

PVLIGHTHOUSE da turli teksturalarning kremniy asosli quyosh elementining optik xususiyatlarig ta'sirini modellashtirish

A.A.Mirzaalimov, N.A.Mirzaalimov

Andijon davlat universiteti, Andijon 170100, O'zbekiston

E-mail: mirzaalimov90@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada kremniy asosli quyosh elementining optik xususiyatlarini ularning yuzasida hosil qilingan to'g'ri va to'ng'rilangan piramidal teksturalarning asosidagi burchagiga bog'liqligini PVLIGHTHOUSE onlayn platformasida modellashtirish orqali olingan natijalar tahlili keltirilgan. Olingan natijalarga ko'ra to'g'ri piramidal teksturaning asosidagi burchagi 73.12^0 bo'lganda kremniy asosli quyosh elementi maksimal yutulish koeffitsientiga erishishi aniqlandi.

Kalit so'zlar: tekstura, quyosh elementi, kremniy, piramida, yutulish koeffitsienti.

Моделирование влияния различных текстур на оптические свойства солнечного элемента на основе кремния в PVLIGHT HOUSE

Мирзаалимов А.А., Мирзаалимов Н.А.

Андижанский государственный университет, Андижан 170100, Узбекистан

E-mail: mirzaalimov90@mail.ru

Абстракт. В данной статье представлен анализ результатов, полученных при моделировании оптических свойств солнечных элементов на основе кремния на основе угла прямых и перевернутых пирамидальных текстур, сформированных на их поверхности на онлайн-платформе PVLIGHTHOUSE. По полученным результатам определено, что солнечный элемент на основе кремния достигает максимального коэффициента поглощения, когда угол основания правой пирамидальной текстуры составляет $73,12^0$.

Ключевые слова: текстура, солнечный элемент, кремний, пирамида, коэффициент поглощения.

Modeling the effect of different textures on the optical properties of a silicon-based solar cell in PVLIGHT HOUSE

A.A. Mirzaalimov, N.A. Mirzaalimov

Abstract. *This article presents the analysis of the results obtained by modeling the optical properties of silicon-based solar cells on the basis angle of the straight and inverted pyramidal textures formed on their surface on the PV LIGHT HOUSE online platform. According to the obtained results, it was determined that the silicon-based solar cell reaches the maximum absorption coefficient when the base angle of the right pyramidal texture is 73.12° .*

Key words: *texture, solar cell, silicon, pyramid, absorption coefficient.*

Bugungi kunda yuqori foydali ish ko'effitsientiga ega va tannarxi arzon quyosh elementlarini ishlab chiqarish uchun kremniy asosli quyosh elementlarini samaradorligini oshirishga bundan tashqari hozirgi kunda mavjud ushbu soxada ilmiy izlanishlar olib borayotgan quyosh elementlarini modellashtirish uchun mo'ljallangan dasturlar va platformalardan foydalanish metodikasini ishlab chiqishga yo'naltirilgan aniq maqsadli, turli ilmiy tadqiqotlarni, xususan quydagi ilmiy izlanishlarni amalga oshirish muhim vazifalardan hisobalanadi: turli mono-, poli- va multikristall kremniyning xususiyatlarini va ularga temperatura kirishma konsentratsiyasini ta'sirni tadqiq qilish, quyosh elementlarini tadqiq qilishda keng foydalaniladigan dastur va platformalardan foydalanish metodikasini ishlab chiqish, modellashtirish uslublaridan foydalanib yuqori foydali ish ko'effitsientiga ega va stabil kremniy asosli quyosh elementlarini ishlab chiqish va ilmiy izlanishlarda foydalanish uchun tadbiriq qilish.

O'zbekistonda "Qayta tiklanuvchi energiya manbalari"dan elektr energiyasini ishlab chiqarishda keng foydalanishga katta e'tibor qaratilmoqda. Bundan tashqari har bir sohada kompyuter texnologiyalaridan foydalanish va ilmiy izlanishlarda IT salmog'ini oshirish muhim vazifaga aylandi.

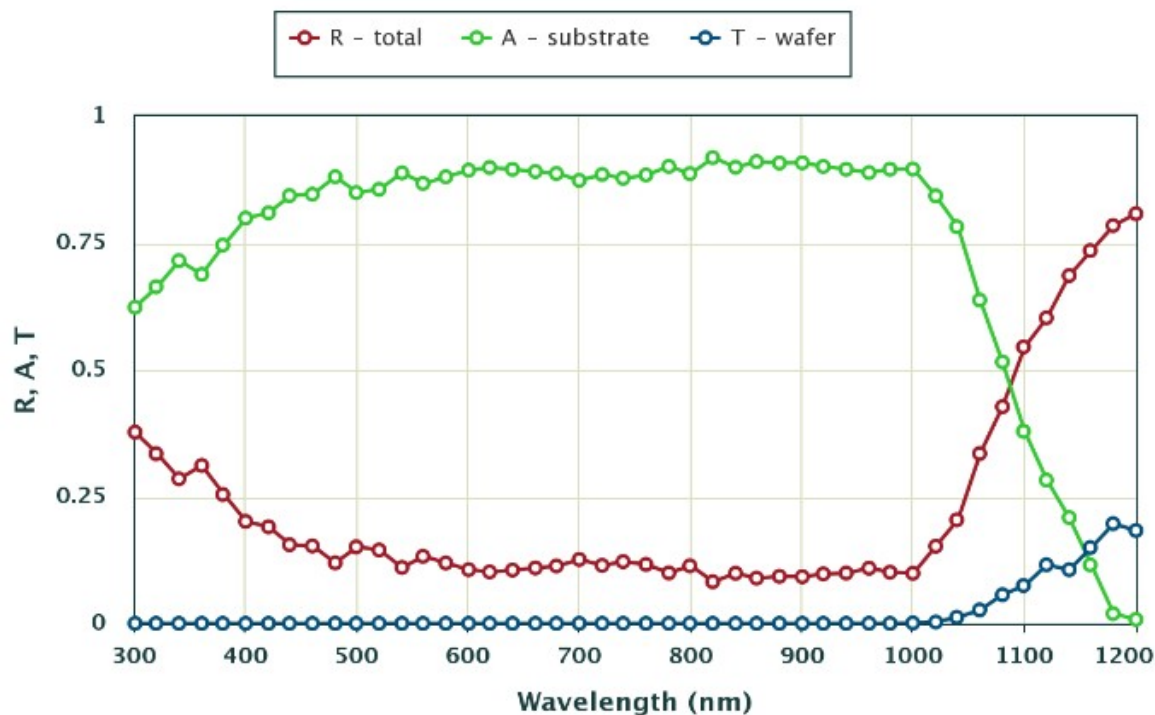
O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 26-maydagi PQ-3012 sonli "2017 — 2021-yillarda qayta tiklanuvchi energetikani yanada rivojlantirish, iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohada energiya samaradorligini oshirish chora-tadbirlari dasturi to'g'risida" qaroriga va 2020-yil 6-oktabrdagi PQ-4851 sonli

“Axborot texnologiyalari sohasida ta’lim tizimini yanada takomillashtirish, ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish va ularni IT-industriya bilan integratsiya qilish chora-tadbirlari to’g’risida” qaroriga ko’ra hamda mazkur faoliyatga tegishli meyoriy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu tadqiqot ishi ma’lum darajada xizmat qiladi.

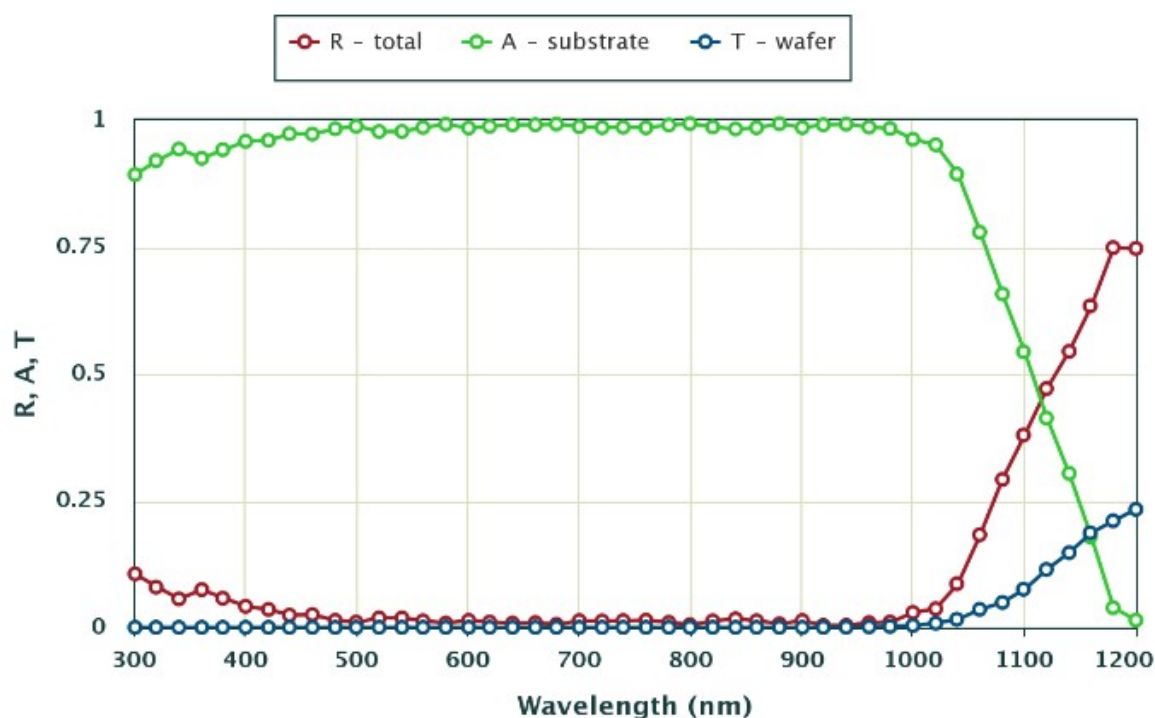
Shunday qilib, kremniy va kremniy asosli quyosh elementlarining xususiyatlarini modellashtirish orqali o’rganish va yangi turdagi yuqori samarador kremniy asosli quyosh elementlarini loyihalash dolzarb va istiqbolidir.

Quyosh elementlarini yuzasiga tushayotgan yorug’lik nurini qaytib ketishini kamaytrish uchun uning yuzasida turli teksturalar ham hosil qilinadi [1] [2]. Bundan ikki xil maqsab bor. Birinchisi, yorug’lik tushayotgan yuzani orttirish ikkinchisi ikki tekstura orasida ko’proq sinishlarni yuzaga keltirib yutulishni oshirish [3] va qaytish koefitsientini [4] kamaytirishdir. Quyosh elementlarini ishlab chiqarishda asosan orientatsiyasi (111) bo’lgan kremniydan foydalaniladi [5]. Ushbu kremniyni yuzasini ishqorlar bilan kimyoviy ishlov berilsa, yuzada asosidagi burchagi 54.7° bo’lgan to’g’ri piramidal teksturalar hosil bo’ladi [6]–[8]. Ushbu bobda, “*Wafer Ray Tracer*” yordamida asosidagi burchagi turlicha bo’lgan to’g’ri piramidal teksturalar bilan qoplangan kremniy asosli quyosh elementining optik xususiyatlari o’rganildi. Sof optika nazariyasiga tayangan holda hisoblanganda kremniy asosli quyosh elementining yuzasi asosidagi burchagi 73.12° bo’lgan to’g’ri piramidal teksturalar bilan qoplanganda uning yutulish koefitsienti maksimal bo’lishi aniqlangan [9]. Lekin, *TCAD* dasturlaridan foydalanim teksturalangan kremniy asosli quyosh elementi kompleks o’rganilganda asosidagi burchagi 72.04° bo’lgan teksturalar bilan qoplanganda yutulish koefitsienti maksimal qiymatga erishishi aniqlangan [10]. 1-rasmda asosidagi burchagi 54.7° (a) va 73.12° (b) bo’lgan to’g’ri piramidalar bilan qoplangan kremniy asosli quyosh elementining optik xususiyatlarini yorug’lik to’lqin uzunligiga bog’liqligi tasvirlangan. Piramidal teksturaning asosidagi burchagi ortganda quyosh elementining yutulish koefitsienti ortib, qaytish

koeffitsienti kamayadi. Piramidaning asosidagi burchagi 73.12° bo'lganda to'lqin uzunligining 500-1000 nm oralig'ida yutulish koeffitsienti 100% ga yaqinlashgan.



(a)



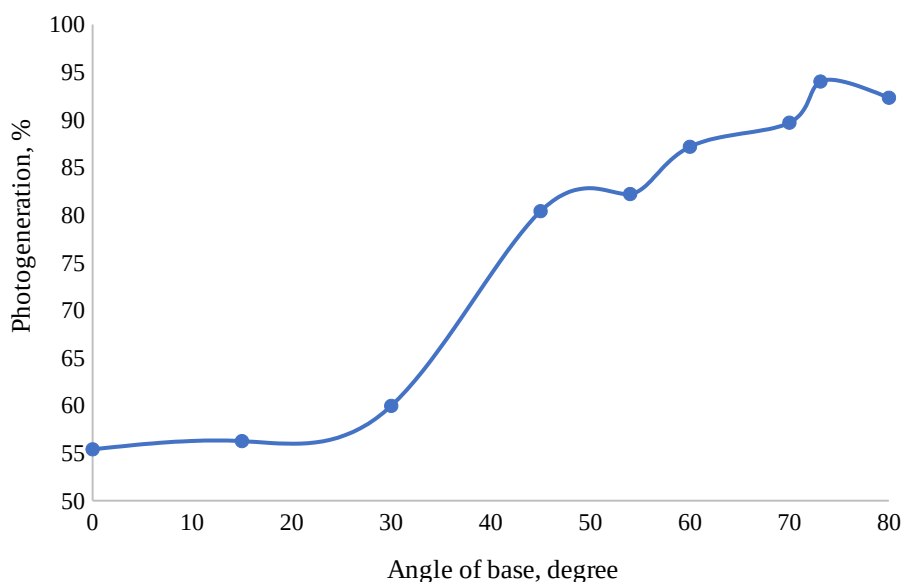
(b)

Rasm 1. Asosidagi burchagi 54.7° (a) va 73.12° (b) bo'lgan to'g'ri piramidalar bilan qoplangan kremniy asosli quyosh elementining optik xususiyatlarini yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqligi

Yuqorida optika qonunlariga va *TCAD* modellashirishdan foydalanib quyosh elementining effektivligini quyosh elementini yuzasida hosil qilinayotgan to'g'ri piramidal teksturalarning asosidagi burchagiga bog'liqligi tadqiq qilinganda burchakning optimal qiymati turlicha bo'ldi. Bunga sabab, optika qonunlariga tayanib effektivlik hisoblanganda yuza rekombinatsiyasi hisobga olinmaydi. *TCAD* da modellashirilganda esa optik parametrlarga qo'shimcha ravishda yuza rekombinatsiyasi ham hisobga olinadi. Piramidal teksturaning asosidagi burchagiga ortganda yorug'lik tushadigan aktiv yuza ham ortadi. Demak, aktiv yuzaning ortishi yuza rekombinatsiyasini ortishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun, optika qonunlariga tayanib hisoblangan qiymatdan *TCAD* da hisoblangan burchakning qiymati 1.08° ga kam bo'lgan.

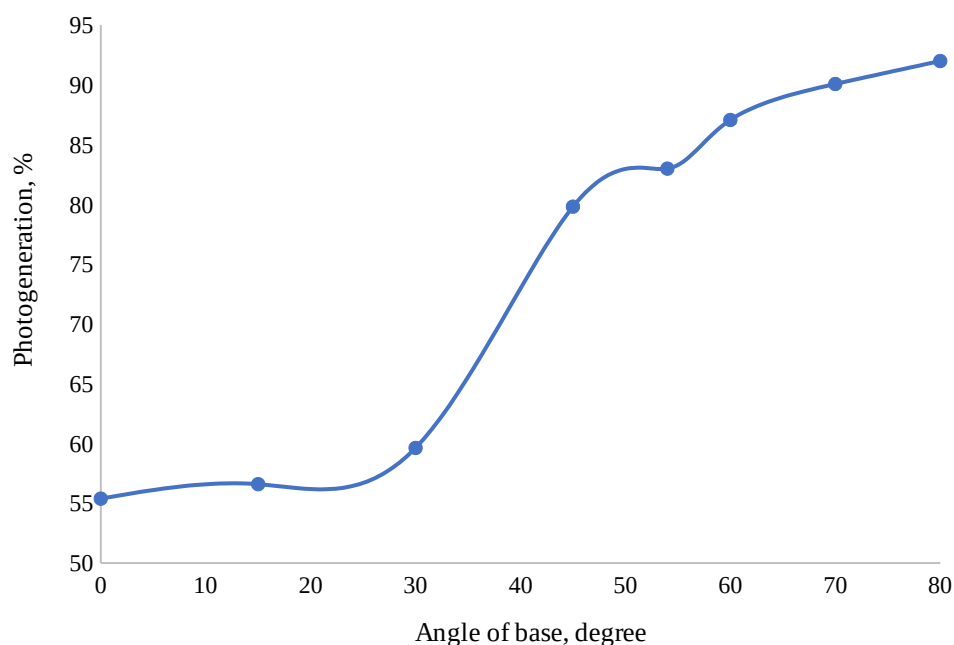
Quyosh elementining yuzasida hosil qilinayotgan teksturalar asosan ikki turga to'g'ri piramidal va to'ng'irilgan piramidal teksturalarga bo'linadi. 2-rasmda monokristall kremniy asosli quyosh elementining fotogeneratsiya koeffitsientini yuzasida hosil qilingan to'g'ri piramidal teksturaning asosidagi burchagiga bog'liqligi tasvirlangan. To'g'ri piramida asosidagi burchak 0° dan 30° gacha ortganda fotogeneratsiya koeffitsienti juda oz 4% ga ortgan. Bunga sababikki piramida orasiga tushayotgan nur huddi planar yuzaga tushayotgani kabi bir marotaba sinib qaytib ketadi. Bu yerda fotogeneratsiya koeffitsientini ortishiga faqat aktiv yoritiladigan yuzani ortgani sabab bo'lmoqda. Piramida asosidagi burchagi 30° dan 45° gacha ortganda nur endi bir marta emas ikki marta sina boshlaydi. Shuning uchun fotogeneratsiya koeffitsienti keskin 20% ga ortgan. 45° dan 54° oralig'ida nur ikki piramida orasida ikki marta, 55° dan 63° gacha oralig'da 3 marta va 70° dan yuqori burchaklarda 4 marta sinadi. Yorug'lik asosidagi burchagi 70° dan 80° gacha bo'lgan piramidalar orasiga tushganda 4 marta sinadi. Tasavvur qilaylik, fotogeneratsiya koeffitsienti piramida asosidagi burchagining funksiyasi bo'lsin. Demak ushbu funksiya egri chiziqlarda iborat. Shuning uchun uning ekstremum nuqtalari mavjud bo'lishi shart. Ushbu g'oyaga tayangan holda nazariy tadqiqot olib borilganda kremniy asosli quyosh elementining yuzasida hosil qilinayotgan to'g'ri piramidal teksturaning asosidagi burchagi 73.12° bo'lganda

maksimal yutulish ko'effitsientiga erishishi aniqlangan. Shuningdek, «PVLIGHTHOUSE» ning “Wafer Ray Tracer” modulidan foydalanib asosidagi burchagi turlicha bo'lgan to'g'ri piramidal teksturalangan kremniy asosli quyosh elementi modellashtirilganda ham piramida asosidagi burchagi 73.12° bo'lganda maksimal fotogeneratsiya ko'effitsientiga erishishi aniqlandi.



Rasm 2. Monokristall kremniy asosli quyosh elementining fotogeneratsiya ko'effitsientini yuzasida hosil qilingan **to'g'ri** piramidal teksturaning asosidagi burchagiga bog'liqligi

To'g'ri piramidadan farqli ravishda to'nkarilgan piramidalarni hosil qilsih ham ommalashib bormoqda. To'nkarilgan priamidalar H_2O_2 , NH_4HF_2 va polivinilpirollidon yordamida hosil qilinadi. To'nkarilgan piramidalar yupqa qatlamli kremniy asosli quyosh elementlari uchun yaxshi nur qaytarishga qarshi vosita hisoblanadi. Rasm 3 da monokristall kremniy asosli quyosh elementining fotogeneratsiya ko'effitsientini yuzasida hosil qilingan **to'nkarilgan** piramidal teksturaning asosidagi burchagiga bog'liqligi tasvirlangan. To'nkarilgan piramida asosidagi burchagi 0° dan 45° gacah o'zgarganda fotogeneratsiya ko'effitsientini o'zagarishi deyarli to'g'ri piramidal tekstura bilan qoplangan quyosh elementiniki kabi, faqat $45^\circ - 80^\circ$ oralig'da farqlar mavjud.



Rasm 3. Monokristall kremniy asosli quyosh elementining fotogeneratsiya koeffitsientini yuzasida hosil qilingan **to'nkarilgan** piramidal teksturaninig asosidagi burchagiga bog'liqligi

Yuqorida to'g'ri va to'nkarilgan piramidal tekstura bilan qoplangan kremniy asosli quyosh elementining fotogeneratsiya koeffitsientini piramida asosidagi burchakka bog'liqligi tahlil qilindi. 1-jadvalda esa yuzasida asosidagi burchagi turlicha bo'lgan to'g'ri va to'nkarilgan piramidal teksturalar hosil qilingan kremniy asosli quyosh elementining fotogeneratsiya koeffitsientlari keltirilgan.

1-jadval

Kremniy asosli quyosh elementini yutulish koeffitsientini yuzasida hosil qilinayotgan piramidal teksturalarning asosidagi burchakka bog'liqligi

Nomi	0	15	30	45	54	60	70	80
To'g'ri piramida	55.39	56.25	59.95	80.39	82.19	87.15	89.68	92.3
To'nkarilgan piramida	55.39	56.60	59.63	79.81	82.99	87.06	90.07	91.99

Piramidalar asosidagi burchagi 54° va 70° dan tashqari barcha burchaklarda to'g'ri piramidal teksturalangan quyosh elementining fotogeneratsiya koeffitsienti yuqori bo'lgan. Yuqorida aytilganidk, asosan tajribada kremniy asosli quyosh elementining yuzasida kimyoviy yedirish orqali asosidagi burchagi 54.7° bo'lgan piramidalar hosil qilish mumkin. Shuning uchun tajribada asosan to'nkarilgan

piramidal teksturalangan kremniy asosli quyosh elementining foydali ish koeffitsienti yuqori bo'ladi.

Xulosa. Quyosh elementlarini optik xususiyatlarini aniqlash uchun *PVLIGHTHOUSE* ning *Wafer Ray Tracer* moduli o'zlashtirildi va kremniy asosli quyosh elementining qalinligi ortganda yaqin infraqizil sohadagi nurlarni yutish koeffitsienti ham ortishi va yupqa kremniy asosli quyosh elementlarida asosan qisqa to'lqin uzunlikdagi yorug'lik nuri yutulishi aniqlandi. Kremniy asosli quyosh elementlari maksimal yorug'likni yutish uchun ularning yuzasiga nur qaytaruvchi qatlam sifatida qoplanadigan SiO_2 , SiN_x , TiO_2 va Al_2O_3 materiallarning optimal qalinliklari 100 nm, 75 nm, 70 nm va 110 nm ekanligi hamda kremniy asosli quyosh elementi uchun eng effektiv nur qaytarishga qarshi qatlama TiO_2 ekanligi aniqlandi. Nazariy tahlillarga ko'ra nur qaytarishga qarshi qatlamning optimal qalinligi uning nur sindirish ko'rsatkichiga teskari proportsionalligi aniqlandi. Kremniy asosli quyosh elementining yuzasida hosil qilinayotgan to'g'ri piramidal teksturaning asosidagi 73.12° ga teng bo'lganda quyosh elementi maksimal yorug'lik yutish koeffitsientiga erishishi aniqlandi. Kremniy asosli quyosh elementining fotogeneratsiya koeffitsienti to'g'ri va to'ng'ir piramidal teksturaning asosidagi burchaklar bog'liqligi deyarli bir xil ekanligi aniqlandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] V. v. Iyengar, B. K. Nayak, and M. C. Gupta, "Optical properties of silicon light trapping structures for photovoltaics," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 94, no. 12, pp. 2251–2257, Dec. 2010.
- [2] 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.
- [3] R. Saive, "Light trapping in thin silicon solar cells: A review on fundamentals and technologies," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 29, no. 10, pp. 1125–1137, Oct. 2021.
- [4] J. Gulomov and R. Aliev, "Influence of the Angle of Incident Light on the Performance of Textured Silicon Solar Cells," *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 13, no. 6, pp. 06036-1-06036–5, 2021.
- [5] R. E. Oosterbroek *et al.*, "Etching methodologies in $\langle 111 \rangle$ -oriented silicon wafers," *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 390–398, Sep. 2000.
- [6] M. Abbott and J. Cotter, "Optical and electrical properties of laser texturing for high-efficiency solar cells," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 14, no. 3, pp. 225–235, 2006.

- [7] Y. T. Cheng *et al.*, “Efficiency improved by acid texturization for multi-crystalline silicon solar cells,” *Solar Energy*, vol. 85, no. 1, pp. 87–94, Jan. 2011.
- [8] K. Kim, S. K. Dhungel, S. Jung, D. Mangalaraj, and J. Yi, “Texturing of large area multi-crystalline silicon wafers through different chemical approaches for solar cell fabrication,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 92, no. 8, pp. 960–968, Aug. 2008.
- [9] J. Gulomov and R. Aliev, “Analyzing periodical textured silicon solar cells by the TCAD modeling,” *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, vol. 21, no. 5, pp. 626–632, Sep. 2021.
- [10] Z. Fang, Z. Xu, D. Wang, S. Huang, and H. Li, “The influence of the pyramidal texture uniformity and process optimization on monocrystalline silicon solar cells,” *Journal of Materials Science: Materials in Electronics 2020 31:8*, vol. 31, no. 8, pp. 6295–6303, Mar. 2020.