



Dildora TASHPULATOVA,
Jizzax Davlat Pedagogika universiteti o'qituvchisi
Kamol NURMATOV,
"Fizika va uni o'qitish metodikasi" kafedrası o'qituvchisi
E-mayl: dildora87@jspi.uz

Jizzax Politehnika Instituti professori U.Yuldashev taqrizi ostida

HETERO – STRUCTURED SOLAR PHOTOCELLS

Abstract

A comparative analysis of the prospects of creating ultra – thin, light and highly efficient solar cells based on AlGaAs/GaAs heterostructures was conducted. Technological challenges and prospects for each option are discussed. A micron - scale thinning of AlGaAs/GaAs heterostructures using efficient technological methods has been proposed, which has been shown to significantly increase the yield percentage of solar cells.

Keywords: heterostructure, solar energy, alternative energy sources, electricity, photovoltaics, solar cell, monocrystalline and polycrystalline silicon, cascade elements, amorphous silicon, solar module.

ГЕТЕРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Аннотация

Проведен сравнительный анализ перспектив создания сверхтонких, легких и высокoeffективных солнечных элементов на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs. Обсуждаются технологические вызовы и перспективы каждого варианта. Предложено микронное утонение гетероструктур AlGaAs/GaAs с использованием эффективных технологических приемов, позволяющее значительно увеличить протсент выхода солнечных элементов.

Ключевые слова: гетероструктура, солнечная энергетика, альтернативные источники энергии, электричество, фотовольтаика, солнечный элемент, монокристаллический и поликристаллический кремний, каскадные элементы, аморфный кремний, солнечный модуль.

GETEROSTRUKTURALI QUYOSH FOTOELEMENTLARI

Annotatsiya

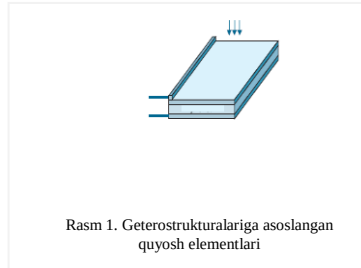
AlGaAs/ GaAs geterostrukturalari asosida o'ta nozik, yengil va yuqori samarali quyosh batareyalarini yaratish istiqbollarning qiyosiy tahlili o'tkazildi. Har bir variant uchun texnologik muammolar va istiqbollar muhokama qilinadi. Samarali texnologik usullardan foydalangan holda AlGaAs/ GaAs geterostrukturalarini mikron darajasida yupqalash usuli taklif qilingan, bu esa quyosh batareyalarining rentabellik foizini sezilarli darajada oshirish ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: geterostruktura, quyosh energetikasi, muqobil energiya manbalari, elektr energiya, fотовольтаика, quyosh elementi, monokristall va polikristallkremniy, kasakadli elementlarga, amorf kremniy, quyosh moduli.

Kirish. Hozirgi vaqtda quyosh batareyalarining energiya-massa xususiyatlarini oshirish zarurati dolzarb ahamiyatga ega. Ushbu muammoni hal qilishning asosiy yo'llari eng yuqori samaradorlikka ega bo'lgan AlGaAs/ GaAs birikmalar asosidagi quyosh batareyalarining samaradorligini oshirish va ularning hajmi va og'irligini kamaytirish hisoblanadi. Bunday samaradorlikka erishish uchun fотовольтаик tizimga optimallashtirilgan yangi arxitektura va yuqori sifatli yarimo'tkazgich materiallari talab qilinadi. Dunyoda yarimo'tkazgichlardagi p-n o'tishlari sonini to'rt, besh va hatto oltitaga oshirish orqali istiqbolli geterostrukturalarda quyosh batareyalarining samaradorligini 35% gacha oshirish bo'yicha intensiv tadqiqotlar olib borilmoqda. Fotoelektrik usul quyosh energiyasini aylantirishning eng istiqbolli usullaridan biridir. Hozirgi vaqtda kremniy quyosh batareyalari uchun asosiy materialdir. Kremniy asosidagi quyosh elementlarining samaradorligi Yerga yaqin fazo sharoitida to'g'ridan-to'g'ri nurlanganda 15-16% ni tashkil qiladi. Yer sharoitida kremniy elementlarining samaradorligi to'g'ridan-to'g'ri quyosh nurlanishi bilan taxminan 20% va quyosh nurlanishining (30-50) marta konsentratsiyasi bilan 25-27% gacha kamayadi. Yoritish intensivligining yanada oshishi bilan silikon elementlarning samaradorligi ish haroratining oshishi va omik yo'qotishlarning oshishi tufayli pasayadi. Geterostrukturalarga asoslangan quyosh elementlari esa yuqori samaradorlikni ta'minlaydi va yuqori radiatsiya qarshiligiga egadir. Geterofotokonvertorlarning muhim afzalligi ularning yuqori konsentratsiyali quyosh nurlanishini (1000-2000 martagacha) samarali aylantirish qobiliyatidir, bu quyosh batareyalarining maydoni va narxini sezilarli darajada (konsentratsiya darajasiga mutanosib) kamaytirish istiqbollarini ochadi va natijada "quyosh" elektr energiyasi narxining pasayishiga olib keladi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. Birinchi marta A.F. Ioffe nomli FTIda GaAs geterostrukturalariga asoslangan quyosh batareyalari taklif qilindi va yaratildi. Quyosh radiatsiyasiga deyarli to'liq shaffof bo'lgan Al GaAs qattiq eritmasining yupqa qatlamidan yasalgan keng bo'shliqli "deraza"dan foydalanish fotoaktiv hudud sirtining passivlanishini ta'minlaydi. Past haroratli suyuqlik fazali epitaksiya usulidan foydalanib, ko'p qatlamli AlGaAs/ GaAs geterostrukturalari yaratildi [1-5], bu bitta p-n o'tishga ega quyosh batareyalari uchun rekord samaradorlik ko'rsatkichlariga erishishni ta'minladi. Bunday samaradorlik ko'rsatkichlariga AlGaAs/ GaAs old qatlami qalinligining 30 -50 nm gacha pasayishi, faol mintaqada yuqori sifatli materialning kristallanishi va GaAs dan yasalgan orqa potensial to'siqni yaratish tufayli erishildi. So'nggi yillarda quyosh elementlari uchun AlGaAs/ GaAs geterostrukturalarini ishlab chiqarish uchun MOS-gidrid epitaksisi (metall-organik bug fazasi epitaksisi) usuli

keng qo'llanila boshlandi [6]. Ushbu usul bilan o'rnatilgan Bragg oynasi bilan olingan quyosh elementi geterostrukturasi katta qiziqish uyg'otadi (1-rasm).



Rasm 1. Geterostrukturalariga asoslangan quyosh elementlari

Samaradorlikning yanada oshishi turli tarmoqli bo'shliqlarga ega bo'lgan materiallarda ikki yoki undan ortiq p-n birikmalari bo'lgan ko'p qatlamli geterostrukturalar asosida ishlab chiqarilgan kaskad quyosh elementlari tomonidan ta'minlanadi (1-rasm). Kaskad elementlarining samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mexanik o'rnatish bilan loyihalashda ko'rsatildi. Ushbu dizayn keng bo'shliqli element materiali sifatida GaAs va tor bo'shliqli element sifatida InGaAs yoki GaSb dan foydalanadi. Bunday elementlarda kengroq bo'shliqli materialdan yasalgan "yuqori" p-n birikmasi quyosh nurlanishining qisqa to'liqinli qismini samarali aylantirish uchun mo'ljallangan va "pastki" p-n birikmasi tor- bo'shliqli material, keng polosali element orqali o'tadigan uzun to'liqinli nurlanishni aylantirish uchun optimallashtirilgan. Nazariy hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, bunday murakkab fotokonvertorlarda 40% dan ortiq samaradorlikka erishish mumkin.

Tadqiqot metodologiyasi. Yuqori samarali quyosh elementlarini yaratish uchun eng istiqbolli materiallardan biri bu galliy-arsenid. Bu quyidagi xususiyatlar tufayli yuzaga keladi:

- bir tutashgan quyosh elementlari uchun deyarli ideal tarmoqli oralig'i 1,43 eV;
- quyosh radiatsiyasini yutish qobiliyatining oshishi: yuqori samaradorlik bilan birga bu materialni yuqori radiatsiya qarshiligi;

• GaAs asosidagi batareyalarning nisbiy issiqlik sezuvchanligi;

• aluminiy, mishyak, fosfor yoki indiy bilan GaAs qotishmalarining xarakteristikalari GaAs xususiyatlarini to'ldiradi, bu esa quyosh batareyalarini loyihalashda imkoniyatlarni kengaytiradi.

Galliy arsenid va unga asoslangan qotishmalarining asosiy afzalligi GC dizayni uchun keng imkoniyatlaridir. GaAs asosidagi fotoelement turli tarkibdagi bir necha qatlamlar -geterostrukturalaridan iborat bo'lishi mumkin. Bu ishlab chiquvchiga kremniy GClarda ruxsat etilgan doping darajasi bilan cheklangan zaryad tashuvchilarning avlodini katta aniqlik bilan boshqarishga imkon beradi. Odatda GaAs asosidagi GC oyna sifatida AlGaAs ning juda yupqa qatlamidan iborat. Galliy arsenidning asosiy kamchiligi uning yuqori narxidir. Ishlab chiqarish tannarxini pasaytirish uchun quyosh batareyalarini arzonroq substratlarda shakllantirish taklif etiladi. Bunda polikristalli yupqa plyonkalar ham quyosh energiyasi uchun juda istiqbolli. Mis va indiy diselenidi (SuSe_2) quyosh nurlanishini o'zlashtirishning nihoyatda yuqori qobiliyatiga ega - yorug'likning 99% bu materialning birinchi mikronda yutiladi (tarmoq oralig'i 1,0 eV) [2,5]. SuSe_2 asosida quyosh batareyasi oynasini ishlab chiqarish uchun eng keng tarqalgan materialdir. Ba'zida oyna shaffofligini yaxshilash uchun kadmiy sulfidga sink qo'shiladi. SuInSe_2 qatlamidagi tarmoqli bo'shlig'ini oshiradi, bu esa ochiq kontaktlarning zanglashiga olib keladigan kuchlanishning oshishiga va natijada qurilmaning samaradorligini oshirishga olib keladi.

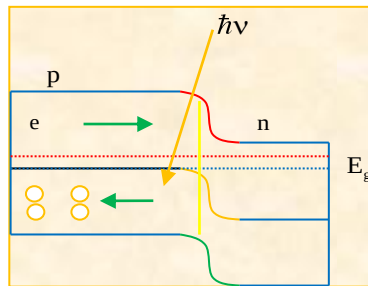
Tahlil va natijalar. Ko'pgina quyosh elementlari asosan katta maydon p-n birikmalaridir. Ularga yorug'lik tushsa, ular oqim va kuchlanish hosil qilishi mumkin. Buning sodir bo'lishining sababi p-tipi va n-tipli materialning o'rtasida "o'rnatilgan" elektr maydonidir. Avval kremniy quyosh elementi (p-n ulanishi) p va n kontaktlari o'rtasida tashqi tomondan ulangan past qarshilikli simga ega bo'lsa, nima bo'lishini ko'rib chiqamiz. Qorong'ida quyosh elementi oqim hosil qilmaydi. Agar quyosh batareyasiga yorug'lik tushsa, u holda oqim sim orqali p tipidagi tomondan n tipidagi tomonga (an'anaviy oqim) o'tadi. Yorug'lik kremniy kristalining ba'zi kimyoviy bog'lanishlarini buzish uchun yetarli energiyaga ega. Buning ma'nosi shundaki, odatda kremniy bog'lanishida ishtirok etadigan elektronlar yorug'lik ta'sirida yuqori energiya holatiga o'tadi va aloqa buziladi. Quyoshning yer yuzidagi yorug'lik intensivligi quyosh elementidagi har 100 million kremniy atomi uchun taxminan 1 ta aloqani uzish uchun yetarlicha kuchli. Qo'zg'otilgan elektronlar fosfor qo'shimcha atomlarining elektronlariga o'xshaydi - ular material bo'ylab erkin harakatlanadi. Xuddi shunday, yorug'lik natijasida hosil bo'lgan bo'sh joylar, xuddi kremniy va bor atomlari orasidagi bog'lanishlarda yetishmayotgan elektronlar kabi, teshik vazifasini bajaradi va bu teshiklar ham material bo'ylab erkin harakatlanishi mumkin. Shu tarzda yaratilgan elektronlar va teshiklar fizikaviy jihatdan bir- biriga yaqin: yorug'lik bilan qo'zg'atilgan har bir elektron uchun tegishli teshik hosil bo'ladi. Bu elektronlar va teshiklar faqat qisqa vaqt davomida qo'zg'olgan holda qolishi mumkin. Rekombinatsiya jarayonida qo'zg'olgan elektronlar teshiklarga juda yaqin keladi va ikkalasi yana bog'langan pozitsiyalarga joylashadilar. Bu jaraen sodir bo'lganda, juftlikning elektr energiyasi issiqlik sifatida yo'qoladi. Agar rekombinatsiya juda ko'p bo'lsa, quyosh elementining samaradorligi pasayadi. Quyosh elementida yorug'lik orqali qo'zg'otilgan elektronlar va teshiklar materialning butun hajmida, p-mintaqasida, n-mintaqada va "o'rnatilgan" elektr maydoni mavjud bo'lgan maydon hududida paydo bo'ladi. Maydon hududida yorug'lik bilan qo'zg'atilgan elektronlar va teshiklarni ko'rib chiqish orqali oqim oqimini tushunish eng oson.

Xuddi shunday, maydondan uzoqda joylashgan elektronlar va teshiklar, agar ular qayta birlashishdan oldin birlashma tomon yo'l topsa, "o'rnatilgan" elektr maydoni bilan ajratilishi mumkin. Bu shunchaki elektronlar va teshiklar material bo'ylab tasodifiy tarqalib ketishi sababli sodir bo'ladi. Agar ular qayta birlashishdan oldin "o'rnatilgan" elektr maydoniga tasodifiy kirib borishga muvaffaq bo'lsalar, ular tutashuv bo'ylab oqadigan oqimga hissa qo'shadilar. Ushbu zaryadlar, shuningdek, tashqi sim orqali elektronlar oqimiga olib keladi. Elektr tokini oddiygina tok o'lchagichni quyosh batareyasi bilan ketma-ket ulash orqali o'lchash mumkin. Ba'zan oqim o'lchagichdagi qarshilik juda past bo'lganligi sababli, quyosh batareyasi bo'ylab kuchlanish bo'lmaydi, lekin oqim oqishi mumkin. Bu qisqa tutashuv oqimi deb ataladi.

Quyosh elementining ishlashiga asos bo'lgan fotoelektr effekti yorug'lik bilan nurlantirilganda yarim o'tkazgich materiallarda tok tashuvchilar - elektronlar va teshiklarni hosil qilishdan iborat. Kaskadli materiallarni boshqalari bilan solishtirganda nisbatan past samaradorligining tabiati bunday tuzilmalarda erkin zaryad tashuvchilarning fotogeneratsiyasining

turli mexanizmida yotadi. Noorganik yarim o'tkazgichlar tarmoqli bo'shlig'ida erkin zaryad tashuvchilar (elektronlar va teshiklar) hosil bo'ladi, keyin ular bir-biridan ajratiladi.

Rasmda ko'rsatilganidek yarimo'tkazgichlarda fotonlarning yutilishi natijasida elektronlar eng yuqori egallangan molekular orbitallardan eng past bo'sh bo'lmagan molekular orbitallarga qo'zg'atiladi (3-rasm, 1-bosqich). Kaskadli materiallarda fotogeneratsiya mexanizmlarining muhim farqi shundaki, noorganik SClarda fotoqo'zg'alish natijasida materialning asosiy qismida erkin zaryad tashuvchilar hosil bo'ladi, boshqalarda esa ularning nisbatan past dielektrik o'tkazuvchanligi natijasida. materiallar, kulon o'zaro ta'siri bilan bog'langan elektron-teshik juftlari, eksiton hosil bo'ladi. Erkin zaryadlarni olish uchun qo'shimcha qo'zg'atuvchi dissotsiatsiya energiyasi (bog'lanish energiyasi) talab qilinadi, bu har xil organik yarim o'tkazgichlar uchun 0,2-1,0 eV ni tashkil qiladi. Eksitonlarning dissotsiatsiyasi tufayli zaryadlarning hosil bo'lishi ikkita yarimo'tkazgichlar (donor va akseptor) o'rtasidagi interfeysda, ya'ni geterobirlashmada amalga oshirilishi mumkin. Tegishli orbitalar orasidagi energiya sathining siljishi tufayli org nikal materiallar elektron donorlar yoki qabul qiluvchilar sifatida ishlashi mumkin. Donor-akseptor interfeysida zaryad o'tkazish jarayoni sodir bo'ladi, bu past ionlanish potentsiali (donor) bo'lgan materialda teshiklar va yuqori elektronga yaqinlik (akseptor) bo'lgan materialda elektronlar paydo bo'lishiga olib keladi (2-rasm, 3-bosqich).). Ushbu tashuvchilar hali ham Kolumb o'zaro ta'siri bilan bog'langan, ammo sendvich konfiguratsiyasidagi ikki xil elektrodning ish funksiyasidagi farq tufayli yaratilgan GCning ichki elektr maydoni (yoki o'rnatilgan potentsial) bilan ajratilishi mumkin. Teshiklar (elektronlar) donor (qabul qiluvchi) material orqali yuqori (past) ish funksiyasi bo'lgan elektrodlarga o'tadi (2-rasm, 5-bosqich).



Rasm 2. Ikki qavatli geterobog'lanish asosida organik quyosh kameralarida zaryad tashuvchilarning fotogeneratsiyasi

Organik yarim o'tkazgichlarda eksitonning o'zi bosib o'tgan xarakterli masofasi, ya'ni diffuziya uzunligi, ularning qisqa umr ko'rish muddati va kam harakatchanligi tufayli taxminan 10 nm masofalar bilan chegaralanadi [4]. Shuning uchun, faqat getero-birikma tekisligi yaqinidagi xarakterli qo'zg'alish diffuziya uzunligida so'rilgan fotonlar fototokga hissa qo'shishi va interfeys tomon samarali harakatlanishi mumkin, GC ning elektr qarshiligi bilan aniqlanadi va zaryad tashuvchilarni yig'ish jarayonining samaradorligini ko'rsatadi, bu qurilmadagi qochqin oqimlarining kattaligiga bog'liq. GS ning nazariy maksimal quvvat zichligi nisbati sifatida hisoblash mumkin :

$$\eta = \frac{J}{J_c} \cdot \frac{V}{V_c} \quad (1)$$

Pmpp ning tushayotgan yorug'lik quvvati zichligiga nisbati bilan aniqlanadi (R):

$$J_c = \int E \cdot Q \cdot E(\lambda) \cdot P_s \cdot \frac{e\lambda}{hc} d\lambda \quad (2)$$

qisqa tutashuv paytida GC ning tashqi zanjiri orqali oqib o'tadigan elektronlarga aylanadigan ma'lum bir to'lqin uzunligi R da tushgan fotonlar. Spektral javobdan AM1.5G yorug'ligi ostida GS ni taxmin qilish mumkin - quyosh spektrining quvvat zichligi (R):

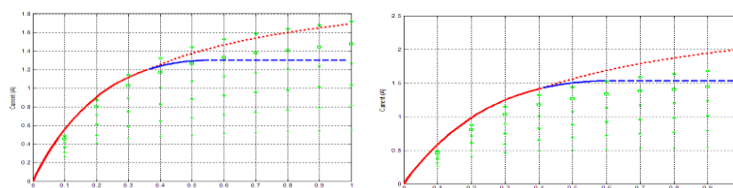
$$J_c = \int E \cdot Q \cdot E(\lambda) \cdot P_s \cdot \frac{e\lambda}{hc} d\lambda \quad (3)$$

bu yerda e - elektron zaryadi, $\hbar$ - Plank doimiysi, c - yorug'lik tezligi.

$$U = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{ph}}{I_s} + I. \quad (4)$$

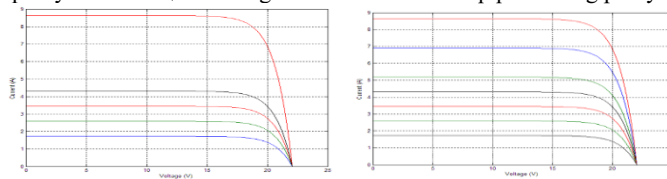
$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right]. \quad (5)$$

bu yerda I_{ph} element fototokini ifodalaydi; I_s - massivning chiqish tok oqimi; U massivningchiqish kuchlanishi; q - elektronning zaryadi; T -element xarorati (K). Quyidagi rasmda quyosh nurlanishi va xaroratning belgilangan darajasi uchun xarakterli IV egri chizig'i berilgan. 3-rasm va 4-rasmda mos ravishda oqim - kuchlanish va kuchlanish - quvvat xarakteristikalarining egri chiziqlari aks ettirilgan. Grafikdan ko'rinadiki, elementdagi fototok oqimi doimiy xaroratli nurlanishga bog'liq. Biroq, nurlanish kuchayganda, fototok oqimi va kuchlanishi ortadi. Bu esa umumiy quvvatning oshishiga olib keladi.



3-rasm. 25° S doimiy xaroratda o'zgaruvchan nurlanishda kuchlanish xarakteristikalari

Bunday holda, geterostukturali tizim xarakteristikalar uchun, ish xarorati ko'tarilganda, oqim chiqishi biroz ko'tariladi, kuchlanish chiqishi esa keskin pasayadi va bu xaroratning ko'tarilishi bilan aniq quvvatning pasayishiga ta'sir qiladi.



4 rasm. Doimiy xaroratda element fototokining o'zgarish xarakteristikalar

Taxlil va natijalarni aniqlashga ko'ra, volt amper xarakteristikalar o'zgaruvchan shunt qarshiligida xarorat va nurlanishni 1000 v/m^2 va 25° S da doimiy ushlab turadi. Bunday o'lchovlarning aniqligi uchun birinchi muxim parametr - quyosh nurlanishini simulyatsiya qilish uchun ishlatiladigan quyosh nuri simulyatorining spektr turi va intensivligidir. Ushbu spektrlardagi farqlar quyosh simulyatori spektral xarakteristikasining yemirilishini hisobga olgan holda spektral sezgirlikni aniqlashga imkon beradi.

Xulosa va takliflar. Ushbu maqolada quyosh energetika qurilmasining geterostrukturaga asoslangan fotoelementlarning fizikaviy xossalari o'rganildi. Geterostrukturali quyosh batareyasi fotoelementining foydali ish koeffitsienti, quvvati hamda elektr yurituvchi kuchining qiymatlari analitik yo'l bilan hisoblandi.

ADABIYOTLAR

1. Удалов Н. С. Возобновляемые источники энергии. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 412. – С. 305-306.
2. Виссарионов В. И. Солнечная энергетика : учебное пособие для вузов. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с. – С. 113-115.
3. Тайланов Н. Гетероструктурли куёш батареяси фотоэлементининг фойдали иш кoeffитсенти Физико-технологического образование.–2020.–1.-С. 23-28.
4. Местников, А.Е. Тепловая защита зданий на севере: материалы, изделия, конструкции. А. Е. Местников. М.: Издательство АВС. 2009. 112 с.
5. Христофорова Т.А. Внедряем новые энергосберегающие технологии. Т.А. Христофорова. Энергосбережение в Якутии. -2017.- 6 (12).- С. 10-11.
6. Тайланов Н.А. Расчет энергетических параметров автономной солнечной электростанции в Арнасайском районе.- Узбекский физический журнал, - 2018.- 20.-С. 43-48.