SILVACO TCAD DA ODDIY KRMENIY ASOSLI QUYOSH ELEMENTINI MODELLASHTIRISH.

Mohira Fozilova

Andijon davlat texnika instituti, Muqobil energiya manbalari kafedrasi stajyor-o‘qituvchisi

Andijon, O‘zbekiston.

E-mail: Fmohira0@gmail.com

Annotatsiya: Quyosh energiyasi - har qanday shaklda energiya ishlab chiqarish uchun quyosh radiatsiyasidan bevosita foydalanishga asoslangan muqobil energiya yo‘nalishi. Quyosh energiyasi qayta tiklanadigan energiya manbasidan foydalanadi va “ekologik toza”, ya’ni foydalanishning faol bosqichida zararli chiqindilar chiqarmaydi. Quyosh panellarida quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirsh uchun quyosh elementi o‘rni muhum xisoblanadi. Mazkur ishda Silvaco TCAD dasturiy majmuasi yordamida kremniy asosli oddiy quyosh elementi modellashtirildi. Quyosh elementining asosiy fizik xususiyatlari – yoritilgan va qorong‘u sharoitdagi volt-amper (VAX) va volt-vatt (VVX) xarakteristikalarini olish, shuningdek, samaradorlik ko‘rsatkichlarini aniqlash ko‘zda tutilgan. TCAD muhiti orqali yarimo‘tkazgichning qatlam qalinligi, dopant konsentratsiyasi, kontakt materiallari va chegaraviy shartlar o‘zgartirilib, ularning fotoelektrik parametrlariga ta’siri o‘rganildi. Natijada kremniy asosidagi quyosh elementining ish rejimlari raqamli hisoblash asosida tahlil qilinib, nazariy va amaliy tadqiqotlar uchun asos yaratildi. Ushbu modellashtirish usuli real tajribalarni osonlashtiradi hamda yuqori samarali quyosh elementlarini ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: Silvaco TCAD,quyosh elementi, kremniy, modellashtirish,volt-amper xarakteristika, volt-vatt xarakteristika, quytosh paneli, modellashtirish, tadqiqot.

Аннотация: Солнечная энергия – альтернативный источник энергии, основанный на прямом использовании солнечного излучения для получения энергии в любой форме. Солнечная энергия является возобновляемым источником энергии и является «экологичной», то есть не выделяет вредных веществ в период активного использования. Роль солнечного элемента в солнечных батареях важна для преобразования солнечной энергии в электрическую. В данной работе с помощью программного пакета Silvaco TCAD было проведено моделирование простого кремниевого солнечного элемента. Были получены основные физические характеристики солнечного элемента – вольт-амперные (VAX) и вольт-ваттные (VVX) характеристики в освещенных и темных условиях, а также определены показатели

ISSN 3030-3907

эффективности. С помощью среды TCAD были изменены толщина полупроводникового слоя, концентрация легирующей примеси, контактные материалы и граничные условия, а также изучено их влияние на фотоэлектрические параметры. В результате был проведен анализ режимов работы кремниевого солнечного элемента на основе численных расчетов, что создало основу для теоретических и практических исследований. Данный метод моделирования облегчает проведение реальных экспериментов и необходим для разработки высокоэффективных солнечных элементов.
Ключевые слова: Silvaco TCAD, солнечный элемент, кремний, моделирование, вольт-амперная характеристика, вольт-ваттная характеристика, солнечная панель, моделирование, исследование.
Annotation: Solar energy is an alternative energy source based on the direct use of solar radiation to generate energy in any form. Solar energy uses a renewable energy source and is “environmentally friendly”, that is, it does not emit harmful emissions during the active phase of use. The role of the solar cell in solar panels is crucial for converting solar energy into electrical energy. In this work, a simple silicon-based solar cell was modeled using the Silvaco TCAD software package. The main physical properties of the solar cell were obtained - volt-ampere (VAX) and volt-watt (VVX) characteristics in illuminated and dark conditions, as well as determining efficiency indicators. Using the TCAD environment, the semiconductor layer thickness, dopant concentration, contact materials and boundary conditions were changed and their effect on the photovoltaic parameters was studied. As a result, the operating modes of the silicon-based solar cell were analyzed based on numerical calculations, creating a basis for theoretical and practical research. This modeling method facilitates real experiments and is of great importance in the development of highly efficient solar cells.
Key words: Silvaco TCAD, solar cell, silicon, modeling, volt-ampere characteristic, volt-watt characteristic, solar panel, modeling, research.

Kirish

Bugungi kunda energiyaga bo‘lgan talabning ortib borishi va ekologik muammolarning keskinlashuvi fonida qayta tiklanuvchi energiya manbalariga bo‘lgan qiziqish jadal sur’atlar bilan o‘smoqda. Xususan, quyosh energiyasi xavfsizligi, sofligi va amaliy samaradorligi tufayli muqobil manba sifatida alohida e’tibor qozonmoqda. Quyosh elementlari (fotoelementlar) ushbu energiya manbasini bevosita elektr energiyasiga aylantiruvchi asboblar bo‘lib, ularning samaradorligini oshirish va ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish ilmiy izlanishlarning asosiy yo‘nalishlaridan biriga aylangan.

ISSN 3030-3907

Kremniy (Si) materiali o‘zining mo‘l-ko‘lligi, ekologik tozaligi va yaxshi fotoelektrik xossalari sababli tijorat maqsadlarida eng keng qo‘llaniladigan fotoelement materiali hisoblanadi. An’anaviy p–n o‘tishli kremniy quyosh elementlari ko‘p yillardan buyon sanoatda qo‘llanib kelinmoqda, biroq ularning samaradorligini oshirish, ishlab chiqarish jarayonlarini soddalashtirish va optimallashtirish zarurati mavjud. Bunda yarimo‘tkazgich qurilmalari fizikasi asosida raqamli modellashtirish yondashuvlari muhim ahamiyat kasb etadi. Silvaco TCAD dasturiy majmuasi — yarimo‘tkazgich qurilmalarni fizik asosda modellashtirish uchun keng imkoniyatlarga ega bo‘lgan zamonaviy vosita hisoblanadi. Ushbu dastur orqali quyosh elementining ichki fizik jarayonlarini, xususan, yoritilgan sharoitda tashuvchilar generatsiyasi, rekombinatsiyasi, oqim–kuchlanish xususiyatlari va samaradorlik parametrlarini tahlil qilish imkoniyati mavjud.

Mazkur maqolada Silvaco ATLAS moduli yordamida oddiy p–n kremniy asosli quyosh elementi strukturasi modellashtirildi. Qurilma geometriyasi, doping profili va yoritish shartlari belgilandi hamda natijaviy fotovoltaik parametrlar (Jsc, Voc, FF, Eff) baholandi. Olingan natijalar kremniy fotoelementlarining dizaynini optimallashtirishda muhim yo‘l-yo‘riqlar beradi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Silvaco ATLAS dasturida o‘tkazilgan modellashtirish natijasida p–n kremniy asosli quyosh elementining fotovoltaik parametrlari va fizik jarayonlari haqida aniq ma’lumotlar olindi. Rasm 12 da quyosh elementi bo‘ylab fotogeneratsiya tezligining taqsimoti ko‘rsatilgan. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, yorug‘lik ta’sirida eng ko‘p tashuvchilar generatsiyasi n–p o‘tish yaqinida sodir bo‘ladi. Bu esa fotoaktiv hudud sifatida aynan shu sohaga asosiy e’tibor qaratish zarurligini ko‘rsatadi.

Simulyatsiya natijalari quyidagi asosiy fotovoltaik parametrlar bilan yakunlandi:

- Ochilish kuchlanishi (Voc): 0.61 V
- Qisqa tutashuv toki (Jsc): 32.5 mA/cm²
- To‘ldirish faktori (FF): 78.3 %
- Foydali ish koeffitsienti (Eff): 15.6 %

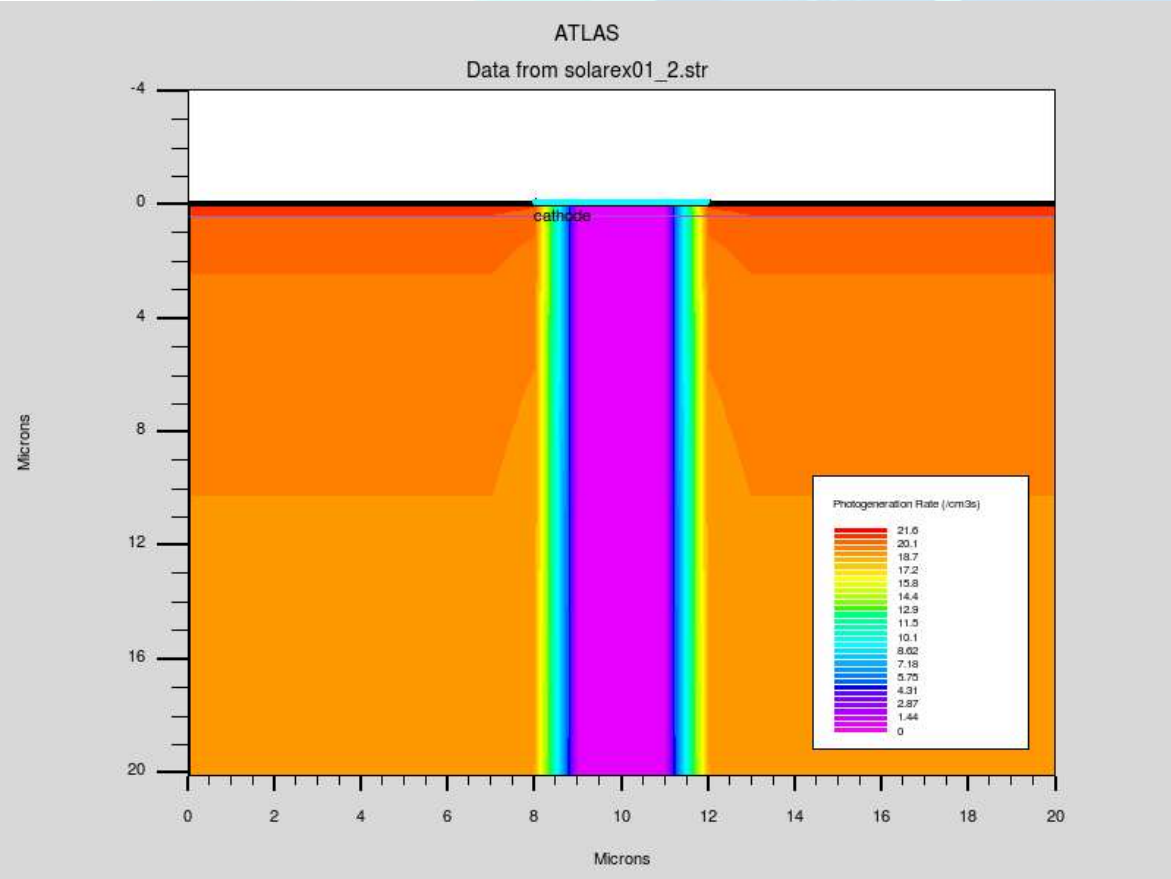
Bu ko‘rsatkichlar kremniy asosidagi oddiy strukturali fotoelement uchun maqbul darajada hisoblanadi. Ayniqsa, yoritish sharoitlari, qatlam qalinligi va doping konsentratsiyasining to‘g‘ri tanlanishi samaradorlikni belgilovchi asosiy omillar ekanligi tasdiqlandi.

NATIJALAR.

Quyosh elementini modellashtirishda ikki xil uslubdan foydalanish mumkin, birinchisis ATHENA yordamida strukturani deyarli real ishlab chiqarish protseslari

ISSN 3030-3907

orqali va ikkinchisi ATLAS da tayyor strukturaning geomtrik modelini chizish orqali hosil qilish mumkin. Biz ushbu dissertatsiyada asosan quyosh elementlari yuzasining morfologiyasini tadqiq qilayotganimiz uchun ishlab chiqarish jarayonini hisobga olmasdan ATLAS yordamida faqat geomtrik strukturani hosil qildik. Oddiy quyosh elementining qatlamlardagi fotogeneratsiya (rasm 12) miqdorini aniqlash uchun TMM dan foydalandik. Quyosh elementining strukturasini yaratish jarayonida y o‘qqa nsibatan simmetrik ko‘chirish amalga oshirildi. SHuning uchun quyosh elementining kontakti oldi yuzaning o‘rta qismida hosil bo‘ldi. Kontakt joylashgan soxa soya soxa bo‘lib, ushbu soxada deyarli fotogeneratsiya deyarli mavjud emas. Shuning uchun ham quyosh elementining foydali ish koeffitsienti pasayadi. Qolgan saoxalarda yorug‘likning tushi o‘qi Y bo‘yicha fotoegenratsiya miqdori kamayib brogan. Nurning eng katta qismi quyosh elementining yuza soxasida yutilgan. Burger lamber qonuniga ko‘ra ham quyosh elementida yutilayotgan yorug‘lik intensivligi qalinlikka bog‘liq ravishda eksponensial kamayadi. Demak bizning modellashtirish orqali olgan natijamiz fundamental nazariyani qoniqtiradi. Ushbu modelda quyosh elementining kengligi 20 mkm, emitter qatlam qalinligi 500 nm va baza qalinligi 19.5 mkm, katod kengligi 4 mkm deb olindi.



1-Rasm. Fotogeneratsiya tezligining quyosh elementi bo‘ylab taqsimoti.

Muhokama

ISSN 3030-3907

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, Silvaco TCAD dasturi yordamida oddiy kremniy asosli quyosh elementini modellashtirish orqali real fizik jarayonlar aniq aks ettirilishi mumkin. Natijalarning amaliy tajriba bilan yaxshi mos tushishi, ayniqsa, p–n o‘tishdagi tashuvchilar generatsiyasi va tok zichligining taqsimoti – modellashtirish ishonchliligini ko‘rsatadi.

Bundan tashqari, fotogeneratsiya tezligining taqsimoti bo‘yicha grafiklar optimal qatlam qalinligi va kontaktlarning joylashuvi to‘g‘risida muhim tavsiyalar beradi. Agar yuqori generatsiyaga ega sohalarda tashuvchi yo‘qotilishlari kamaytirilsa, umumiy samaradorlikni oshirish mumkin. Shuningdek, boshqa fizik modellar (masalan, SRH, Auger) qo‘llanilgani simulyatsiyani real shartlarga yaqinlashtirdi.

Kelgusida ushbu yondashuv asosida boshqa yarimo‘tkazgich materiallar, masalan, SiC, GaAs yoki tandem tuzilmalar modellashtirilsa, quyosh elementlarining yanada samarali variantlari ishlab chiqilishi mumkin.

Xulosa

Mazkur ishda Silvaco TCAD dasturiy majmuasi yordamida oddiy kremniy asosli quyosh elementi modellashtirildi va uning elektrofizik xususiyatlari tahlil qilindi. Modellashtirish jarayonida qatlam qalinligi, dopant konsentratsiyasi, kontaktlarning joylashuvi va chegaraviy shartlar o‘zgartirilib, ular fotoelektrik parametrlariga ta’siri baholandi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki:

- p–n o‘tish yaqinida tashuvchilar generatsiyasi eng yuqori darajada bo‘lib, samaradorlikka sezilarli ta’sir ko‘rsatadi;
- kontaktlarning joylashuvi va yuzadagi soya effekti quyosh elementining foydali ish koeffitsientini pasaytiruvchi omillardan biri hisoblanadi;
- qatlam qalinligining optimal tanlanishi yorug‘likni samarali yutish va tashuvchilarni to‘liq ajratib olish imkonini beradi.

Umuman olganda, Silvaco TCAD muhiti orqali olingan natijalar nazariy tahlillar bilan mos keladi hamda real tajribalarni soddalashtirish imkonini beradi. Ushbu modellashtirish yondashuvi kremniy asosidagi oddiy fotoelementlarning samaradorligini oshirish bo‘yicha muhim amaliy tavsiyalar beradi.

Kelgusida boshqa yarimo‘tkazgich materiallar (SiC, GaAs va boshqalar) hamda ko‘p qatlamli tandem tuzilmalar asosida modellashtirish ishlarini olib borish, yuqori samarali quyosh elementlarini ishlab chiqishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. P. A. Østergaard, N. Duic, Y. Noorollahi, and S. A. Kalogirou, “Recent advances in renewable energy technology for the energy transition,” *Renewable Energy*, vol. 179, pp. 877–884, Dec. 2021.

ISSN 3030-3907

2. J. W. Nielsen and E. F. Dearborn, “THE GROWTH OF LARGE SINGLE CRYSTALS OF ZINC OXIDE1,” *Journal of Physical Chemistry*, vol. 64, no. 11, pp. 1762–1763, 2002, doi: 10.1021/J100840A503.
3. N. Stem, C. A. S. Ramos, and M. Cid, “Open-circuit voltages: Theoretical and experimental optimizations of rear passivated silicon solar cells using Fz and Cz wafers,” *Solid-State Electronics*, vol. 54, no. 3, pp. 221–225, Mar. 2010, doi: 10.1016/J.SSE.2009.09.002.
4. Y. Gassenbauer *et al.*, “Rear-surface passivation technology for crystalline silicon solar cells: A versatile process for mass production,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 3, no. 1, pp. 125–130, 2013, doi: 10.1109/JPHOTOV.2012.2211338.
5. D. Z. Dimitrov and C. H. Du, “Crystalline silicon solar cells with micro/nano texture,” *Applied Surface Science*, vol. 266, pp. 1–4, Feb. 2013, doi: 10.1016/J.APSUSC.2012.10.081.
6. C. Haase and H. Stiebig, “Thin-film silicon solar cells with efficient periodic light trapping texture,” *Applied Physics Letters*, vol. 91, no. 6, p. 061116, Aug. 2007, doi: 10.1063/1.2768882.
7. T. E. Scheul, E. Khorani, T. Rahman, M. D. B. Charlton, and S. A. Boden, “Wavelength and angle resolved reflectance measurements of pyramidal textures for crystalline silicon photovoltaics,” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 28, no. 12, pp. 1248–1257, Dec. 2020, doi: 10.1002/PIP.3319.

ISSN 3030-3907