

**QUYOSH ELEMENTLARI TAYYORLASHDA, a-Si:  
H ASOSIDAGI FOTOELEKTRIK HODISASI VA KOVAKLAR  
TOK TASHUVCHILIK MEXANIZMINING AHAMYATI**

*To‘xtaraliyev Ahadjon Shavkat o‘gli<sup>1</sup>,  
Abdumannobova Nazokat Yaxyobek qizi<sup>2</sup>,  
Namangan to‘qimachilik sanoati instituti<sup>1</sup>,*

**Anotatsiya:** Jahonda oxirgi o‘n yillikda qayta tiklanadigan energiya manbalarining, ayniqsa fotoenergetika sohasining jadal rivojlanishi kuzatilmoqda. Katta foydali yuzaga ega, tannarxi arzon quyosh elementlarini yaratishda asosiy materiallardan biri bo‘lgan gidrogenizatsiyalangan amorf kremniy va uning modifikatsiyalariga bo‘lgan qiziqish tobora ortib bormoqda. Buning asosiy sabablaridan biri gidrogenizatsiyalangan amorf kremniy va uning modifikatsiyasidan foydalanib, quyosh elementlarining ko‘p qatlamli, yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan modellarining yaratilish imkoniyatini yuzaga kelishidir. Bundan tashqari gidrogenizatsiyalangan amorf kremniy ham ilmiy, ham amaliy nuqtai nazardan istiqbolli yarimo‘tkazgich hisoblanib, u o‘zining yuqori fotoelektrik o‘tkazuvchanligi, keng spektral oraliqda yuqori darajada yutish koeffitsientiga egaligi va legirlashning samaradorligi bilan quyosh panellarini tayyorlashda turli usullarni qo‘llash imkoniyatini yaratadi.

Hozirgi davrdagi ilmiy dunyoda yarimo‘tkazgichlar, ayniqsa gidrogenizatsiyalangan amorf kremniy va uning modifikatsiyalari asosida yaratilgan ko‘p qatlamli va ko‘p kaskadli quyosh elementlarining kontakt sohalarida yuzaga kelgan yangi xossalarni, shuningdek ularning tok tashuvchilarning parametrlariga ta’sirini o‘rganishga katta e’tibor qaratilmoqda. Bu borada, quyida keltirilgan yo‘nalishlar bo‘yicha maqsadli tadqiqotlar olib borish asosiy masalalardan biri hisoblanadi: gidrogenizatsiyalangan amorf kremniyda yorug‘likning notekis yutilishi tufayli qatlamlar o‘rtasidagi potensial taqsimotni aniqlash; gidrogenizatsiyalangan amorf kremniy asosidagi *p-i-n* strukturalarda faqat bir turdagi zaryad tashuvchilardan iborat fototokni xosil qilish shartlarini aniqlash; *p-i-n* strukturalar fotovolt-amper karakteristika (fotoVAX)larini nazariy tahlil qilish; tahlil natijalaridan foydalanib, bir turdagi zaryad tashuvchilar parametrlarini o‘zgartirish uchun aniqliklar kiritish.

Respublikamizda ilm-fan rivojida fotoenergetikaga, xususan monokristall va polikristall kremniyli quyosh modullarining samarali ishlash shartlarini tadqiq etishga keyingi yillarda katta e’tibor qaratilmoqda. Bu borada ko‘plab ishlar qilingan, ya’ni turli xil modifikatsiyalardan foydalanib, ko‘p qatlamli va geteroo‘tishli quyosh elementlarini yaratish bo‘yicha fundamental tadqiqotlar olib borilib, ularning foydali ish koeffitsient (FIK)larini orttirish yo‘lida ko‘plab tavsiyalar ishlab chiqilgan.

**Annotation:** In the last decade, there has been a rapid development in renewable energy sources, particularly in the field of photovoltaics. The interest in hydrogenated amorphous silicon and its modifications, which are one of the key materials for creating large-area, low-cost solar cells, is increasing. One of the main reasons for this is the potential to create multi-layered solar cell models with high efficiency using hydrogenated amorphous silicon and its modifications. Additionally, hydrogenated amorphous silicon is considered a promising semiconductor from both scientific and practical perspectives due to its high photoelectric conductivity, high absorption coefficient over a wide spectral range, and the efficiency of alloying processes, which allows for various methods of preparing solar panels.

In contemporary scientific research, significant attention is being paid to studying the new properties that arise in the contact areas of multi-layered and multi-junction solar cells based on hydrogenated amorphous silicon and its modifications, as well as their influence on carrier parameters. In this regard, conducting targeted research in the following areas is one of the main issues: determining the potential distribution between layers due to uneven light absorption in hydrogenated amorphous silicon; identifying conditions for generating photocurrents consisting solely of one type of charge carriers in p-i-n structures based on hydrogenated amorphous silicon; theoretically analyzing photovoltage-current characteristics (photoVAX) of p-i-n structures; making adjustments to change parameters of one type of charge carriers based on analysis results.

In our country, significant attention has been directed towards researching effective operating conditions for photovoltaic energy systems in recent years, particularly focusing on monocrystalline and polycrystalline silicon solar modules. Numerous studies have been conducted in this area—fundamental research has been carried out to create multi-layered and heterojunction solar cells using various modifications, leading to many recommendations aimed at increasing their efficiency (FIK).

**Kalit so'zlar.** Amorf yarimo'tkazgich, gidrogenizatsiya, legerlash, fotoelement, dreyf.Shottki to'siqlar.

Amorf gidrogenizatsiyalangan kremniy asosidagi quyosh elementlarini yaratilishiga monosilanni ( $Si:H_4$ ) yuqori chastotali miltillama razryad plazmasida yoyib, yupqa  $a-Si:H$  pardalar olish [1,2] va ularga fosfin ( $PH_3$ ) va diboran ( $B_2H_6$ ) gazini legirlash [3] orqali  $n$  va  $p$  – tip  $a-Si:H$  olish texnologiyasi ishlab chiqilgandan so'ng asos solindi. Avval FIK 2,4 % bo'lgan  $p-i-n$  strukturali quyosh elementlari yaratilgan bo'lsa [4,5,6] keyinchalik SHottki to'siqli ( $Pt-a-Si:H$ ) quyosh elementlarining FIK 5,5 % gacha etdi [7,8]. SHundan so'ng  $Si:H$  ning turli modifikatsiyalari asosidagi turli konstruksiyali quyosh elementlarini yaratish va ularning samaradorligini, yuqori

barqarorligini orttiruvchi fotoelektrik parametrlarni ham amaliy, ham fundamental tadqiq qilishga bo‘lgan e’tibor kuchaydi.

Quyosh element (QE) lari samarali va barqaror ishlashi uchun  $a-Si:H$  pardalari bir qator talablarga javob berishi kerak [3].

- Faol qatlamni tashkil etuvchi  $a-Si:H$  parda yuqori optik yutish koeffsientiga ega bo‘lish kerak.
- Kontaktlarda hosil bo‘ladigan potensial to‘siq balandligi katta bo‘lishi kerak.
- Yorug‘lik ta’sirida generatsiyalangan elektron va kovaklarning faol qatlam qarama-qarshi tomonlaridagi kontaktlarga samarali etib borishi ta’minlanishi kerak.
- Tashqi ta’sirlar, ya’ni harorat, namlik va hokazolarning keng intervalida  $a-Si:H$  barqaror fotogalvanik karakteristikalariga ega bo‘lishi kerak.
- Quyosh elementining faol sohasi yupqa pardasining struktura tuzilishi bir jinsli bo‘lishi kerak.
- Va hokozolar.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra  $a-Si:H$  asosli quyosh elementlarida  $p-n$  o‘tishli monokristall quyosh elementlaridan farqli ravishda,  $n$  va  $p$  qatlam orasiga legirlanmagan qatlamni ( $i-a-Si:H$ ) kiritish zarurligi va bu tufayli samaradorlik yuqori bo‘lishi ko‘rsatildi. Buning sababi  $i-a-Si:H$  da yorug‘lik yutilishi natijasida generatsiyalangan zaryad tashuvchilarning kuchli elektr maydon xosil qilishi va buning natijasida  $i$ - qatlamning o‘tkazuvchanligi  $\sim 10^4 - 10^5$  marta ortishidir. Bundan tashqari  $i-a-Si:H$  qatlamdagi maydon kuchlanganligi amorf gidrogenizatsiyalangan kremniyning harakatchanlik tirqishidagi (taqiq soha) zaryadli xolatlar zichligini taqsimotiga va sohasiga qarab sezilarli o‘zgaradi.

$p-n$  o‘tishli quyosh elementlarida yorug‘lik ta’sirida generatsiyalangan zaryad tashuvchilar xosil qilgan fototokni ko‘rinishi quyidagicha ifodalanadi [8, 9].

$$j = j_n + j_p + j_{dr}$$

Bu erda  $j_n$  va  $j_p$  mos ravishda yorug‘lik ta’sirida generatsiyalangan asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion toklari.  $j_{dr}$ —esa zaryad tashuvchilarning yuzaga kelgan elektr maydonidagi dreyfi hisobiga yuzaga keladigan tok.

$a-Si:H$  dagi zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi juda kichik bo‘lgani uchun quyidagi munosabat o‘rinli bo‘ladi.

$$j_n + j_p \ll j_{dr}$$

Demak fototok asosan ichki elektr maydon ta’sirida yuzaga keladigan elektron va kovaklarning dreyf tokidan iborat ekan, ya’ni

$$j_{dr} = j_{ndr} + j_{pdr}$$

Quyosh elementlarining samaradorligi fototok kattaligiga bog‘liq bo‘lib, u esa o‘z navbatida elektron va kovaklarning harakatchanligi bilan aniqlanadi.

*a-Si:H* pardalari uchun elektronlarning harakatchanligi kovaklarning harakatchanligidan bir necha barobar katta, shuning uchun tok tashuvchi kovaklarning fototokka qo‘shgan hissasi ancha kichik. SHu sababdan tok tashuvchi kovaklarning harakatchanligini tadqiq qilishga juda ko‘p ishlar bag‘ishlangan.

Ushbu ishlarda asosan fotoelektrik o‘tkazuvchanlikni haroratga bog‘liqligi, yutilish koeffitsientini spektral taqsimoti va lyuks-amper karakteristikalar orqali kovaklar harakatchanligi ( $\mu_p$ ) va yashash vaqti ( $\tau_p$ ) *a-Si:H* pardalar Fermi sathini energetik joylashuviga, harakatchanlik tirqishidagi zaryadli holatlar zichligiga va ularning tabiatiga, legirlash darajasiga bog‘liqligi tadqiq qilingan. YUqoridagilardan kelib chiqib adabiyotlar tahlilida asosiy e‘tiborni quyosh elementlari va fotoelektrik qurilmalarda kovaklarni tok tashuvchanlik mexanizmini o‘rganishda asosiy parametrlar bo‘lgan *a-Si:H* pardalarini harakatchanlik tirqishi va undagi zaryadli holatlar taqsimoti, rekombinatsion jarayonlar, volt-amper va lyuks-amper karakteristikalariga bag‘ishlangan ilmiy ishlarga qaratdik.

Amorf gidrogenizatsiyalangan kremniyning mono yoki polikristalldan eng asosiy afzalliklari quyosh nurlarini keng spektr oralig‘ida yutishidir. Bundan tashqari, *a-Si:H* pardalarini yaratish texnologik parametrlarini keng miqyosda o‘zgartirib, turli o‘lchamdagi na‘munalar olish imkoniyati ko‘plab uslublar yordamida ilmiy tadqiq qilish imkoniyatini yaratadi. So‘nggi o‘n yillarda *a-Si:H* pardalarini olish jarayonida yoki olingandan so‘ng, turli texnologik ta’sirlar tufayli nanokristall qo‘shimchalarning [11,12,13,14] hosil qilinishi materialning va uning asosida yaratiladigan fotoelektrik qurilmalarning [15,16,17], ayniqsa ko‘p qatlamli quyosh elementlarining fotoelektrik parametrlarini sifatini ortishiga sabab bo‘ladi.

Hozirda ham amorf yarim o‘tkazgichlarni yagona nazariyasi to‘la shakllanmaganiga qaramay, ularning fotoelektrik va optik xossalari lokallashgan holatlar zichligini harakatchanlik tirqishidagi energetik taqsimoti orqali tushuntiriladi [3,4,5,6,7].

Lokallashgan holatlarning yuzaga kelishini o‘tgan asrning 50-yillarida A. F. Ioffe empirik qoida asosida ifodalagan bo‘lib, materialning yarim o‘tkazuvchanlik xossasiga atomlar joylashuvidagi yaqin tartiblar sabab bo‘ladi. Bu tartiblarning buzilishi va qandaydir qismining saqlanishi energetik holatlar bo‘yicha taqsimlanishining sohaviy harakterini belgilaydi.

Ammo amorf yarim o‘tkazgichlarda uzoq tartiblarning buzilishi tok tashuvchi zaryadlarning erkin yugurish yo‘li kristall yarim o‘tkazgichlarnikidan ancha kichik bo‘lishiga olib keladi. Agar tok tashuvchilarni energiyaga bog‘liq bo‘lgan erkin yugurish yo‘li atomlar orasidagi masofa tartibida bo‘lsa, tok tashuvchi zaryadlar lokallashadi

Tartibsiz, ya’ni amorf yarim o‘tkazgichlar uchun holatlar zichligi va ularning energetik taqsimoti Mott ishlarida hisoblangan va baholangan [19]. Mott nazariyasiga

ko‘ra, tartibsiz yarim o‘tkazgichlarda o‘tkazuvchanlik sohasi pastki qismida va valent sohani yuqori qismida lokallashgan holatlarning “dum”lari mavjud bo‘lib, ularni ajratib turuvchi chegaraviy energiya ham mavjuddir.

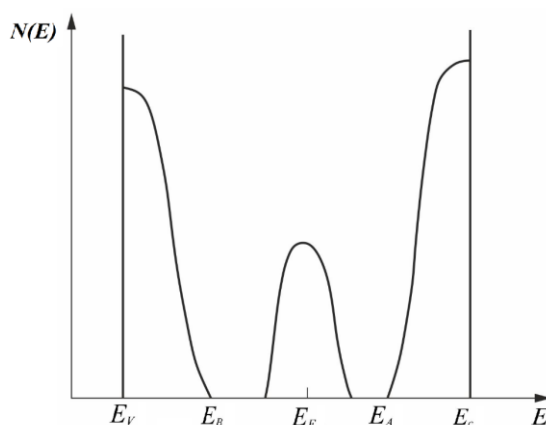
Ilmiy tadqiqot ishlariga tayangan holda Mott va Devis tartibsiz yarim o‘tkazgichlar uchun lokallashgan holatlar energetik taqsimot modelini ishlab chiqishdi (1.1-rasmga qarang).

Mott va Devisga ko‘ra, “dum”larda lokallashgan soha ancha kichik energetik soha bo‘yicha taqsimlangan bo‘lib, 0,1-0,2 eV atrofida yotadi. Bu sohani yuzaga kelishiga asosiy sabab strukturaning buzilishi bo‘lib, kristall panjara strukturasi buzilishi, tartibi ortishi bilan bu sohaning kengligi ortib boradi.

Fermi sathi esa, ta‘qiq sohaning o‘rtasiga yaqin atrofdagi tor energetik kenglikka mahkamlangan bo‘ladi. Bu holatlarni yuzaga kelishiga esa strukturadagi bog‘larning uzilishi, vakansiya va boshqalar sabab bo‘ladi.

Mott-Devis modeliga ko‘ra “dum”lardagi holatlar zichligi eksponensial taqsimotga ega; Fermi sathi atrofidagi holatlar zichligi esa Gauss taqsimotiga bo‘ysunadi.

Amorf yarim o‘tkazgichlarni ta‘qiq sohasida lokallashgan holatlarni mavjudligi tok tashuvchilarning harakatchanligining qiymatini kamayishiga olib keladi. Harakatchanlik elektronlar uchun  $10^{-4} \sim \text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  atrofida bo‘lsa, kovaklar uchun esa bir necha barobar kichik qiymatga ega bo‘lib, buning sababini o‘tkazuvchanlik va valent soha “dum”larining energetik kengligining turlichaligi bilan bog‘lanadi. Elektronlar va kovaklar lokallashgan holatlar bo‘ylab faqatgina tashqi ta‘sir (issiqlik, yorug‘lik) tufayligina ko‘chishi mumkin. SHuning ta‘sirida tok tashuvchi zaryadlarni lokallashmagan va lokallashgan holatlar bo‘yicha harakatchanligi nisbati  $>10^3$  marta farq qiladi.



**o‘yicha amorf yarim o‘tkazgichlarning ta‘qiqlangan sohasidagi holatlar zichligini taqsimoti.**

E

v

v

a



va bu oraliq amorf materiallarning, shu jumladan *a-Si:H* ning fotoelektrik xossasini aniqlasa, optik xossasini harakatchanlik tirqishidan 0,05-0,1 eV kichik bo‘lgan optik tirqish aniqlaydi.

*a-Si:H* pardalari yuqorida ta’kidlanganidek yarim o‘tkazuvchanlik xossasini namoyon qilib ta’qiqlangan soxasining optik kengligi 1,8 eV±0,1 atrofida bo‘ladi [20].

Barcha amorf yarim o‘tkazgichlar kabi *a-Si:H* da ham Fermi sathidan yuqoridagi lokallashgan holatlarning akseptorsimon, Fermi sathidan pastki energetik sathdagi holatlar donorsimon holatlar deb ataladi [3] (1.2-rasm).

Legirlash tufayli *a-Si:H* ga kiritilgan fosfor (R) elementining ortiqcha elektronini akseptorsimon sath qabul qilib, Fermi sathi yuqoriga siljiydi, akseptor sath hosil qiluvchi bor (V) element esa donorsimon holatlardagi elektronlarni qabul qilib, Fermi sathini pastga siljitishi mumkin [1,2,3].

SHunday o‘zgarish *a-Si:H* pardalarini elektrik va fotoelektrik parametrlarini katta oraliqda boshqarish imkonini beradi. *a-Si:H* ni ajobiy xossalridan biri yuqoridagidek o‘zgarishlarni legirlamasdan ham, faqat texnologik parametrlarni o‘zgartirish yo‘li bilan ham amalga oshirish mumkin bo‘lib, buni psevdolegirlash deyiladi [6].

Demak bundan ko‘rinadiki muqobil energiya manbalaridan unumli foydalanishda gidrogenizatsiyalangan ko‘p qatlamli yarim o‘tkazgichli quyosh panellarini tayyorlash orqali, dunyo aholisining energiya ehtiyojini qondirishdagi muammolarni eng maqbul yechimi bo‘lib hizmat qiladi.

#### Adabiyotlar.

- [1]. Amorfные полупроводники: Пер. с angl./ Pod. Red. M. Brodski. M.: Mir, 1982. 418 s. Muthmann S., Kohler F., Meier M., Hulsbeck M., Carius R., Gordijn A. Charge transport in microcrystalline silicon films // J. of Non-Cryst Solid. 2012. Vol. 358. P. 1970-1973.
- [2]. Wei Y., HaiRong Z., Yi Z., YuKai S., HaiJiang L., GuangSheng F. Photoresponse and carrier transport of protocrystalline silicon multilayer films // Chin. Sci. Bull. 2012. Vol. 57 (20). P. 2624-2630.
- [3]. Astakhov O., Carius R., Finger F., Petrusenko Y., Borysenko V., Barankov D. Relationship between defect density and charge carrier transport in amorphous and microcrystalline silicon // Phys. Rev. B. 2009. Vol. 79. P. 104205-1-104205-14.
- [4]. O.T. Ismanova Amorf kremniy asosli quyosh elementlarining fotogalvanik xarakteristikalarini haroratga bog‘lanishi. Dissertatsiyasi (PhD), t.2017, b. 118.
- [5]. YU. V. Kryuchenko, A. V. Sachenko, A. V. Бобыл, V. P. Malchukova, I. O. Sokolovskiy. Modelirovanie naturnyx xarakteristik vertikalnyx tandemnyx solnechnyx elementov *a-Si:H* / *μs-Si:H* . // Fizika i texnika poluprovodnikov. 2015. T. 49. V. 5. S. 697-714.
- [6]. Golikova O.A., Kazanin M.M., Kudoyarova V.X., Mezdrogina M.M., Sorokina K.L., Babaxodjaev U.S. Effekt psevdolegirovaniya amorfnoq kremniya.// FTP. 1989. T.23. V.10. s. 1737-1740.