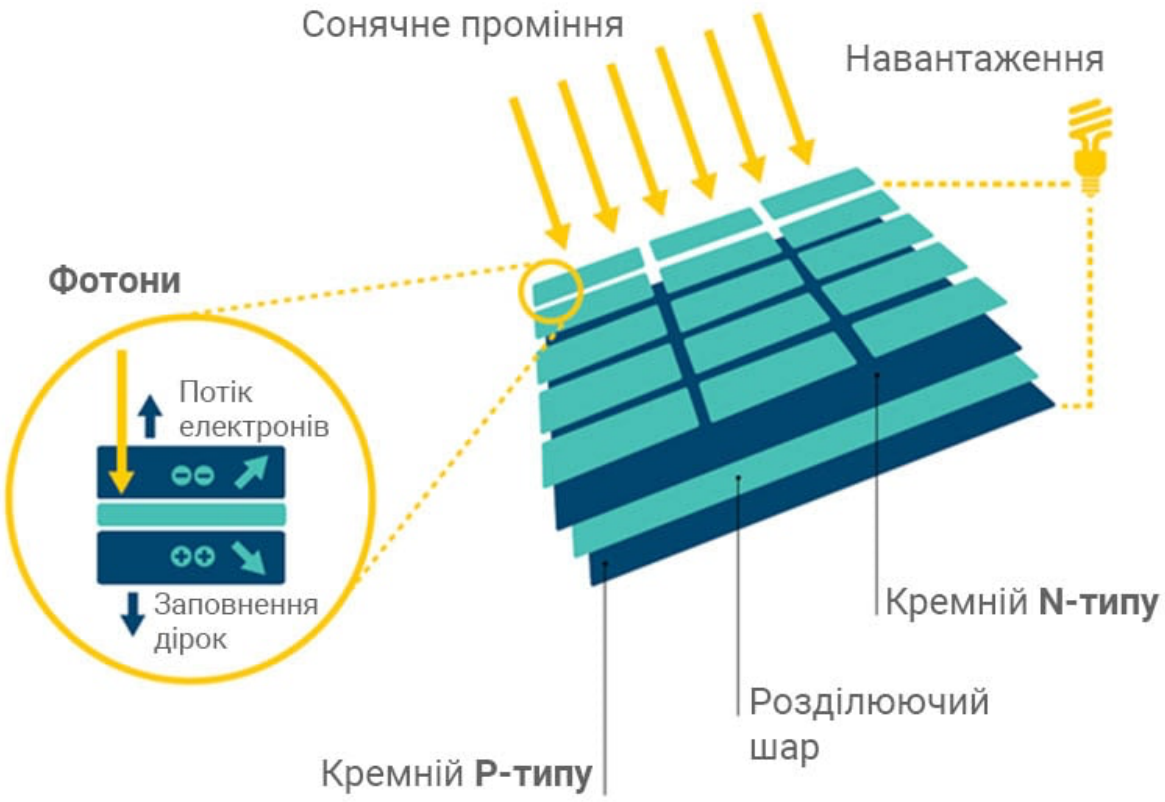


Рис.2 – Принцип роботи сонячної батареї

Таким чином, при підключенні до зовнішнього навантаження, як батарея, фотоелементи утворюють замкнене коло. В результаті сонячна панель функціонує як своєрідне колесо. І батарея поступово заряджається.

Стандартні кремнієві фотоелектричні елементи є осередками з одним переходом. Перетікання електронів у них відбувається тільки через p-n перехід з обмеженою енергією фотонів у зоні цього переходу. Тобто кожен із цих сонячних елементів здатний виробляти електроенергію лише з вузького спектру сонячного випромінювання. Решта енергії витрачається даремно. Ось чому ефективність ФЕП така низька.

З метою підвищення ККД сонячних батарей останнім часом стали виробляти напівпровідникові кремнієві елементи багатоперехідного (каскадного) формату. У нових ФЕП вже є кілька переходів. При цьому кожен із них у цьому каскаді розрахований на свій спектр сонячного світла.

Це підвищує загальну ефективність перетворення фотонів на електричний струм у таких фотоелементах. Але їх ціна набагато вища. Тут застосовується або проста технологічність з низькими витратами та низькою ефективністю, або вища віддача у поєднанні з високими витратами.

Під час роботи фотоелемент та вся батарея поступово нагріваються. Вся енергія, яка не була використана для вироблення електричного струму, перетворюється на тепло. Часто температура на поверхні сонячної панелі збільшується. Але чим він вищий, тим менш ефективно працює фотоелемент. Отже, та сама модель сонячної батареї у спеку виробляє менший струм, ніж у холодну.

Фотоелементи показують максимальну ефективність у ясний зимовий день. Тут грають роль два фактори – багато сонця та прохолоди. У той же час, якщо на панель падає сніг, вона все одно вироблятиме електроенергію. Більше того, сніжинки навіть не встигають на нього особливо лягти, встаючи від жару нагрітих фотоелементів.

ПЕРЕВАГИ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

Основною перевагою сонячних панелей є їх виняткова конструктивна простота і повна відсутність частин, що рухаються. Сонячні батареї не вимагають палива та можуть працювати на внутрішніх ресурсах. Власнику не потрібно турбуватися про безпеку пристрою та постійно підтримувати його безпеку.

Сонячні батареї мало бояться механічного зносу. І вони не потребують будь-якого обслуговування. Мала питома вага, простота, максимально простий монтаж та мінімальне обслуговування в процесі експлуатації (зазвичай достатньо протерти бруд із робочої поверхні). Ці пристрої можуть прослужити щонайменше двадцять п'ять років. Технології та матеріали, що використовуються, повністю відповідають високим екологічним стандартам, сонячні батареї не виділяють у навколишнє середовище шкідливих речовин і абсолютно безпечні. Отримання енергії за допомогою сонячних батарей може заощадити багато грошей.

На відміну від традиційних джерел, цей тип ресурсів практично невичерпний.

До переваг використання сонячних батарей належать:

1) автономія;
2) висока надійність;
3) зниження витрат на гарячу воду та опалення до 85%;
4) економія органічних палив (мазут, нафту, газ);
5) зниження викидів вуглекислого газу;
6) загальнодоступність та невичерпність джерела;
7) відсутність проміжних ступенів перетворення енергії

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Сонячні панелі вибірково перетворюють енергію в одних частотних діапазонах перетворення відбувається дуже ефективно, в інших – марно.

При цьому надлишок, що перевищує необхідний рівень, йде на нагрівання матеріалу фотоперетворювача, що шкідливо.

Цим пояснюється їхня низька ефективність. До речі, неправильний вибір матеріалу для захисного скла може зменшити ККД батареї.

Навіть дуже тонкий шар пилу на поверхні сонячних панелей або захисного скла може поглинути більшу частину сонячного світла та значно знизити вироблення електроенергії.

Зниження ефективності протягом терміну корисного використання. Напівпровідникові пластини, з яких зазвичай виготовляють сонячні елементи, згодом деградують і втрачають свої властивості, причому настільки, що і так не дуже високий ККД сонячних елементів стає ще нижче. Тривалий вплив високих температур пришвидшує цей процес.

Проте сучасні фотоперетворювачі здатні зберігати свою працездатність довгі роки. Підраховано, що за 25 років ККД сонячної батареї падає в середньому на 10%. Тому набагато важливіше своєчасно витирати пил.

Чутливість до високої температури. Якщо температура підвищується ефективність сонячних батарей знижується. При температурі вище 150С може призвести до виходу з ладу батареї.

Тому необхідно вжити всіх заходів для зменшення нагріву, який є неминучим при спалюванні прямих сонячних променів. Ситуація ускладнюється тим, що поверхня сонячних панелей часто закривається захисним склом або прозорим пластиком, що утворює теплицю, яка збільшує перегрів.

Тому сонячна батарея, потребує спеціальної системи охолодження. Слід зазначити, що такі системи зазвичай легко автоматизувати, а привід вентилятора або насоса споживає лише невелику частину енергії, що виробляється.

За відсутності яскравого сонячного світла мало нагрівається і потрібно охолодження, тому енергію, заощаджену з допомогою роботи системи охолодження, можна використовуватиме інших цілей.

Розділ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЕГІРОВАНИЙ КРЕМНІЙ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ 99.99%

Кремній найчастіше використовується у діодах, світлодіодах, транзисторах, випрямлячах та інтегральних схемах,сонячних елементах.

Властивості напівпровідників залежать від виробничого процесу, тому що різні домішки впливають на них під час виготовлення монокристалів.

Між зоною провідності $E_п$ і валентною зоною E розташована зона заборонених значень енергії електронів $E_з$. Різниця $E_п$ – E дорівнює ширині забороненої зони $E_з$. Зі зростанням ширини $E_з$ число електронно-діркових пар і провідність власного напівпровідника зменшується, а питомий опір зростає. Електричні властивості напівпровідника можуть сильно залежати від дефектів у кристалічній структурі. Тому прагнуть використовувати дуже чисті речовини, переважно, для електронної промисловості.

2.1. СОНЯЧНИЙ КРЕМНІЙ

Для виробництва сонячних елементів необроблений кремній необхідно додатково очистити до сонячного кремнію - Sisg. Альтернативою без хлору є розкладання моносилану, який знову розкладається після етапу очищення на

$$SiH_4 \longrightarrow 2\,H_2 + Si$$

нагрітих поверхнях або при проходженні через реактори з псевдозрідженим шаром.

Полікристалічний кремній (полікремній), отриманий цими способами, придатний для виробництва сонячних модулів і має чистоту понад 99,99%.

У напівпровідниках розрізняють три енергетичні зони: валентну зону,заборонену зону та зону провідності. Валентна зона – енергетична область дозволених електронних станів у напівпровіднику, заповнена валентними електронами. Зона провідності - діапазон енергії, де можуть бути вільні електрони, що подолали заборонену зону. Заборонена зона - діапазон енергій, якими не може мати електрон у кристалі напівпровідника. Розподіл електронів та дірок за енергіями підпорядковується статистичним законам Фермі-Дірака та Максвелла-Больцмана. Розподіл Фермі-Дірака визначає статистичний розподіл заряджених частинок за енергетичними рівнями системи, що перебуває у термодинамічній рівновазі.

$$n_i = \frac{g_i}{eps\left(\frac{\varepsilon_i - \mu}{kT}\right) + 1}$$

Де

ni - середня кількість частинок у стані і

εi – енергія стану і

gi - кратність виродження стану і (число станів з енергією εiμ)

μ - хімічний потенціал (який дорівнює енергії Фермі Ef при абсолютному нулі температури)

k - постійна Больцмана

T – абсолютна температура.

В даний час кристалічний кремній високої чистоти є найбільш підходящим базовим матеріалом для мікроелектроніки. Усі поширені комп’ютерні мікросхеми, пам’ять, транзистори тощо використовують кремній високої чистоти як вихідний матеріал. Ці програми засновані на тому, що кремній є напівпровідником. Шляхом цілеспрямованого включення домішок (легування), таких як індій, сурма, миш'як, бор або фосфор, електричні властивості кремнію можна змінювати в широкому діапазоні. Перш за все, за допомогою створюваних таким чином ефектів PN-переходу(рис.3) можна реалізувати різноманітні електронні схеми.

PN - переходи можуть бути отримані декількома методами:

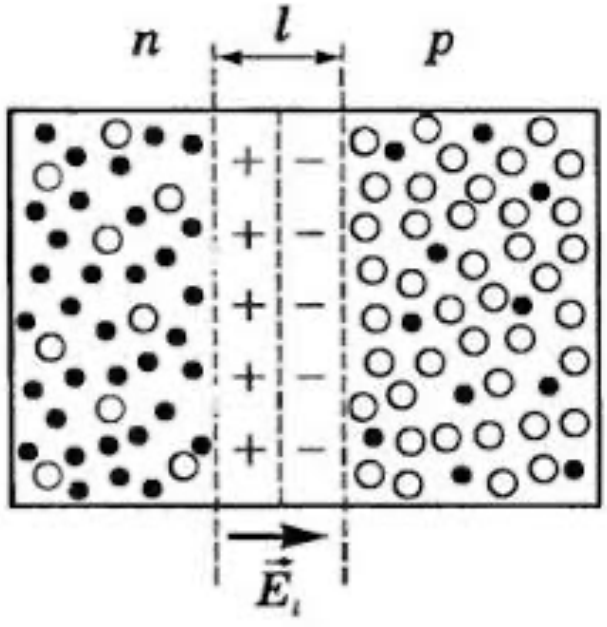


Рис.3 PN-переходи

перший метод - полягає у додаванні легованого напівпровідника в розплав у процесі екстракції. Спочатку ми виділили монокристал із розплаву германію. У певний час у розплав вводилася порція сильно легованого Р-германію. У видобутому кристалі відразу стала переважати Р-провідність, яка разом із раніше вирощеною частиною кристала утворює PN-перехід

другий метод - заснований на зміні швидкості вилучення затравки з розплаву, що містить акцепторні та донорні домішки. У розплаві донорні домішки містяться надміру по відношенню до акцепторних, тоді при повільному вилученні монокристалу там буде отримана n-область, а при швидкому - Р-область. Це пояснюється тим, що при малій швидкості подовження витіснена в рідку фазу акцепторна домішка встигає дифундувати в розплав, і її склад вирівнюється.

третій метод - метод наплавлення у тому, що у пластину n-напівпровідника наноситься зерно елемента III групи. Шматок індія можна помістити на пластину n-германію. Якщо нагріти заготовку у вакуумі до 500°С, індій розплавиться і за рахунок розчинення германію в пластині з'явиться порожнина, заповнена розплавом. У процесі охолодження починається кристалізація германію, куди входять атоми індія - акцептори; утворюється шар п-германію, у якому концентрація індія збільшується з наближенням до поверхні. PN-перехід виникає між шаром N-германію та шаром Р-германію.

четвертий метод - Дифузійний метод зводиться до насичення поверхневого шару напівпровідника при досить високій температурі донорною або акцепторною домішкою з газової фази або попередньо нанесеного шару. Отримання заданого розміру та форми переходу PN досягається за рахунок використання масок.

Аморфний кремній можна перетворити на полікристалічний кремній за допомогою ексімерних лазерів. Це набуває все більшого значення для виробництва тонкоплівкових транзисторів (TFT) для плоских дисплеїв.

За допомогою легування відповідними легуючими елементами, такими як бор або миш'як, провідність можна збільшити в 106 разів.

Розділ 3. МЕТОДИ ВИРОЩУВАННЯ ЛЕГОВАНИХ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ

Для застосування в мікроелектроніці необхідний монокристалічний кремній високої чистоти Sieg. Зокрема, забруднення елементами, які також придатні в якості легуючих елементів, повинні бути доведені до концентрацій нижче певних критичних значень шляхом витягування тигля або зонного плавлення. При витягуванні тигля (процес Чохральського, мал.4) сонячний кремній, отриманий у процесі Сіменса, плавиться у кварцових тиглях. Затравний кристал монокристалічного кремнію високої чистоти поміщають у цей розплавлений сплав і повільно видаляють з розплаву при обертанні, щоб кристалізувати кремній високої чистоти у вигляді монокристалу на кристалі, залишаючи майже всі домішки в розплаві. Фізичною основою цього процесу очищення є зниження температури плавлення та прагнення речовини кристалізуватися якомога чистішим.

Під час зонного плавлення за допомогою (кільцевого) електричного індукційного нагрівача розплавлену зону пропускають через кремнієвий стрижень, завдяки чому значна частина забруднень розчиняється в розплаві і мігрує разом з ним.

Зона плавка - спосіб очищення матеріалів, при якому в матеріалі утворюється зона плавлення, що повільно пересувається від одного кінця до іншого, залишаючи шар речовини, що очищається (рис. 4).

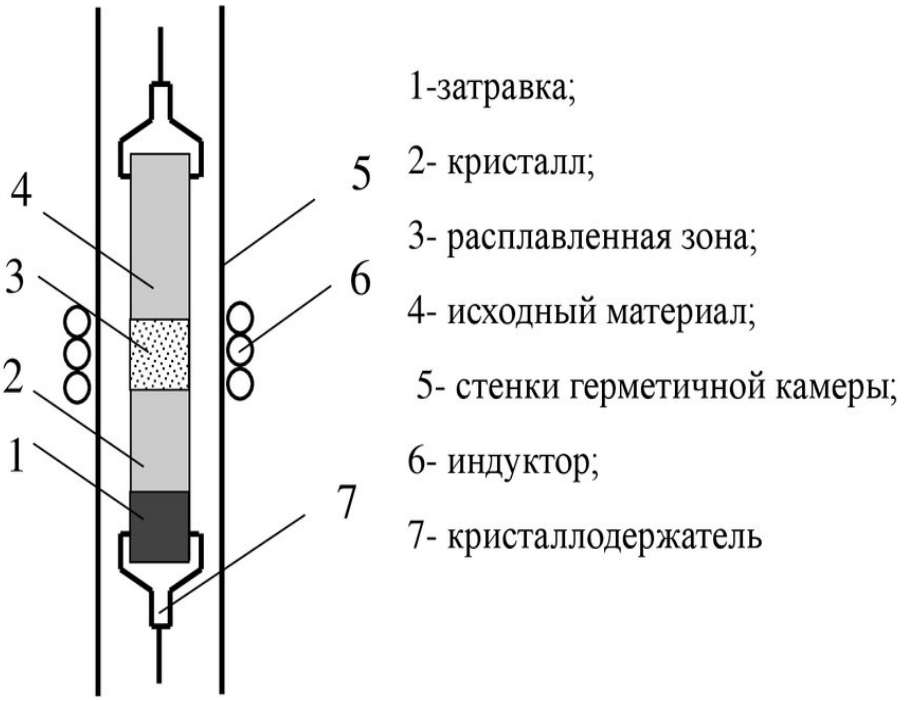


Рис.4-зонна плавка

Кремній, вирощений методом зонної плавки, позначають FZ на відміну від кремнію, вирощеного методом Чохральського, який позначається CZ.

Метод Чохральського набув широкого поширення завдяки простоті реалізації та задовільній якості монокристалів. Найбільшого поширення набуло вирощування кремнію як найбільш доступного матеріалу для напівпровідникової промисловості. Монокристали кремнію, вирощені цим методом, використовуються у двох областях: сонячній енергетиці та виробництві напівпровідникових приладів.

Метод Чохральського є методом спрямованої кристалізації. Суть методу у тому, що монокристал занурюють у розплав напівпровідникового матеріалу. Вони плавляться і при досягненні певної температури переохолодження розплаву, необхідної для ініціювання кристалізації на поверхні розплаву, починають відносно повільно витягувати монокристал.

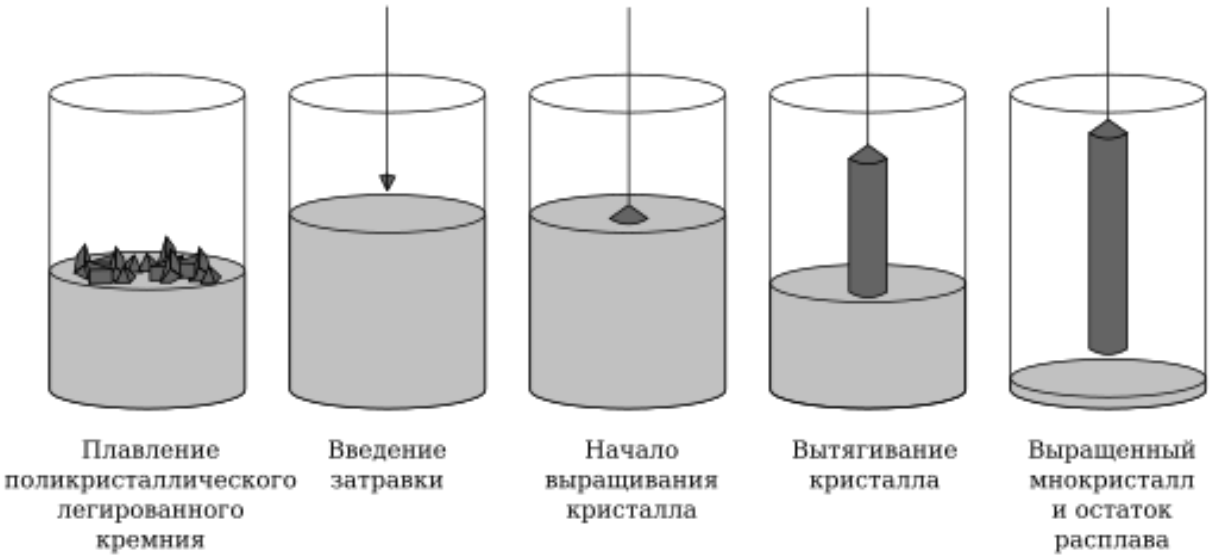


Рис.5 процес Чохральського

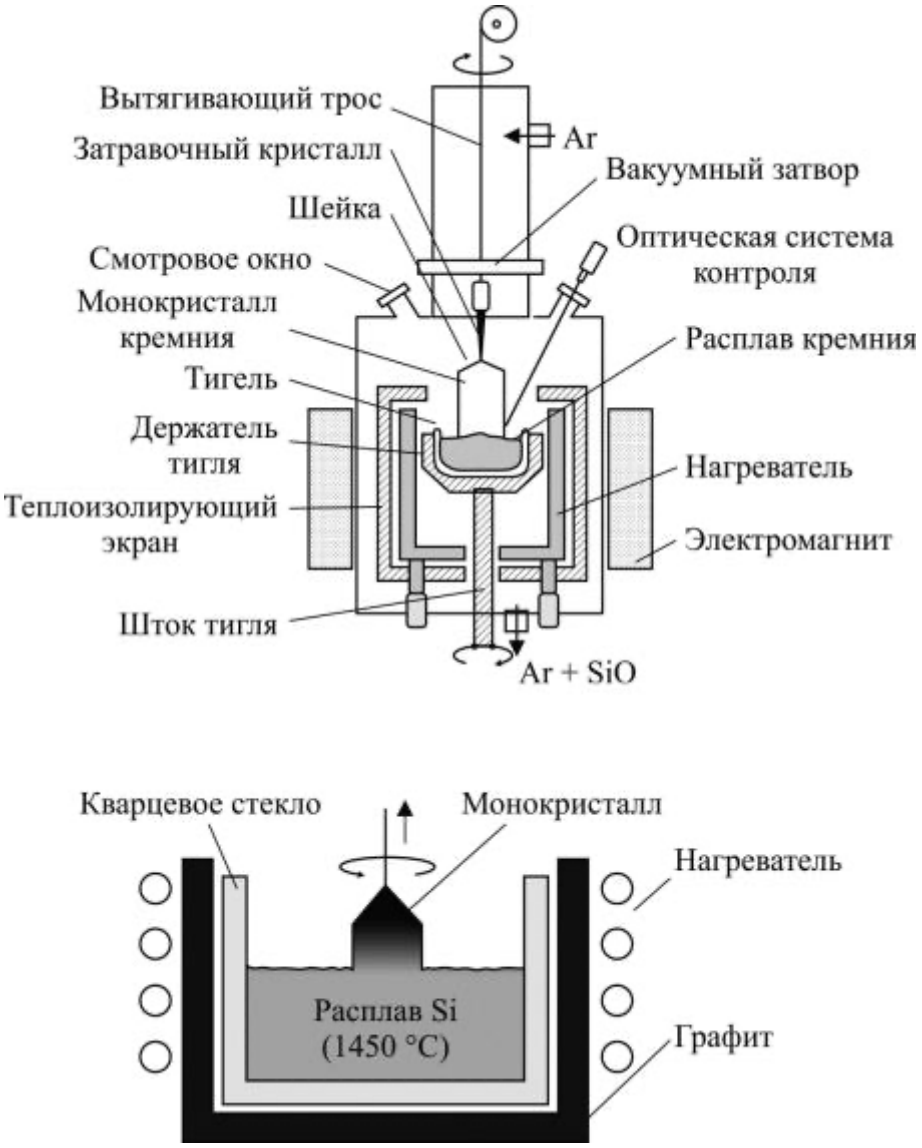


Рис.5 процес Чохральського

Прихована теплота кристалізації - енергія, що виділяється при утворенні впорядкованих атомних зв'язків у структурі кристала, - уноситься частиною монокристалу, що виросла. Діаметр монокристалу в основному регулюється зміною швидкості вилучення монокристалу і меншою мірою зміною температури плавлення.

Умови зростання контролюються за принципом ПІД-регулятора. Для виконання умов осьової симетрії теплових полів монокристалу, ванни та теплового вузла печі використовується обертання монокристалу та тигля з ванною навколо вертикальної осі.

Основними величинами, що характеризують зростання монокристалів, є градієнт температури та амплітуда напружень кристалічних ґрат.

Вирощування великих монокристалів потребує ретельного підбору умов вирощування: градієнта температури, швидкості кристалізації.

Для отримання монокристалів напівпровідників застосовують різні фізичні та хімічні методи осадження. Суміжні домішки вводяться контролю величини і типу провідності напівпровідника. Наприклад, звичайний кремній можна легувати елементом V підгрупи періодичної таблиці фосфору, який є донором, та створити n-Si.

Бор (акцептор) використовується отримання кремнію з p-Si типом провідності. Компенсовані напівпровідники створюються для фіксації рівня Фермі в межах забороненої зони.

Елементарний кремній змінної чистоти використовується в металургії (феросиліції), фотовольтаїці (сонячні елементи) та мікроелектроніці (напівпровідники, комп'ютерні мікросхеми).

Розрізняють:

- simg (металургійний клас, неочищений кремній, чистота 98-99%)
- sisg (сонячний клас, сонячний кремній, домішки менше 0,01%)
- victory (електронний клас, напівпровідниковий кремній, дрібні 9-10% домішок)
- Solar grey

Традиційно використовується процес Сименса, в якому кремній спочатку реагує з газоподібною соляною кислотою при 300-350°З реакторі з псевдозрідженим шаром трихлорсилану (силікохлороформу).

$$Si + 3\,HCl \longrightarrow H_2 + HSiCl_3$$

Сонячні батареї з монокристалічного та полікристалічного кремнію

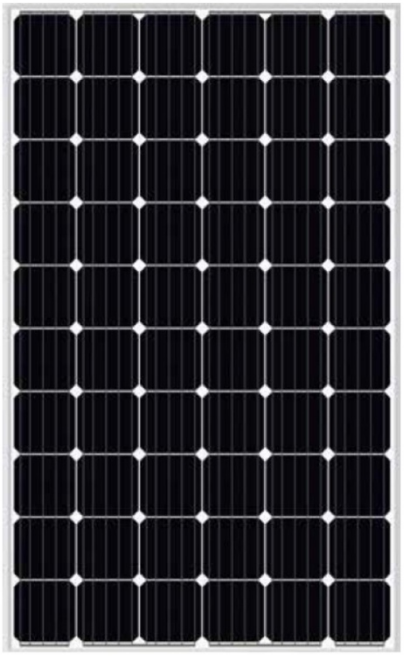
Панелі з монокристалічного кремнію виготовляються шляхом лиття кристалів кремнію високої чистоти, в яких розплавлений матеріал твердне при контакті з кристалічним пилом. У процесі охолодження кремній поступово твердне у вигляді виливки циліндричного монокристалу діаметром від 13 см до 20 см, довжина якого досягає 200 см, а отриманий зливок розрізається на листи товщиною від 250 до 200 см. 300 мікрон.

Такі елементи мають вищий ККД порівняно з елементами, отриманими іншими способами, ККД досягає 19%, за рахунок особливої орієнтації атомів монокристалу, що сприяє зростанню рухливості електронів. Кремній пронизаний сіткою із металевих електродів.

Традиційно монокристалічні модулі вставлені в алюмінієву рамку та покриті ударостійким склом. Колір монокристалічних фотоелементів темно-синій чи чорний. Сонячні панелі надійні, довговічні (термін служби до 50 років) і прості в установці, тому що не мають частин, що рухаються. Сонячні панелі можна використовувати там, де традиційна енергія не працює і багато сонячних днів.

Сонячні панелі, виготовлені з монокристалічних фотоелементів, більш ефективні, але й дорожчі у перерахунку на ват. Їхня ефективність зазвичай становить від 17 до 22%. Зазвичай монокристалічні елементи мають форму багатокутників, якими складно заповнити всю поверхню панелі без залишку. В результаті питома потужність сонячної батареї дещо нижча за питому потужність її окремого елемента.(рис.6).

Рис.6 – Сонячна батарея з монокристалічного кремнію



Альтернативою монокристалічного кремнію (рис. 8) є полікристалічний кремній (рис. 7). Він має нижчу вартість. Кристали в ньому все ще агрегатовані, але мають іншу форму та орієнтацію. Цей матеріал у порівнянні з темними монокристалами має яскраво-синій колір (рис. 9).

Удосконалення технології виготовлення елементів цього типу дозволяє отримувати компоненти, характеристики яких лише трохи поступаються електричним характеристикам монокристалів.



Рис.9 – Сонячна батарея з полікристалічного кремнію

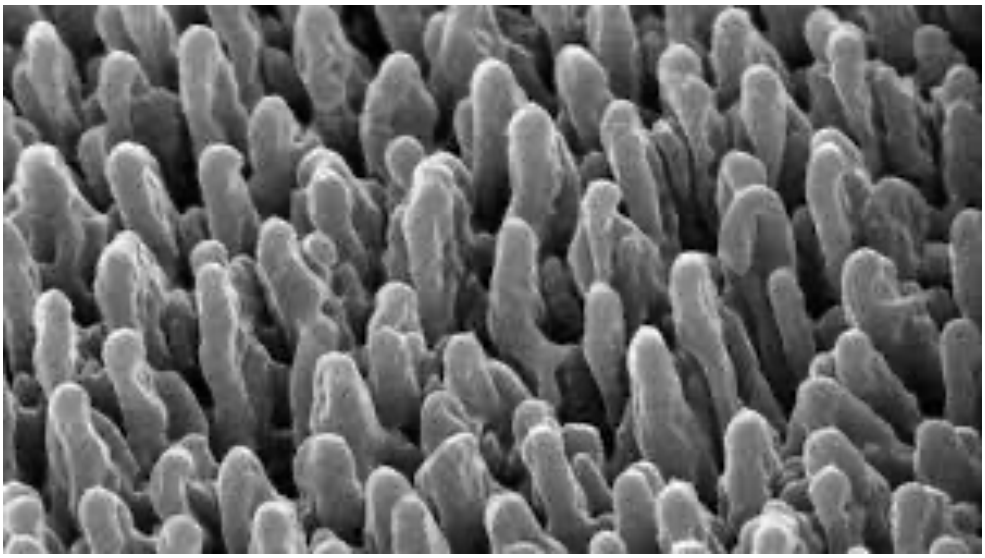


Рис.7-полікристалічний кремній

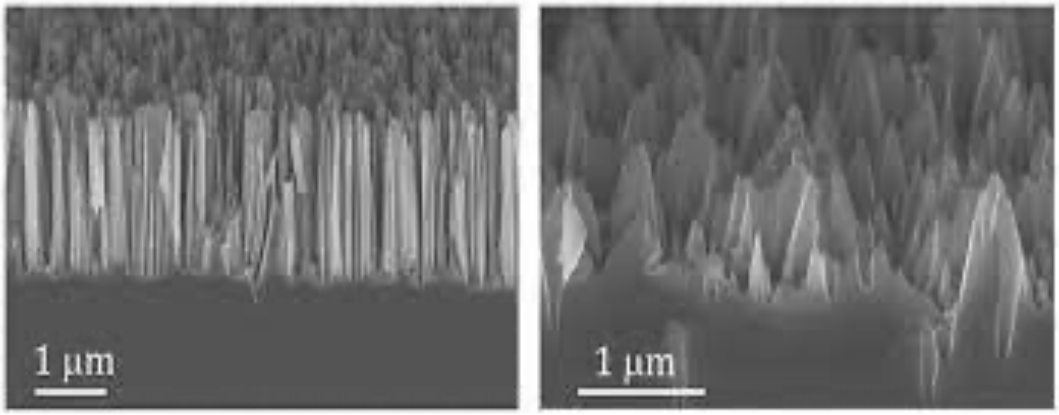


Рис.8-монокристалічний кремній

ВИСНОВОК

Сьогодні кожна країна світу переймається проблемами ринку традиційних енергоресурсів: з одного боку у зв'язку з кліматичними змінами та їх наслідками, з іншого - у зв'язку з вичерпністю традиційних джерел енергії. Виходом з цього положення є розробка та освоєння нетрадиційних джерел енергетики. Серед них сонячна енергетика займає першорядне місце. До найбільш поширених матеріалів сонячної енергетики відноситься кремній.

Проведений аналіз літературних даних щодо методів отримання чистого та понад чистого кремнію з легованих напівпровідникових сплавів показав, що оптимальним способом отримання досконалих напівпровідникових кристалів є метод спрямованої кристалізації - метод Чохральського, який дозволяє зменшити концентрацію точкових та лінійних дефектів, які суттєво змінюють енергетичний спектр напівпровідника.

Однією з проблем, що виникають при виробництві плоских фотоелементів для електричної енергії, є їх висока вартість і великі площі, необхідні для розміщення фотоелектричних електростанцій.

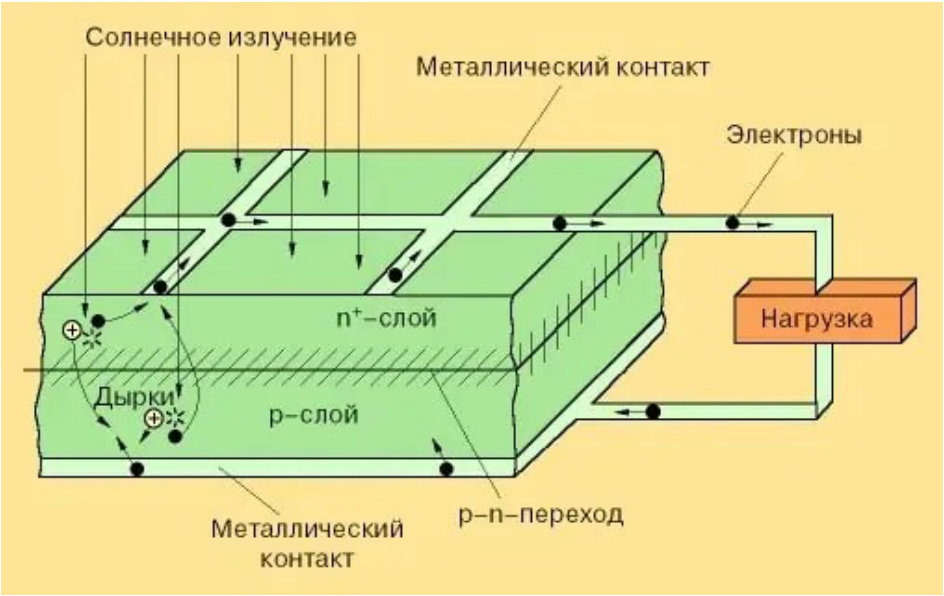
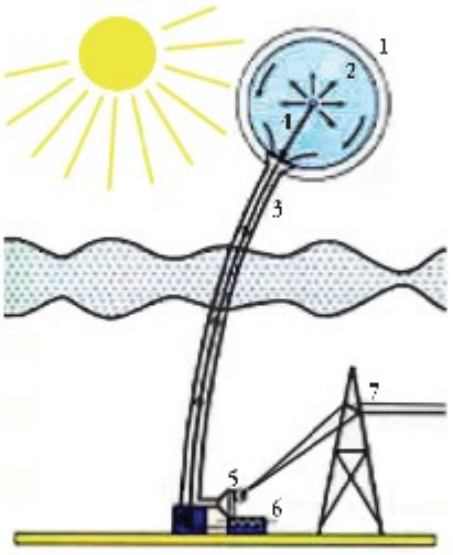


Рис.10 Схема сонячної енергетичної установки

Суттєвим недоліком існуючих сонячних енергетичних установок (рис,10) в їх роботі спостерігається розрив, який пов'язаний зі зміною потоку сонячної радіації, що досягає поверхні Землі, спричиненої погодними умовами, зміною пір року та доби.

Альтернативним вирішенням цієї проблеми є сонячні балонні установки (рис.11), які дозволять ефективніше використовувати сонячну енергію. Основний елемент сонячної аеростатної електростанції – аеростат – може бути запущений на кілька кілометрів над поверхнею Землі, над хмарами, що забезпечить безперервне використання сонячної енергії протягом доби.



1 – прозора оболонка;

2 - поглинаюча оболонка;

3 – паропровід;

4 – трубопровід з водяними насосами;

5 – парова турбіна з генератором;

6 – конденсатор;

7 - лінії електропередач

Рис.11 Схема сонячної аеростатної електростанції

Принцип роботи сонячної балонної електростанції (САЕС) у паровій турбіні полягає у поглинанні сонячного випромінювання з поверхні балона та нагріванні його водяною парою. І тут оболонка балона і двох шарів. Сонячні промені, проходячи через зовнішній прозорий шар, нагрівають внутрішній шар оболонки з покриттям, що поглинає сонячне випромінювання.

Водяна пара всередині мантії нагрівається до 100-150 ° С тепловим потоком, що надходить в мантію.

Прошарок газу (повітря) між шарами, що служить утеплювачем, знижує втрати тепла в атмосферу. Тиск пари майже дорівнює тиску зовнішнього повітря. Водяна пара по гнучкому паропроводу подається до парової турбіни, потім конденсується в конденсаторі, вода з конденсатора перекачується назад у корпус, де випаровується при зіткненні з парою.

ККД такої установки може становити 25%, а завдяки подачі водяної пари всередину балона установка може працювати вночі.

Ці сонячні електростанції можуть розташовуватися за кількасот метрів над землею чи над поверхнею моря з електростанцією на закріплених платформах, до платформ також прикріплюється повітряна куля.

Під час перебування аеростата на висоті 5-7 км забезпечується робота СЕС незалежно від погодних умов. При цьому силова паротурбінна установка може бути розміщена на землі або в люльці аеростату з передачею електроенергії кабелем на землю.

Очікується, що отриманий кремнієвий сплав знайде більш широке застосування, оскільки має досконалу мікроструктуру, яка можлива при подальшому поліпшенні процесів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Владимир Сидорович. Мировая энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир.—М.:Альпина Паблишер, 2015.— 208с.—ISBN 978-5-9614-5249-5

2. Афанасьев В.П., Теруков Е.И., Шерченков А.А. А94 Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2-е изд. СПб.: Издво СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

3. M.H. Elshorbagy, E.López-Fraguas, F.A. Chaudhry, J.M. SánchezPena, R.Vergaz, B. García-Cámara “A monolithic nanostructuredperovskite/silicon tandem solar cell: feasibility of light management through geometry and materials selection” / Scientific Reports, 2020, 10, 2271

4. Как выбрать солнечные батареи? Преимущества и недостатки URL: https://www.ekosystem.lviv.ua/p-solar 2014 р

5. Шуткин О.И. Проблемы использования солнца // М.: Независимая газета. – 11 окт. 2011. URL: http://www.ng.ru/energy/2011-10- 11/9_sun_energy.html

6. http://energetika.in.ua/

7. https://alternative-energy.com.ua/uk/soncze-yak-dzherelo-energi%D1%97/

8. http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-1/2-1-2

9. https://www.wikiwand.com/uk/

10. http://page.if.ua/uploads/navch_mat/met/MET_Lek_4.pdf

11. Бердников В.С., Панченко В.И. Некоторые характеристики смешанной конвекции в лабораторной модели метода Чохральского //Теплофизика кристаллизации веществ и материалов:

12. Varshni, Y.P. (January 1967). “Temperature dependence of the energy gap in semiconductors”.*Physica*.

13. А. В. Макаров. Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ. Нові розробки в напівпровідниковій сонячній енергетиці як перспективна область інноваційного бізнесу. Наука та інновації. 2005.Т 1.No 6.С. 69–79.

14. Конспект лекций В.Е. Семененко к курсам Конструкционные и функциональные материалы Moodle ЦЕН ХНУ им. В.Н. Каразина, 2021.

15. Перспективные конструкционные материалы нетрадиционной и атомной энергетики. Азаренков Н.А., Семененко В.Е, Ткаченко В.И. Учебно-методическое пособие. Х, ХНУ, 2016.

16.https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-crystal rowth/vol/586/suppl/C

17. https://vant.kipt.kharkov.ua/TABFRAME.html

18. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А.К. Шидловського. – К.: «Українські енциклопедичні знання», 2007. – 559 с.

21.https://uk.wikipedia.org/wiki