Київський унiверситет iменi Шевченка

Радiофiзичний факультет

Кафедра напiвпровiдникової електронiки

Розрахунок вольт-амперної характеристики сонячного елемента при врахуваннi змiни поверхневої рекомбiнацiї з прикладеною напругою.

Квалiфiкацiйна робота бакалавра студентки 4 куру радiофiзичного факульту Олiйник Свiтлани Миколаївни

Науковий керiвник доцент кафедри напiвпровiдникової електронiки Кiльчицька С.С.

Рецензент

доцент Розсохатий В.К.

До захисту допускаю Зав. кафедрою

професор Третяк О.В.

КИЇВ 1999

Змiст.

Реферат.........................................................................................3

1. Вступ..........................................................................................4

2. Огляд лiтератури

2.1. Параметри сонячних елементiв...............................................6

2.2. Ефективнiсть сонячних елементiв...........................................13

2.3. Загальнi формули для обчисленняВАХ на р-п переходi...................15

3. Експерементальнi результати

3.1. Постановка задачi......................................................................17

3.2. Модель р-п переходу та методика розрахунку, що використовуємо................................................................................18

3.3. Результати та їх обговорення ............................................38

4. Висновки....................................................................................40

Список лiтератури............................................................................41

Реферат

Квалiфiкацiйна робота: 41 сторiнок;

24 малюнкiв;

Ключовi слова: p-n перехiд, вольт-амперна характеристика, швидкiсть поверхневої рекомбiнацiї, ефективнiсь сонячних елементiв.

У роботi проведенi розрахунки впливу на вольт-ампернi характеристики сонячних елементiв на основi p-n переходу з урахуванням залежностi швидкостi поверхневої рекомбiнацiї на тиловому та фронтальному контактах вiд напруги. Зроблено огляд лiтератури, де розкритi основнi характеристики сонячних елементiв, ефективнiсть сонячних елементiв.

Показано, що залежнiсть швидкостi поверхневої рекомбiнацiї вiд напруги призводить до залежностi вiд напруги насичення, що в свою чергу впливає на свiтловi та темновi вольт-ампернi характеристики сонячних елементiв.

1. ВСТУП.

Сонце вiдiграє виключно велику роль у нашому життi. Iснування людини повнiстю зумовлене сонцем. Майже всi джерела енергiї ,так чи iнакше залежать вiд енергiї сонця. Нафта, газ, вугiлля - це законсервована сонячна енергiя. Вiтер, хвилi, тепло морiв i океанiв, енергiя рiк-це теж результат дiяльностi сонця. За своєю фiзичною суттю сонце є величезним термоядерним реактором.Тому використання його енергiї-це використання термоядерної енергiї з реактором поза межами Землi.

Сонячне випромiнювання в зовнiшнiй простiр характерезується широким енергетичним спектром, що вiдповiдає випромiнюванню чорного тiла з температурою близько 5800К. Спектральний розподiл енергiї сонячного випромiнювання в одиничному iнтервалi довжин хвиль, досягаючого Землi. Максимум iнтенсивностi лежить в дiапазонi видимого свiтла. Майже половина сонячної енергiї випромiнюється в iнтервалi довжин хвиль 0,35-0,75мкм. Частина її зосереджена в ультрафiолетовiй i iнфрачервонiй областях спектра.

Навiть на такiй великiй вiдстанi на кожний квадратний метр атмосфери його припадає 1300 Вт. Однак до поверхнi Землi доходить тiльки частина цiєї енергiї - частина випромiнювання витрачається на створення озону, частина енергiї вiдбивається атмосферою чи хмарами, частина розсiюється. Iнтенсивнiсть сонячного випромiнювання, що падає на земну поверхню, як показано в роботi [1] залежить вiд двох факторiв: кута нахилу до площини поверхнi та довжини шляху променiв у атмосферi . Так наприклад, при висотi сонця 90о на поверхню падає 900Вт/м2 при 30-750Вт/м2 , а при 12-400 Вт/м2.

Доцiльнiсть використання сонячного випромiнювання визначається також загальною енергiєю, яку отримує поверхня даного району Землi за певний час.

Розвиток людського суспiльства характеризується дальшими бурхливим зростанням енергетичного споживання. Iснує єдиний спосiб подалання енергетичного кризису, якi наближається. Це масштабне використання поновлюваної енергiї, а саме сонячної. Найбагатшим джерелом поновлюваної енергiї є потiк сонячного випромiнювання.

Без шкоди для бiосфери, можна певно, вилучити близько третини усього потоку, що падає на Землю. При розташуваннi енергоустановок на сушi, вони займають близько десяти вiдсоткiв площи континентiв, що не повинно завдати шкоди рослинам, особливо при розмiщеннi установок в районах пустель, якi займають близько п'ятандцати вiдсоткiв поверхнi сушi. З урахуванням коефiцiента перетворення сонячної енергiї, який досягає наш час тридцять вiдсоткiв, перехопленнi три вiдсотка потоку досить дасть можливiсть дiстати енергiю потужнiстю 1 ТВт. Це в десять разiв перевищує потужнiсть сучасного виробництва непоновлювної енергiї, тобто дасть змогу в десять разiв перевищити її припустиму теплову межу.

У цьому зв'зку розвиток сонячної енергетики має здiйснюватись з урахуванням її впливу на природнє срердовище - на тепловий режим, склад та якiсть атмосфери, води, грунту i позпесередньо на людину. Тому розвиток енергетики в кiнцi XX - першої половини XXI столiття вiдбуватимеся в умовах переходу до якiсно нової структури свiтового енергетичного господарства, що грунтується на використаннi практично необмежених енергоресурсiв.

Сьогоднi можна зазначити цiлком очевиднi преваги сонячної енергетики перед традiцiйними джерелами, а саме: практично невичерпанiсть її, вiдсутнiсть забруднення навколишнього середовища, вiдсутнiсть видiлення вiдходiв i вiдсутнiсть необхiдностi в добуваннi.

Успiхи, досягнутi у вирiшеннi названих вище проблем, прогнози розвитку застосування нетрадицiйних джерел енергiї вказують на перспективнiсть цього напрямку й на те, що до кiнця XX столiттяза рахунок цих енергоресурсiв, можна буде забезпечитити значну частину енергетичних потреб людства.

2. Огляд лiтератури.

2.1. Параметри сонячних елементiв.

Для безпосереднього перетворення сонячного випромiнювання в електричну енергiю найчастiше використовується слiдуючi напiвпровiдниковi структури: р-n перехiд, гетероперехiд, МДН-структура та КМН. Енергетичнi дiаграми цих сполук зображенi на малюнку 1.

Мал. 1. Енергетичнi схеми напiвпровiдникових структур, що використовуються як СЕ: а - р-п-перехiд; б - гетероперехiд; в - МДН-структура; г - контакт метал-напiвпровiдник.

Принцип дiї сонячних елементiв на їх основї полягає в тому, що кванти сонячного свiтла з енергiєю, бiльшою нiж ширина забороненої зони напiвпровiдника, створюють пари носiїв струму: електрони в зонi провiдностi i дiрки у валентнiй зонi. Носiї, якi створенi в областi просторового заряду чи в о'бємi напiвпровiдника на вiдстанi, меньше чи рiвнiй дифузiйнiй довжинi, роздiляються внутрiшнiм полем. Це схематично зображено на малюнку 1.

Мал. 2. Вольт-амперна характеристика сонячного елементу i урахуванням послiдовного Rs та шунтуючого RSh опорiв: 1-RS(0, RSh((; 2-Rs(0, RSh((; 3-Rs=0, RSh((; 4 - RS=0, RSh=(.

На зовнiшних металевих електродах при цьому з'являється рiзниця потенцiалiв якщо ми маємо рiзноманiтне коло, або буде протiкати фотострум, якщо пiдключати якийсь певний опiр. ФотоЕРС зменьшує потенцiйний бар'єр в напiвпровiдниковiй структурi, що в свою чергу, приводить до виникнення встрiчннх потокiв електронiв та дiрок. Цi потоки еквiвалентнi потокам в структурах, змiщених в прямому напрямку зовнiшньою напругою. Коли потiк створених свiтлом надлишкових носiїв заряду зрiвняється з потоком носiїв заряду, обумовлених фотоЕРС. установиться стацiонарний стан. Це зображено пунктиром на малюнку 1.

Iдеалiзована еквiвалентна схема СЕ зображена на малюнку 3.

Мал. 3. Iдеалiзована та реальна еквiвалентнi схеми СЕ.

Паралельно потенцiйному бар'єру введено джерело постiйного струму IL, яке задає величину фотоструму. Струм I, який проходить по опору навантаження, як це бачимо з малюнку 3.. дорiвнює:

I=IK-IL (1.1)

де Iк - струм, який обумовлений змiною потенцiйного бар'єру в контактi при освiтленi. Звичайно цей струм дорiвнює темповому струму в напiвпровiдниковiй структурi при напрузi V.

В загальному випадку струм крiзь напiвпровiдникову структуру може бути записаний слiдуючим чином:

(1.2)

де е - заряд електрона, Т - температура, k, I, n - параметри вольтамперної характеристики р-n переходу, обумовленi механiзмами проходження струму та параметрами напiвпровiдникової структури. В загальному значення n i IS можуть залежити також вiд приложеної напруги, iнтенсивностi та спектрального складу випромiнювання.

Таким чином вольт-амперна характеристика (ВАХ) сонячного елемента при освiтленнi може бути записана у виглядi

(1.4)

Цей вираз обумовлює форму нагрузочної кривої при заданому значеннi IL. Загальний вигляд ВАХ СЕ для iдеального випадку вiдображен кривою 4 на мал.2. Значення струму короткого замикання легко отримати, якщо прийняти, що V=0. В результатi маємо IK =-IL. Знак мiнус означає, що струм в полi тече в ТОМУ же напрямку, що i при зовнiшнiй напрузi, яка вiдповiдає зворотньому змiщенню.

Значення V=Vхх можна отримати при I=0. В результатi маємо

(1.5)

З цих формул бачимо, що бiльшi Iкз вiдповiдають бiльшим значенням IL, а для отримання бiльших Vхх необхiднi бiльшi значення параметра n та вiдношення IL/IS , тобто бiльшi висоти потенцiйного бар'єру. Загальний вигляд ВАХ залежить також вiд величини n. Чим меньше n, тим в бiльшiй мiрi форма свiтової ВАХ наближається до прямокутної.

Для реального СЕ в еквiвалентнiй схемi слiдує також врахувати шунтуючий опiр RSh , влючений паралельно бар'єрному шару, та послiдовний опiр об'єму напiвпровiдника RS та контактiв (малюнок 3). В цьому випадку струм в опорi навантаження

I = IK - ISh - IL (1.6)

а вираз ВАХ приймає вигляд

(1.7)

Загальний вигляд ВАХ для рiзних значень RS, i RSh зображенi на мал.2. З малюнка бачимо, що шунтуючий i послiдовний опори погiршують ВАХ. При цьому шунтуючий опiр сприяє на форму ВАХ меньше, чим послiдовний опiр.

Запишемо вираз для Iкз

(1.8)

а значення Vхх вiдображається формулою

(1.9)

В цьому випадку як величина Vхх, так i величина Iкз обумовленi параметрами ВАХ : n, IS, а також величиною опорiв RS та RSh. Так, наприклад, струм Iкз зростає для менших значень RS та бiльших значень RSh. Величина Vхх зростає при зростаннi RSh.

(1.10)

де R(hv) - доля фотонiв, якi вiдбиваються вiд поверхнi, Nc(hv) - густина фотонiв в одиничному iнтервалi енергiї, якi падають на одиницю поверхнi СЕ в одиницю часу, Q(hv) спектральний вiдгук чи ефективнiсть збирання фотоносiїв заряду. Iдеальний СЕ характеризується Q =1 для hv(Еg та Q=0 для hv<Eg - це обговорення представлено в роботi [5].

Розглянемо причини, якi обумовлюють втрати перетворення сонячної енергiї в електричну :

1. Наскрiзне проходжеїиiя квантiв, якi мають енергiю меншу ширини забороненої зони, не створює вiльних носiїв заряду в напiвпровiднику.

2. Фотони з hv(Еg генерують одну електроно-дiркову пару з енргiєю, рiвною Еg , надлишкова енергiя фотона переходить в темпову.

3. Напруга холостого ходу завжди меньше Еg/е, а надлишкова напруга, обумовлена цiєю рiзницею , також йде на нагрiв.

4. Частина свiтової енергiї вiдбивається вiд поверхнi СЕ. Так для кремнiєвого СЕ доля цiсї енергiї складає третину падаючої.

5. Частина свiтової енергiї поглинається в поверхневому шарi структури (плiвка бар'єрного металу в СЕ на КМН, шар напiвпровiдника на гомо- та гетеро - переходi).

6. Рекомбiнацiя носiїв заряду в об'ємi напiвпровiдника, в ОПЗ та на границях роздiлу зменшує кiлькiсть носiїв заряду, обумовлених фотострум (Q(hv)<1).

7. Втрати потужностi, обумовленi наявнiстю послiдовного та шунтуючого опорiв самого СЕ.

Потужнiсть Р, яка видiляється на опорi, дорiвнює IV. Коефiцiєнт корисної дiї сонячного елемента вiдповiдно дорiвнює

( = IV/Рс (1.11)

де Рс - потужнiсть сонячного випромiнювання. Аналiз ( при заданому Рс зводиться до аналiзу Р=IV. Як бачимо з малюнка 2, для заданих вимог вiд одного того ж елемента можна отримати рiзну потужнiсть. Iснує оптимальне навантаження. при якому вiд сонячного елемента можна отримати максимальну потужнiсть. Дiйсно, у режимi короткого замикання V=0, а у режимi холостого ходу I=0 i вiдповiдно в обох випадках Р=0. З малюнка також бачимо, що максимальна потужнiсть зростає з ростом Iкз та Vxx , i тим бiльше, чим ближе форма кривої навантаження до прямокутної. Використавши рiвняння (1.4), можна знайти потужнiсть Р, видiляєму на нагрузцi, без врахування К^ та Кчi у виглядi

(1.12)

Так як I має вiд'ємний знак, то при зростаннi I перший член формули (1.12) зростає, а другий - зменшується. Значення Р досягає максимального значення при деякому I=Iопт.

Перепишемо вираз (1.12) у виглядi:

Р = IкзVххFF (1.13)

де FF - фактор заповнення, який дорiвнює:

(1.14)

Приймемо за а = IL/IS та за b = I/IS,. Тодi при припущеннi, то n(V)=n(Vхх), IS(V)=IS(Vхх), з виразу (1.14) легко знайдемо оптимальне b з виразу:

Ln[ Ьопт + а + 1 ] = - Ьопт - ( Ьопт + а + 1 ).

При достатьньо великих а на опорi навантаження видiляється потужнiсть, яка буде перевищувати 80% добутку IкзVхх.

2.2. Ефективнiсть сонячних елементiв.

На основi всього вище зазначеного, враховуючи залежнiсть висоти потенцiйного бар'єру вiд ширини забороненої зони напiвпровiдника (чим бiльша ширина забороненої зони, тим бiльша висота потенцiйного бар'єру при однаковому струмi легування i а разподiл числа квантiв в сонячного випромiнювання, можна зробити висновок, що найбiльший коефiцiєнт корисної дiї мають напiвпровiдники з шириною забороненої зони Еg= 1.3(1.5 eV.

Кращим матерiалом рахують з Еg = 1.4 еV, що вiдповiдає максимуму сонячного спектра по числу фотонiв. N = 3.1017 фот/см2с.

(мах = 31%.

Для матерiалiв з Еg бiльше 2еВ ефективнiсть зменшується, так-як використовується мала частина сонячного спектра, для матерiалiв з малим Еg втрачається надмiр енергiї фотона ( hv-Eg ). Таким чином, для створення СЕ пiдходять i широко використовуються матерiали з типiчними напiвпровiдниковими значеннями щiлин.

Значне зростання ( досягається, коли одночасно з концентрацiєю свiтла оптична система здiйснює його спектральне розщеплення. Кожний спектральний дiапазон поглинається потiм окремим сонячним елементом з оптимальним Еg. Перший такий СЕ зроблений у 1978 р. на основi GaAs та Si з (=28%.

Як показано в роботi [13] одним з направлень по зростанню ( - створення багатошарових структур. При цьому мова йде як у послiдовннму з'єднаннi СЕ, так i об ускладненi внутреньої структури СЕ. При послiдовному з'єднанi СЕ у верхньому шарi поглинаються бiльш короткохвильовi фотони, у нижньому -довгохвильовi. При цьому сумарна ефективнiсть бiльше ефективностi кожного iз шарiв, а ЕРС просто складається (якщо не враховувати внутренього опору). Ускладненням внутреньої структури досягається покращення умов поглинання свiтла i зiбрання носiїв - бажано, щоб усi фотозбудженi носiї доходили до електрода. На цьому шляху були отриманi наступнi практичнi розрахунки : абсолютний максимум ( = 31% для СЕ на гетероструктурi на основi GaAs, СЕ на р-n -переходi в GaAs дає 25%, СЕ на р-n -переходi в крiсталiчному Si - 23%, для СЕ на полiкрiсталiчному Si - 17%. Крiм того були створенi тонкоплiвковi багатошаровi СЕ з (=10(12%.

Другим напрямком є максималiзацiя енергiї свiтла, поглинутої в той чи iншiй напiвпровiдниковiй структурi. В даному випадку мова йде про квантовую задачу - мiжзононну поглинаннi свiтла. Рахується, що фотони кожної довжини хвилi поглинаються i генерують електроно-дiркову пару у найбiльш пiдходящому для цього напiвпровiдниковому шарi. Межа (, однак, буде сильно залежати вiд конкретних особливостей конструкцiї СЕ.

Так, для Si при АМО (мак=25%, а при АМ1.5 (мак=29%. При оцiнцi (мак не враховувалась рекомбiнацiя як в об'ємi, так i на поверхнi та границях розподiлу. Формально цi втрати можуть бути врахованi тим, що ефективнiсть збирання фотоносiїв заряду у виразi (1.10) навiть для фотонiв з h(>Еg меньше одиницi та залежить вiд їх енергiї.

Проведений аналiз ВАХ та ККД сонячного елемента справедливий для будь-якої структури напiвпровiдникового фотоперетворювача: р-n перехода, гетероперехода, МДН-структурп чи КМН.

2.3. Загальнi формули для розрахунку ВАХ СЕ р-n переходу.

Виходячi з робот [9, 10] темновi ВАХ сонячних елементiв можуть бути обчисленi за формулою:

де , - струм насичення, , - послiдовний та шунтуючий опори елемента.

Перший доданок описує струм, що йде через дифузiю неосновних носiїв в емiтерi та базi елемента. Другий доданок виникає при потоцi струму, що йде через рекомбiнацiю при стикуваннi з'єднувального шару. Третiй доданок з'являється завдяки потоку струму через паразитний шунтуючий опiр.

Дифузiйний та рекомбiнацiйний струми звичайно використовуються для пояснення темнових ВАХ. Дифузiйний струм характеризується фактором неiдеальностi, який рiвний 1.

Id = Is[ехр(qV/kТ)-1] ~ Тзехр(-Еg(Т)/kТ)

де b - струм насичення. Рекомбiнацiйний струм має вигляд

IRG = IS[ехр(qV/nkТ)-1] ~ Т3/2ехр(-Еg(Т)/2kТ)

де n - фактор неiдеальностi.

Для цих механiзмiв фактор неiдеальностi вiд 1 до 2.

Посилаючись на роботи [9,10] експериментальнi вольт-ампернi характеристики отриманi на мал.4. як видно дiйсно характеризуються двома нахилами, що стверджує справедливiсть двохекспоненцiйна моделi.

Мал.4. Експериментальнi темновi ВАХ.

3. Експерементальнi результати

3.1. Постановка задачi.

Експерементальнi вольт-ампернi характеристики реальних кремнiєвих сонячних елементiв на основi p-n переходу не можна описати тiльки дифузiйним механiзмом проходженням носiїв заряду. Найчастiше для ВАХ застосовують двохдiодну модель, яка крiм дифузiйних струмiв враховує генерацiйно-рекомбiнацiйнi струми, якi контролюють струм при невеликих напругах. Для деяких структур параметр ВАХ n, який характеризує ступiнь зростання струму з напругою, не вiдповiдає жодному з цих механiзмiв i перевищує величину n=2, яка вiдповiдає генерацiйно-рекомбiнацiйному струму. При застосуваннi однодiодної чи двохдiодної моделi припускається, що струм насичення для дифузiйного механiзму є величиною сталою. Мiж тим видно, що при достатньо тонких n- або p- областях. На його величину буде впливати швидкiсть поверхневої рекомбiнацiї на тиловому та фронтальному контактах.

Теоретичнi та експерементальнi розрахунки дослiдження швидкостi поверхневої рекомбiнацiї в контактi метал - напiвпровiдник показали, що ця величина може змiнюватися з напругою, якщо вiдбувається падiння напруги на контактi.

В роботi [14] на основi експерементальних дослiджень спектральної чутливостi показано, що дiйсно, швидкiсть поверхневої рекомбiнацiї на тиловому контактi може змiнюватися з напругою.

Тому в роботi була поставлена задача провести розрахунки темнових та свiтлових ВАХ кремнiєвих сонячних елементiв з урахуванням змiни швидкотi поверхневої рекомбiнацiї на фронтальному та тиловому контактi. Проаналiзувати вплив властивостей цих контактiв (збiднений або збагачений вигин зон) та iнших параметрiв напiвпровiдника на ВАХ.

3.2. Використовуємо модель p-n переходу та методику розрахунку.

Для описання вольт-амперних характеристик (ВАХ) сонячних елементiв (СЕ) в останнiй час використовується двохдiодна або двохекспоненцiйна модель :

I=Is1(e(eV-IRs)/n1KT-1)+Is2(e(V-IRs)/n2KT-1)+(V-IRsh)/Rsh (1)

Перший член вiдповiдає рекомбiнацiйному струму i вiдповiдно n1=2, другий - iнжекцiйному струму з n1=1, i третiй-струм через шунтуючий опiр Rsh.. Величини факторiв неiдеальностi ВАХ n1 i n2 ,якi при цьому виходять,.вiдрiзняються вiд теоритичних. Як правило n1>2, a n2>1. Розходження ексререментальних i теоритичних значень може бути звязано з тим, що в бiльшостi своєї методики визначення параметрiв ВАХ (Is1, Is2, n1, n2, Rs, Rsh) основуються на тому, що вважаються цi параметри незалежними вiд прикладеної напруги. Але, це не зовсiм оправдоване.Так, наприклад Is2 може залежати вiд швидкостi поверхневої рекомбiнацiї на фронтальнiй i на тиловiй сторонi, яка може змiнюватись з прикладеною напругою.

В цiй роботi поверхневий розрахунок (моделювання) ВАХ сонячних елементiв при урахуваннi залежностi швидкостi поверхневої рекомбiнацiї на фронтальнiй i тиловiй сторонi вiд прикладеної напруги.

Мал.5. Структура сонячного елемента

Розрахунок виконується для структури сонячного елемента, виконаної на (рис 1). Товщина емiтера рiвна w, товщина бази - h. Якщо товщина емiтера менша або рiвна довжинi дифузiї дирок lp то струм насичення емiтера може залежати вiд швидкостi поверхневої рекомбiнацiї дирок на фронтальнiй поверхнi - Sw. Аналогiчно струм насичення бази буде функцiєю швидкостi поверхневої рекомбiнацiї електронiв на тиловiй поверхнi - Sh при умовi, що h<ln (довжина дифузiї електронiв). Сумарний струм насичення p-n переходу, слiдуючи [1.2] можна записати в виглядi:

(2)

Де Nd, Na-рiвнi легування (концентрацiя домiшкiв) вiдповiдно в емiтерi i базi Dn i Dp-коефiцiєнти дифузiї електронiв i дiрок, ni - концентрацiя носiїв заряду в власному н/п.

Як показано в роботi [3.4] швидкiсть поверхневої рекомбiнацiї в контактi метал-напiвпровiдник може змiнюватись з напругою, причому контактна залежнiсть S=f(V) визначається типом контакта (запiрний чи антизапiрний вигин зон), механiзмом проходження струму. В загальному випадку можна записати:

Sw=Sw0e+-(eV1/KT);

Sh=Sh0e+-(eV3/KT);

Де V1 i V3 частини загаль ної напруги, прикладенi вiдповiдно до омiчного фронтального i тилового контакту. При цьому допустемо, що до всiєї структури СЕ прикладено напругу V, рiвну:

V = V1 + V2 + V3 (3)

Де V2-напруга безпосередньо на p-n переходi.

Для знаходження розподiлу напруги в структурi, виходили з того, що струм, протiкаючий через тиловий i фронтальний бар'єри i через p-n перехiд в структурi один i той же, тобто:

I1A1 = A2i2 = A3i3 (4)

Де A1 i A3-площини вiдповiдно фронтального контакту, A3-площина p-n переходу i1,i2,i3-густина струму вiдповiдно для фронтального i тилового контакту i p-n переходу.

Вираз для i1 i i3 визначається конкретним типом омiчного контакту на фронтальнiй сторонi можуть бути записанi слiдуючим чином:

I1=(eNdVn)/4(1-e-(eV1/KT)) (5)

При реалiзацiї на омiчному контактi антизапiрному вигину зон:

I1=((eNdVn)/4e-(?0/RN)(e-(eV1/KT)-1) (6)

Для слабого запiрного вигину зон:

I1=((eNdVn)/4e-(?0/RN)(e-(eV1/E00)-1) (7)

Для тунельного запiрного шару.

В вище записаних виразах прийнятi слiдуючi позначення:

Nd - концентрацiя домiшкiв в емiтерi;

Vn - теплова швидкiсть електронiв;

Ф0 - висота потенцiального барєра на омiчному контактi;

E00=eh(пNd/Emеф)1/2

Для омiчного контакту на тильнiй сторонi формули [5.7] будуть при вiдповiднiй замiнi Nd на Na i Vn на Vp.

Густина струму p-n переходу приймалась рiвною:

I2=is2(1-e-(eV2/KT)) (8)

Де Is визначається виразом (2) при Sh,w=Sh,w0.

Розрахунок проводиться при слiдуючих параметрах моделi :

Nd=1018см-3,

Na=10-16см-3,

w=10-4см,

h=10-2см,

lp=5\*10-3см,

ln=3\*10-2см,

Sw0=104см/с,

Sh0=104 105см/с.

Властивостi омiчних контактiв змiнювались. Омiчний контакт на фронтальнiй сторонi характеризується слабким запiрним вигином зон з ?01=0,2:0,6еВ. Властивостi омiчного контакту на тильнiй сторонi змiнювались вiд антизапiрного вигину зон до запiрного з ?03=0,05:0,4еВ; змiнювалась також концентрацiя легуючих домiшок з 1016 до 1018см-3 (останнє значення може бути при утвореннi або BSF шару). Приймалось також, що А1/А2=0,1; А3=А2.

Розрахунковi ВАХ при рiзних параметрах омiчного контакту на фронтальнiй i тиловiй сторонi показанi на (рис.1). Видно що частини ВАХ з n>2 спостерiгаються на бiльшому iнтервалi напруги. Чим бiльший омiчний контакт (бiльша висота потенцiального бар'єра ?01 або ?03), з зменшенням потенцiального бар'єру на омiчному контактi цей участок або значно зменшується або зникає зовсiм (рис. 1.в). Якщо на тильному контактi реалiзувався антизапiрний вигин зон, або великий рiвень пiдлегування, то участок з n>2 зовсiм не спостерiгається (рис. 3).

Мал. 6

Мал. 7

Мал. 8

Мал. 9

Мал. 10

Мал. 11

Мал. 12

Мал. 13

Мал. 14

Мал. 15

Мал. 16

Мал. 17

Мал. 18

Мал. 19

Мал. 20

Мал. 21

Мал. 22

Мал. 23

Мал. 24

3.3. Результати та їх обговорення

Розрахунки темнових вольт-амперних характеристик проводились при таких параметрах моделi: (=0.3мкм, h=210мкм, ln=300мкм, lp=10мкм, вiдповiдно (/lp=0.03, h/ln=0.7, тобто товщина емiтера була значно менша дифузiйної довжини дiрок, а довжина бази теж була менша дифузiйної довжини електронiв. А як випливає з формули для is , саме при таких вiдношеннях дифузiйної довжини носiїв заряду та товщини емiтера або бази, можна чекати впливу швидкостi поверхневої рекомбiнацiї на струм насичення ВАХ.

Рiвнi легування бази були такими 1015см-3 та 4.1014см3. Швидкiсть поверхневої рекомбiнацiї при V=0 приймалась рiвною 104, 105, 106 см/сек, також вважалось, що при прикладеннi напруги .

Характер фронтального контакту вiдповiдав омiчному контакту швидким запiрним вигином зон: (01=0.3; 0.4; 0.5eV, тиловий омiчний контакт також вважався мав не великий запiрний вигин (0.2eV).

З наведених малюнкiв видно, що струм насичення ВАХ збiльшується iз збiльшенням швидкостi поверхневої рекомбiнацiї, причому вiдзначимо, що змiна S( призводить до бiльш помiтної змiни струму нiж Sh. Наприклад, порiвняємо рисунки 14 та 15, 10 та 13, 6 та 8. Це обумовлено тим, що а у вiдповiдностi з формулою (2) is вiдчуває змiну S, коли i крiм того .

На деяких кривих (Рис.6,10,18) на ВАХ спостерiгається подвiйний вигин, що обумовлено залежнiстю вiд напруги струму насичення: при збiльшеннi напруги, в результатi залежностi швидкостi поверхневої рекомбiнацiї вiд напруги, струм насичення зменшується. Iнтервал напруг при якому це спостерiгається залежить як вiд параметра напiвпровiдника так i вiд властивостей омiчних контактiв.

Були також розрахованi свiтловi ВАХ (Рис. 19-24). Зазначимо, що струм короткого замикання при обраних товщинах областей p-n переходу та для вибраних значень S змiнювався з S дуже мало, (розрахунки проведенi для АМ1.5 при Рпад=100мВт/см2). По свiтловим ВАХ були розрахованi параметри сонячних елементiв Iкз=0.0327(0.033А, Vxx=0.62(0.78V , FF=0.58(0.75 , (= 0.14(0.17.

Висновки.

1. Поведенi розрахунки темнових та свiтлових вольт-амперних характеристик сонячних елементiв з урахуванням швидкостi поверхневої рекомбiнацiї на фронтальному та тиловому контактах.

2. Струм насичення вольт-амперних характеристик збiльшується зi збiльшенням швидкостi поверхневої рекомбiнацiї. При вибраних параметрах структури та напiвпровiдника швидкiсть поверхневої рекомбiнацiї на фронтальному контактi бiльше впливає на is нiж швидкiсть поверхневої рекомбiнацiї на тиловому контактi.

3. Урахування залежностi швидкостi поверхневої рекомбiнацiї на омiчних контактах вiд напруги змiнює загальний вигляд ВАХ, що обумовлено змiною з напругою струму насичення p-n переходу.

Список лiтераури.

1. А.М. Васильев, А.П. Ландсман "Полупроводниковые фотопреобразователи". М.: Советское радио. 1971 г.

2. С.М. Зи <Физика полупроводниковых приборов>. М.: Энергия. 1973 г.

3. В. I. Стрiха "Сонячна енергетика i проблеми їх розвитку". К.: Знання. 1983р.

4. В.И. Стриха, С.С. Кильчицкая <Солнечные элементы на основе контакта метал-полупроводник>. Санкт-Петербург.: Энергоатомиздат. 1992 г.

5. М.М. Колтун <Преобразование солнечной энергии>. М.: Энергоиздат. 1982г.

6. М.О. Дикий "Поновлювальнi джерела енергiї". К.: Вища школа. 1993 р.

7. В. Субашиев <полупроводниковые преобразователи энергии>. Л. [ЛОНТП]. 1956 г.

8. В.И. Стриха <Скорость поверхностной рекомбинации на контакте полупроводника с металлом>. ФТП, т.1, №7, 1967 г.

9. В. I. Стрiха "Рекомбiнацiя на контактi метал-напiвпровiдник". Вiсник Київського Унiверситету, серiя фiзики, №10, 1969 р.

10. Е.А. Андрюшин, А.П. Симин <Физические проблемы солнечной энергетики>. Успехи физических наук, т. 161, №8, 1991 г.

41

2