FDTD VA RAY TRACING METODI YORDAMIDA TEKSTURALANGAN KREMNIY ASOSLI QUYOSH ELEMENTLARINI MODELLASHTIRISH

Mohira Fozilova
Andijon davlat texnika instituti, stajyor-o‘qituvchi
Andijon, O’zbekiston.
E-mail:Fmohira0@gmail.com

Annotatsiya: Quyosh elementlarini mdoellashtirishning juda ko’plab metodlari mavjud ular ichida eng afzallari bu TMM, RAY TRACING va FDTD metodlaridir Mazkur maqolada quyosh elementlarini modellashtirishdaqo‘llaniladigan FDTD (Finite-Difference Time-Domain) va Ray Tracing metodlari tahlil qilinadi. FDTD metodi elektromagnit to‘lqinlarning vaqt bo‘yicha tarqalishini Maksvell tenglamalari asosida raqamli hisoblash orqali modellashtiradi, Ray Tracing esa yorug‘lik nurlarining geometrik tarqalishini kuzatishga asoslanadi. Tadqiqot davomida teksturalangan kremniy yuzasida yorug‘likning tarqalishiga ta’siri, yutilish darajasi va elektr xarakteristikalarga ta’siri o‘rganildi. Olingan natijalarga ko‘ra, FDTD metodida tok kuchi yuqoriroq bo‘lib, modellashtirish aniqligi yuqoriligi bilan ajralib turadi. Ray Tracing esa soddaligi va hisoblash tezligi bilan ustunlik qiladi. Har ikki metodning xatolik darajalari, resurs talabi va qo‘llanish imkoniyatlari solishtirildi. Maqola yakunida metodlar samaradorligi tahlil qilinib, ularni real qurilma dizaynida qo‘llash bo‘yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so’zlar: RAY TRACING, FDTD (Finite-Difference Time-Domain), quyosh elementlari, modellashtirish, kremniy, optik xususiyat, teksturalangan sirt, fotoelektrik samaradorlik.

Аннотация: существует множество методов мдоэлементизации солнечных элементов наиболее предпочтительными из них являются методы TMM, Ray TRACING и fdtd.в этой статье будут проанализированы методы FDTD (Finite-difference Time-Domain) и Ray Tracing, используемые при моделировании солнечных элементов. Метод FDTD моделирует распространение электромагнитных волн во времени с помощью численных вычислений на основе уравнений Максвелла, в то время как трассировка лучей основана на наблюдении геометрического распространения световых лучей. В ходе исследования изучалось влияние на рассеяние света, степень поглощения и электрические характеристики на текстурированной поверхности кремния. Согласно полученным результатам, в методе FDTD сила тока выше, а точность моделирования выше. С другой стороны, трассировка лучей превосходит ее по простоте и скорости вычислений. Сравнивались частоты ошибок, ресурсоемкость и применимость обоих методов. В конце статьи

ISSN 3030-3907

анализируется эффективность методов и даются рекомендации по их применению в реальной конструкции устройства.

Ключевые слова: трассировка лучей, fdtd (Finite-difference Time-Domain), солнечные элементы, моделирование, кремний, оптические свойства, текстурированная поверхность, фотоэлектрическая эффективность.

Annotation: There are many methods for modeling solar cells, the most preferred of which are TMM, RAY TRACING and FDTD methods. This article analyzes the FDTD (Finite-Difference Time-Domain) and Ray Tracing methods used in modeling solar cells. The FDTD method models the propagation of electromagnetic waves over time by numerical calculation based on Maxwell's equations, while Ray Tracing is based on observing the geometric propagation of light rays. During the study, the effect of light propagation on the textured silicon surface, its absorption rate and electrical characteristics were studied. According to the results obtained, the FDTD method has a higher current strength and is characterized by high modeling accuracy. Ray Tracing, on the other hand, is superior in simplicity and calculation speed. The error rates, resource requirements and application possibilities of both methods were compared. At the end of the article, the effectiveness of the methods is analyzed and recommendations are given for their application in real device design.

Key words: RAY TRACING, FDTD (Finite-Difference Time-Domain), solar cells, modeling, silicon, optical properties, textured surface, photoelectric efficiency.

Kirish

Quyosh energiyasidan samarali foydalanish global energetic xavsizlik va barqaror rivojlanish uchun muhim omillardan biridir. Fotoelektrik quyosh elementlari ushbu energiyani to’g’ridan to’g’ri elektr energiyasiga aylantiradi. Quyosh elementining ichki tuzulmsi va material xossalarini chuqur o’rganish uchun turli fizikaviy modelashtirish usullari qo’llaniladi. Ushbu maqolada eng ko’p tarqalgan ikki usul- FDTD va RAY TRACING- metodlari tahlil qilinadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

FDTD (Finite-Difference Time-Domain) metodi bu elektromagnit to‘lqinlarning vaqt bo‘yicha tarqalishini modellashtirish uchun foydalaniladigan raqamli usul. Bu metod Maksvell tenglamalarini diskretlashtirish orqali echim topadi.

Quyosh elementida qo‘llanilishi: Nur (yorug‘lik) va fotoelement materiallari orasidagi elektromagnit o‘zaro ta’sirni tahlil qilish. Mikroskopik strukturalar orqali yorug‘likning tarqalishini modellashtirish. Absorbsiyani, qaytishni va interferensiyani aniqlash.

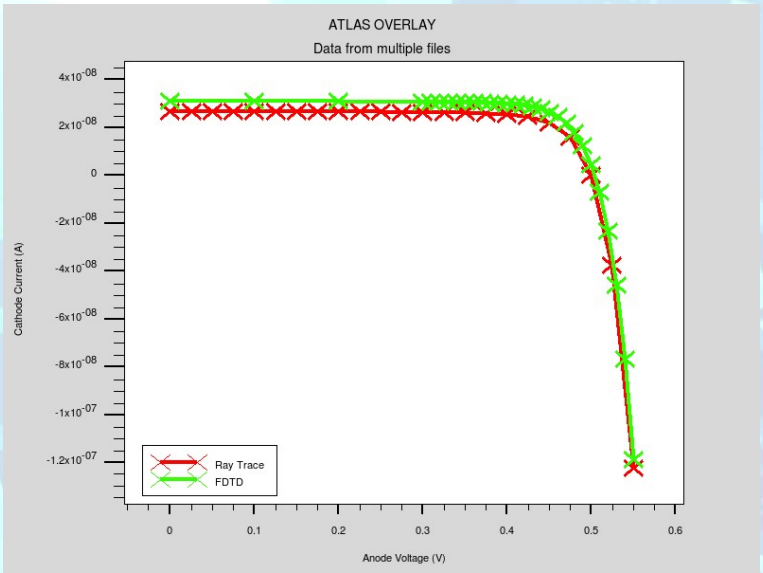
ISSN 3030-3907

Ray Tracing metodi — bu geometrik optikaga asoslangan usul bo‘lib, yorug‘lik nurlarining manbadan materiallarga qanday tarqalishini modellashtiradi. Har bir nur optik qonunlarga muvofiq izlanadi.

Quyosh elementida qo‘llanilishi: Optik tizimlar dizaynida, Quyosh nurlarining element sirtiga tushishi va yutilishini aniqlash, Quyosh elementining tashqi shakli va geometriyasining samaradorlikka ta’sirini baholash.

NATIJALAR.

1- Rasm da nodavriy teksturalangan quyosh elementining RAY TRACING va FDTD metodlari yordamida modellashtirilgan volt-amper xarakteristikalari tasvirlangan. FDTD metodi va RAY TRACING metodlari yordamida olingan natijalarga ko’ra, FDTD metodida tok kuchi yuqoriroq bo’ldi. Ray tracing yuqori chastotali yaqinlashish bo’lib nurlarni maxsus soxalarda tarqalishini modellashtirish uchun ishlatiladi. Yuqori chastotali yaqinlashishda individual sochuvchi elementlarning jism yoki jismlar to’plamiga ta’siri mustaqil hisoblanadi. Ammo, sochuvchi o’lchami nurning to’lqin uzunligi bilan solishtirarlik bo’lsa, ba’zi yaqinlashishlar va shartlar yuqori chastotali yaqinalshishda yaroqsiz bo’lib qoladi. SHuning uchun Ray Tracing metodi yordamida olingan natijalar FDTD metodi yordamida olingan natijalarda pastroq chiqdi.



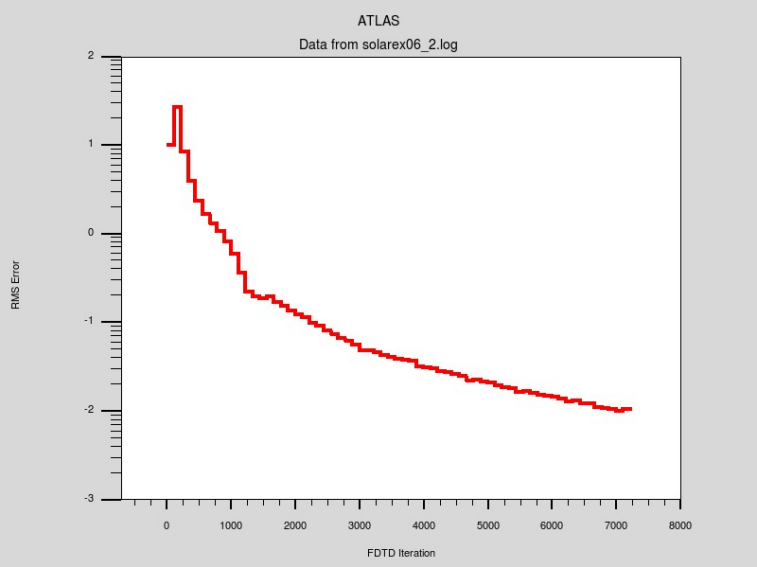
1-Rasm . Ray Tracing va FDTD metodlari yordamida modellashtirilgan quyosh elementlarining volt-amper xarakteristikalari.

MUHOKAMA

Modellashtirishda olinayotgan natijalarni reallikga yaqinligi eng muhim faktorlardan biridir. Analitik uslubdan foydalanib modellashtirilganda olinayotgan natijalar empiric yoki analitik funksiyani tajriba natijalari bilan farqining moduli orqali aniqlanadi. Sonli metodlarda esa statsitik tahlil qilish orqali aniqlanadi. Bunda nisbiy xatolik hisoblash siklalri soniga kuchli bog’langan bo’ladi. Rasm 2 da FDTD metodning nisbiy xatoligini darajasini siklar soniga bog’liqligi

ISSN 3030-3907

tasvirlangan. Siklar soni ortgan sari nisbiy xatoliking darajasi eksponensial kamayishi ma’lum bo’ldi. Shuning uchun, nazariy tadqiqotchilar oldida doim ikkita muammo mavjud bo’ladi bular xatolikni kamaytirish va hisobalsh tezligini orttirish. Hisoblash effektivligi deganda hisobalsh tezligi va aniqligining ko’paytimasi nazarda tutiladi. Chunki, modellashtirish orqali olinayotgan natija reallikni qoniqturivchi aniqlikkacha hisoblash kifoya chunki real qiymatga etish va xatolikni nolga tenglash uchun cheksiz siklni amalga oshirish zarur.



2- Rasm . FDTD metodining nisbiy xatoligini iteratsiyalar soniga bog’liqligi

Xulosa

Ushbu maqolada FDTD va Ray Tracing metodlari asosida teksturalangan kremniy quyosh elementlarining optik xususiyatlari modellashtirildi va ularning samaradorligi solishtirildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, FDTD metodi yorug‘likning to‘lqin xossalarini inobatga olgan holda yuqori aniqlikdagi natijalarni taqdim etadi, ayniqsa mikroskopik o‘lchamdagi strukturalarda. Ray Tracing metodi esa geometrik optikaga asoslanganligi sababli oddiyroq va tezroq hisoblash imkonini bersa-da, to‘lqin uzunligi o‘lchamiga yaqin bo‘lgan strukturalarda kamroq aniqlik beradi. Shuningdek, FDTD metodida hisoblash sikllari sonining ortishi bilan modellashtirish aniqligining sezilarli darajada oshishi kuzatildi. Bu esa ushbu metodni chuqur fizikaviy tahlillar uchun qulay vosita sifatida tavsiya etishga asos bo‘ladi. Kelgusidagi tadqiqotlarda ushbu metodlarni boshqa materiallar va murakkab teksturalar uchun qo‘llash orqali yanada to‘liq tahlil qilish maqsadga muvofiqdir.

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