UO‘K 53

TiO_2 ASOSIDAGI FOTOANODLI QUYOSH BATAREYALARI MORFOLOGIYASINI ZAMONAVIY KOMYUTER TEXNOLOGIYALARI YORDAMIDA O‘RGANISH

Turayev Akmal Atayevich,
Buxoro davlat universiteti,
“Fizika” kafedrasi professori, f.-m.f.f.d. (PhD)
a.a.turaev@buxdu.uz
Ergashov Abdurasul Qodirjanovich,
Namangan davlat texnika universiteti
Elektrotexnika va elektronika kafedrasi dotsenti, f-m.f. (PhD)
Sharipbayev Sobitxon Sobir o‘g‘li,
Namangan davlat texnika universiteti
Energetika muhandisligi kafedrasi o‘qituvchisi, f-m.f.d. (PhD)
Sharipbayev1999@mail.ru
Tursunov Rahimjon Ibodullo o‘g‘li,
Namangan viloyati Kosonsoy tumani 28-maktab o‘qituvchisi

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqotda bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementlari (DSSC) sifatini baholashda sanoat kompyuter tomografiyasidan (SKT) foydalanish imkoniyatlari o‘rganildi. Tadqiqot natijasida SKT yordamida DSSC fotoanodining ichki tuzilishini buzilmasdan tekshirish, strukturaviy notekisliklar, qatlamlararo mikroyoriqlar, g‘ovaklikdagi farqlar va cho‘kindi hosilalarini aniqlash imkoniyati aniqlandi. Turli tomografik tizimlarning diagnostik imkoniyatlarini taqqoslash natijasida yuqori aniqlikdagi tasvirlash tizimlari fotoanod qatlamining bir jinsliligi va ichki nuqsonlarini baholashda samaraliroq ekanligi ko‘rsatildi. Aniqlangan strukturaviy nuqsonlarning fotoelektrik xususiyatlarga ta’siri tahlil qilinib, ularning DSSC elementlarining fotoelektrik samaradorligi va ishonchliligini pasaytirishi mumkinligi asoslandi. Olingan natijalar asosida fotoanodlarni tayyorlash texnologiyasini nazorat qilish, strukturaviy nuqsonlarni erta aniqlash va DSSC elementlarining ishlash samaradorligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.*

Kalit so‘zlar: *DSSC, sanoat kompyuter tomografiyasi, buzilmas nazorat usuli, nuqsonlar diagnostikasi, strukturaviy tahlil, fotoanod, mikroyoriqlar, g‘ovaklik, fotoelektrik xususiyatlar, energiya samaradorligi.*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ФОТОАНОДОМ НА ОСНОВЕ TiO_2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. *В данном исследовании рассмотрены возможности применения промышленной компьютерной томографии (ПКТ) для оценки качества сенсибилизированных красителем солнечных элементов (DSSC). Установлено, что применение ПКТ позволяет проводить неразрушающий контроль внутренней структуры фотоанода DSSC, выявлять структурные неоднородности, межслойные микротрещины, различия в пористости и образования осадочного характера. Сравнительный анализ диагностических возможностей различных томографических систем показал, что системы визуализации высокого разрешения являются более эффективными для оценки однородности фотоанодного слоя и обнаружения внутренних дефектов. Проанализировано влияние выявленных структурных дефектов на фотоэлектрические свойства и обосновано, что их наличие может приводить к снижению фотоэлектрической эффективности и надёжности DSSC. На основе полученных результатов разработаны практические рекомендации по контролю технологии изготовления фотоанодов, раннему выявлению структурных дефектов и повышению эксплуатационной эффективности DSSC.*

Ключевые слова: *DSSC, промышленная компьютерная томография, неразрушающий контроль, диагностика дефектов, структурный анализ, фотоанод, микротрещины, пористость, фотоэлектрические свойства, энергетическая эффективность.*

STUDY OF THE MORPHOLOGY OF SOLAR CELLS WITH TiO_2-BASED PHOTOANODES USING MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES

Abstract. *This study investigates the applicability of industrial computed tomography (ICT) for assessing the quality of dye-sensitized solar cells (DSSCs). The results show that ICT enables non-destructive examination of the internal structure of DSSC photoanodes and allows the detection of structural non-uniformities, interlayer microcracks, variations in porosity, and sediment-like formations. A comparative analysis of the diagnostic capabilities of different tomographic systems demonstrated that high-resolution imaging systems are more effective for evaluating the uniformity of the photoanode layer and detecting internal defects. The influence of the identified structural defects on the photoelectric properties was analyzed, and it was shown that such defects may reduce the photovoltaic efficiency and reliability of DSSC devices. Based on the obtained results, practical recommendations were developed for controlling photoanode fabrication technology, enabling early detection of structural defects, and improving the operational efficiency of DSSCs.*

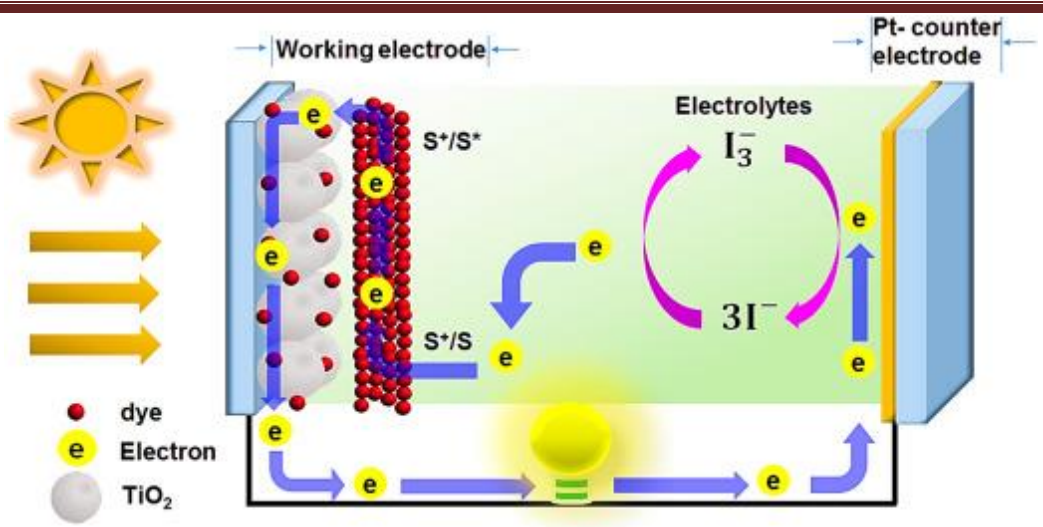
Keywords: *DSSC, industrial computed tomography, non-destructive testing, defect diagnostics, structural analysis, photoanode, microcracks, porosity, photoelectric properties, energy efficiency.*

Kirish. Yenilanishi mumkin bo‘lgan energiya manbalariga bo‘lgan ehtiyojning keskin ortib borayotgan sharoitida bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementlari (DSSC) istiqbolli yo‘nalishlardan biri sifatida ko‘rilmoqda. Ushbu ishda DSSC elementlarining sifatini baholash uslubiyatini ishlab chiqish masalasi yoritiladi. Bu borada kompyuter tomografiyasi (KT) texnologiyasidan foydalanish taklif etilib, u ishlab chiqarilayotgan elementlar sifatini nazorat qilish va nuqsonlarni dastlabki bosqichlaridanoq aniqlash imkonini beradi [1]. Bugungi kunda dunyoda iste’mol qilinayotgan energiyaning asosiy qismi qazilma yoqilg‘ilar — ya’ni issiqlik energiyasi va atom energiyasi hisobiga olinadi. Ammo bu turdagi yoqilg‘ilar miqdorining cheklanganligi, ekologik jihatdan xavfli ekani va seysmik barqarorlikning pastligi ularning asosiy kamchiliklaridan hisoblanadi. Shu sababli zamonaviy talablar insoniyat oldida qayta tiklanuvchi va ekologik toza energiya manbalaridan foydalanish zaruratini qo‘yadi. Bular jumlasiga quyosh va shamol energiyasi kiradi.

Quyosh panellari qayta tiklanuvchi energiya manbalarining istiqbolli turlaridan biri sanaladi. Quyosh elementlari ikki guruhga bo‘linadi: kristallik va yupqa qavatli (tonkoplenka) quyosh elementlari. Bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementi — DSSC, yupqa qavatli quyosh elementlari sinfiga kiradi va o‘zining oddiy tuzilishi hamda past energiya tannarxi sababли quyosh elementlarining yangi avлоди сифатида қаралмоқда. Shu bilan birга, ushbu turdagi elementlar (ilk bor Maykl Grätzel tomonidan ishlab chiqilgan) maksimal 14,3% samaradorlikka ega bo‘lishi va 10 yildan ortiq xizmat qilish muddati bilan ajralib turadi [1, 5].

DSSC quyosh elementlari odatda organik va polimer moddalardan yasalgan yarim o‘tkazgich xususiyatiga ega bo‘lgani sababli, ular orqali olingan elektr energiyasining tannarxi an’anaviy quyosh panellaridan 3–5 baravar arzonroq bo‘ladi. Shu bilan birga, DSSC turidagi quyosh elementlari infraqizil nurlar va tarqoq nurlanish spektrlarida ham samarali ishlashi ilmiy jihatdan o‘rganilgan. Bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementlarining ishlash prinsipi elektrolitda yuz beradigan fotoelektrokimyoviy (oksidlanish-qaytarilish) reaksiyaga hamda yarim o‘tkazgichdagi bo‘yoqda hosil bo‘ladigan erkin zaryad tashuvchilarning harakatiga asoslanadi (1-rasm).

Bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementlarining ishlash prinsipi quyosh nuri ta’sirida fotoqo‘zg‘alish orqali boshlanadi. Quyosh nuri bo‘yoq molekulasi tomonidan yutilganda, u yerda joylashgan elektron valensiya zonasidan chiqib, qo‘zg‘algan holatdagi energiya darajasiga ko‘tariladi. Ushbu bosqich–fotoqo‘zg‘alish (Photoexcitation) – elektronni yuqori energiyali holatga olib chiqadi va bu elektron potensial farq hisobiga TiO_2 yarim o‘tkazgichining o‘tkazuvchanlik zonasiga in’ektsiyalanadi. TiO_2 ichidagi ushbu elektronlar FTO (o‘tkazuvchi shaffof elektrod) orqali tashqi elektr zanjirga o‘tib, tok hosil qiladi. Elektronlarning zanjir bo‘ylab harakatlanishi ular energiyasining samarali ishlatilishiga olib keladi. Zanjirni to‘liq yopish uchun elektronlar katodga yetib kelgach, elektrolitdagi yod molekulalari (I_3^-) bilan birikadi va ularni I^- ionlariga aylantiradi. Bu orada ionlashgan yod molekulalari yana bo‘yoq molekulalariga elektron yetkazib, uni dastlabki holatiga qaytaradi – bu bosqich “regeneratsiya” deb ataladi. Shu tarzda DSSC (bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementi) doimiy ravishda yorug‘likni elektr energiyasiga aylantirib boradi. Bu jarayon yuqori samaradorlikka erishish va fotoelektr tizimlarda barqarorlikni ta’minlash uchun muhim hisoblanadi.



1-rasm. Bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementlarining ishlash prinsipi

Ushbu jarayon takrorlanib boradi va natijada quyosh nuri energiyasi elektr energiyasiga aylantiriladi. Quyosh elementlarini arzon va oddiy texnologiyalar asosida yaratish muhim vazifalardan biri bo‘lib, buning uchun zaryad tashuvchilarning asosiy parametrlarini, fotoelektrik xususiyatlarni va ishlatiladigan materiallarning samaradorlik hamda fotoelektrik tavsiflariga ta’sirini kompleks o‘rganish zarur. Ayniqsa, yuqori sezuvchan bo‘yoqlarga asoslangan quyosh elementlari ushbu yo‘nalishda istiqbolli hisoblanadi [2, 6].

Zamonaviy quyosh elementlari ishlab chiqarish jarayonida nuqsonlarni aniqlash va ularni bartaraf etish muhim o‘rin tutadi, chunki bunday nuqsonlar qurilmaning samaradorligi va xizmat muddatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Nuqsonlar ishlab chiqarishning turli bosqichlarida yuzaga keladi va ular orasida mikroyoriqlar, qatlamlarning notekisligi hamda boshqa struktura anomaliyalari mavjud. Tadqiqotlar, shuningdek, quyosh elementlarida ishlatiladigan materiallarning barqarorligini va samaradorligini oshirishga yo‘naltirilgan. Masalan, olimlar tomonidan ishlab chiqilgan "nuqson passivatorlari" deb ataluvchi molekulyar qo‘shimchalar perovskit asosidagi yarim o‘tkazuvchi qatlamlarning degradatsiyasini sezilarli darajada sekinlashtiradi. Bu esa quyosh elementlarining xizmat muddatini uzaytiradi va umumiy tannarxini kamaytiradi.

Metodologiya. Quyosh elementlarining sifatini tekshirish uchun ishlab chiqilgan yangi metod — adgeziya sinovi va sanoat kompyuter tomografiyasini (SKT) birlashtirgan integrallashgan yondashuv bo‘lib, bu usul elementdagi qatlamlarning ichki tuzilmasi va mustahkamligini kompleks baholash imkonini beradi.

Metodikaning birinchi bosqichida, quyosh elementi qatlamlari orasidagi yopishqoqlik (adgeziya) kuchini baholashga qaratilgan maxsus adgeziya sinovi o‘tkaziladi. Ushbu bosqich ish paytida qatlamlar ajralib ketishiga sabab bo‘lishi mumkin bo‘lgan sust birikma sohalarini aniqlash imkonini beradi. Sinov natijasida qatlamlar orasidagi zaif joylar, ya’ni potensial nuqsonlar aniqlanadi va erta diagnostika imkoniyati yaratiladi.

Keyingi bosqichda sanoat kompyuter tomografiyasi (SKT) qo‘llaniladi. Bu usul yordamida quyosh elementining ichki tuzilmasi yuqori aniqlikdagi — hatto submikron darajasiga qadar — uch o‘lchamli tasvirga aylantiriladi [13]. Tomografik tahlil orqali adgeziya sinovida aniqlanmagan ichki nuqsonlar — masalan, g‘ovaklik, yoriqlar va qatlamlararo notekisliklar — aniq qayd etiladi. SKT orqali olingan vizual ma’lumotlar adgeziya sinovi natijalarini tasdiqlaydi va ularni aniqlashtiradi, shu bilan birga material tuzilmasi va yopishqoqligining sifat va xizmat muddati bilan qanday bog‘liq ekanini ochib beradi.

Adgeziya sinovi va tomografik tahlilni birlashtirish orqali quyosh elementining ichki tuzilmasi va zaif nuqtalari chuqur tahlil qilinadi. Sifat nazoratining ushbu yangi usuli ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirishga yordam beradigan aniq ma’lumotlarni taqdim etadi, nuqsonlarni erta bosqichda aniqlash imkonini yaratadi va elementlarning ishonchliligi hamda uzoq muddatli ishlashini oshiradi.

Amaliy konus-nurli algoritm. Uch o‘lchamli zichlik funksiyasini to‘g‘ridan-to‘g‘ri tiklash uchun ikki o‘lchovli proektsiyalar to‘plami asosida katlama-invers proektsiya (convolution-backprojection) formulasi ishlab chiqiladi. Bu formula taxminiy bo‘lsa-da, bir qancha foydali xususiyatlarga ega, xususan, amaliy holatlarda xatoliklar odatda uncha katta bo‘lmaydi va hisoblashda qulaylik beradigan shaklga ega. Ushbu formula konusli nur proektsiyasining oddiy holatiga — aylanish o‘qiga perpendikulyar tekislikda joylashgan nuqtaviy manba asosidagi yelpig‘ich nurlanish formulasiga keltiriladi. Algoritm o‘z ishlashini ko‘rsatish uchun matematik fantomda sinovdan o‘tkaziladi.

Proektsion ma’lumotlar asosida uch o‘lchamli to‘g‘ridan-to‘g‘ri rekonstruksiya qilish muammosi ko‘plab ilmiy tadqiqotlar mavzusi bo‘lgan. Bu yerda ishlatilganidek, to‘g‘ridan-to‘g‘ri 3D rekonstruksiya deganda ikki o‘lchovli (2D) proektsion ma’lumotlardan uch o‘lchamli (3D) koordinatalar to‘rida rekonstruksiya qilish nazarda tutiladi. Bu to‘rlar ba’zida parallel kesimlar shaklida bo‘lishi mumkin yoki bo‘lmasligi mumkin. Tibbiyot sohasida to‘g‘ridan to‘g‘ri 3D-rekonstruksiya ilg‘or tadqiqot yo‘nalishi hisoblanadi. Hozirgi ma’lumotlarga ko‘ra, hech bir tijorat tomografi hali to‘g‘ridan-to‘g‘ri 3D-rekonstruksiyani to‘liq qo‘llamaydi.

Tomografiyani buzilmasdan nazorat qilish (NDE) usuli sifatida sanoatda qo‘llash hali ham cheklangan. Raqamli rentgenografiyadan tabiiy kengaytma sifatida tasvirni kuchaytiruvchi rentgen modullarini tomografik kirish ma’lumotlari sifatida ishlatish laboratoriya sharoitida, minimal mexanik murakkablikka ega tizimda amalga oshiriladi. Ushbu tizim mikrofokusli rentgen nurlari manbai, bir o‘qli aylanuvchi stol va tegishli elektronika bilan jihozlangan rentgen tasvir kuchaytirgichidan iborat. Shuning uchun, tezkor va ishonchli to‘g‘ridan to‘g‘ri rekonstruksiya algoritmi bu sohada nihoyatda foydali bo‘lishi mumkin.

Aslida, **Feldkamp algoritmi (FDK)** uchta asosiy bosqichdan iborat: proyektsion fazoda filtrlash, orqaga proektsiyalash (ya’ni inversiya), va hajmli fazoda og‘irlik (vazn) bilan qayta hisoblash. [3] Bu bosqichlar quyidagi uchta tenglama orqali ifodalanadi (2-rasmga ham qarang).

$$f(r) = \frac{1}{4\pi^2}\int_0^{2\pi} \frac{d^2}{(d+r\cdot x_\varphi)^2}\hat{P}_\varphi(r)d\varphi \quad (1)$$

bu yerda:

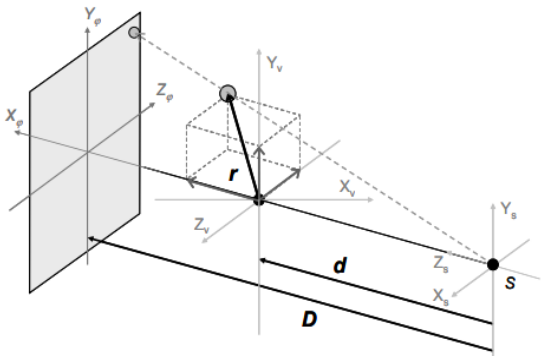
$$\hat{P}_\varphi(r) = \hat{P}_\varphi\big(Y(r), Z(r)\big), Y(r) = \frac{r\cdot y_\varphi}{d+r\cdot x_\varphi}D, Z(r) = \frac{r\cdot z_\varphi}{d+r\cdot x_\varphi}D \quad (2)$$

va

$$\hat{P}_\varphi(Y,Z) = \frac{D}{\sqrt{D^2+Y^2+Z^2}}P_\varphi(Y,Z) ** g(Y) \quad (3)$$

Ushbu tenglamalarda har bir voksel (uch o‘lchamli element) r = (x, y, z) vektori orqali ifodalanadi va u rekonstruksiya fazosidagi (Xv, Yv, Zv) koordinatalar sistemasida joylashgan. Bu yerda Yv — aylanish o‘qi sifatida qaraladi. Proektsiya tekisligidagi (ya’ni detektor sathidagi) elementlar esa φ burchakka mos keladigan Pφ(Y, Z) orqali belgilanadi, bunda Y va Z — detektordagi elementlarning fazoviy koordinatalaridir. Xφ vektori detektor tekisligiga ortogonal bo‘lib, detektor markazini manba nuqtasi S bilan bog‘laydi. Shu bilan birga, Yφ va Zφ vektorlari ushbu detektor fazosining uch o‘lchamli koordinatalar sistemasini tashkil etadi va ular (Xv, Yv, Zv) tizimi bilan gentry aylanishi hamda ehtimoliy gentry deformatsiyasi orqali aniqlanadigan matritsali o‘zgartirish yordamida bog‘langan.

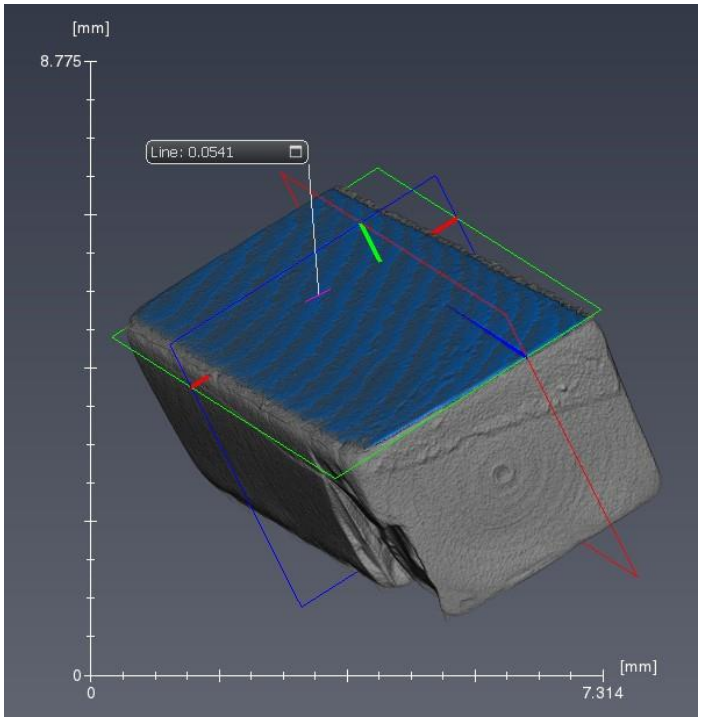
Manba nuqtasidan aylanish markazigacha bo‘lgan masofa d bilan, manbadan detektor markazigacha bo‘lgan masofa esa D bilan belgilanadi. (3)-tenglama proektsiya fazosidagi filtrlash operatsiyasini ifodalaydi, (2)-tenglama esa orqaga proektsiyalash jarayonini aks ettiradi — ya’ni, vokselni proektsiya tekisligidagi pozitsiyaga xaritalash va u yerda mos qiymatni interpolatsiya asosida tayinlash. Nihoyat, (1)-tenglama esa orqaga proektsiyalashdan olingan qiymatlarni barcha proektsiyalar bo‘yicha yig‘ib, hajmli fazoda og‘irlik bilan hisoblashni amalga oshiradi. Ushbu uchta tenglama FDK algoritmining tabiiy dekompozitsiyasini tashkil etadi va uni uch bosqichli konveyer sifatida — filtrlash, orqaga proektsiyalash va og‘irlik asosida yig‘ish shaklida ifodalaydi [3].



2-rasm. Feldkamp filtri asosidagi orqaga proektsiyalash algoritmi

Eksperiment davomida olingan asosiy natijalar:

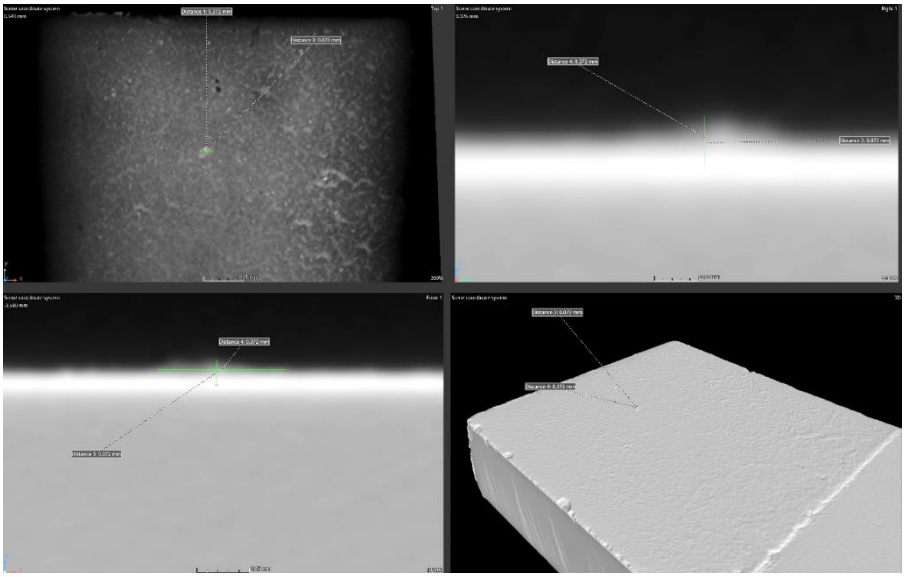
Qoplama qalinligi: O‘tkazilgan tahlillar natijasida TiO_2 va yorug‘likka sezgir bo‘yoq qatlamlarining qoplama qalinligi 45 dan 70 mikrongacha oraliqda o‘zgarishi aniqlangan. Ba’zi sohalarda sezilarli chetlanishlar kuzatildi, bu esa qatlamlarning notekis surtib chiqilganligini ko‘rsatadi. Bunday notekislik quyosh elementlarining samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin, chunki qoplama bir xilligining buzilishi yorug‘likni yutish va elektronlarning in’ektsiyasini kamaytiradi (3-rasm).



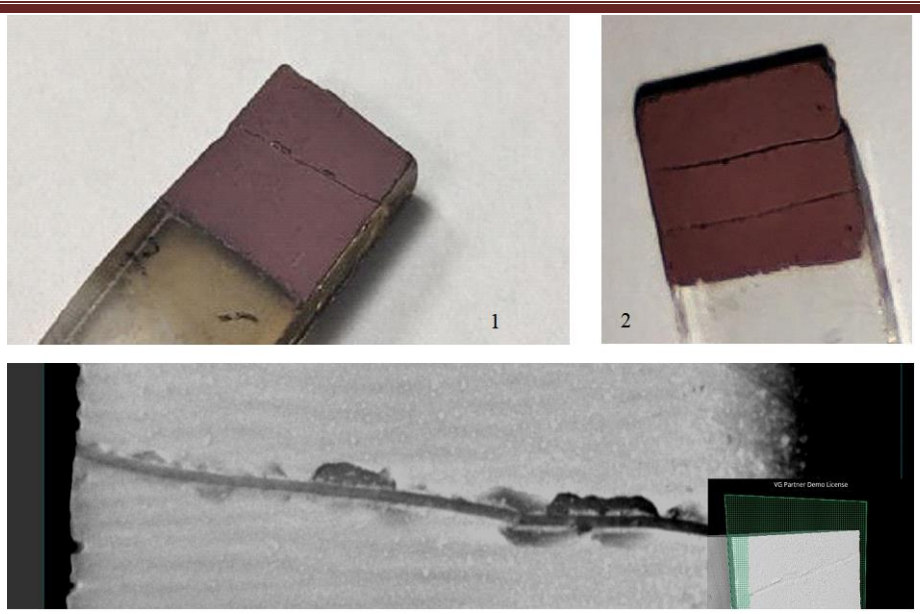
3-rasm. Quyosh elementining tomogrammasi

Tuzilma nuqsonlari:

DSSC qoplamalarida turli struktura nuqsonlari aniqlandi, jumladan: g‘ovakliklar (poralar), yoriqlar va qatlamlararo ajralishlar. Diametri 110 mikrongacha bo‘lgan g‘ovaklar hamda chuqurligi 30 mikrongacha bo‘lgan yoriqlar elementlarning elektr o‘tkazuvchanligi va umumiy samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi (4-rasm). Ushbu nuqsonlar, asosan, bo‘yoq moddasining notekis surtib chiqilishi yoki qatlamlar orasidagi adgeziyaning yetarli emasligi natijasida yuzaga keladi. O‘tkazilgan tomografik skanerlash natijalari shunchalik samarali bo‘ldiki, faqatgina nuqsonlarni aniqlash bilangina cheklanmay, balki qoplamalarning qalinligini hisoblash, ularning bir xilligini baholash, devor qalinligidagi chetlanish sabablarini tahlil qilish va asosiy diapazondan tashqariga chiqadigan qiymatlarga ta’sir qiluvchi omillarni aniqlash imkonini berdi [8].



4-rasm. Quyosh elementi tuzilmasida aniqlangan g‘ovaklar va yoriqlar tasviri



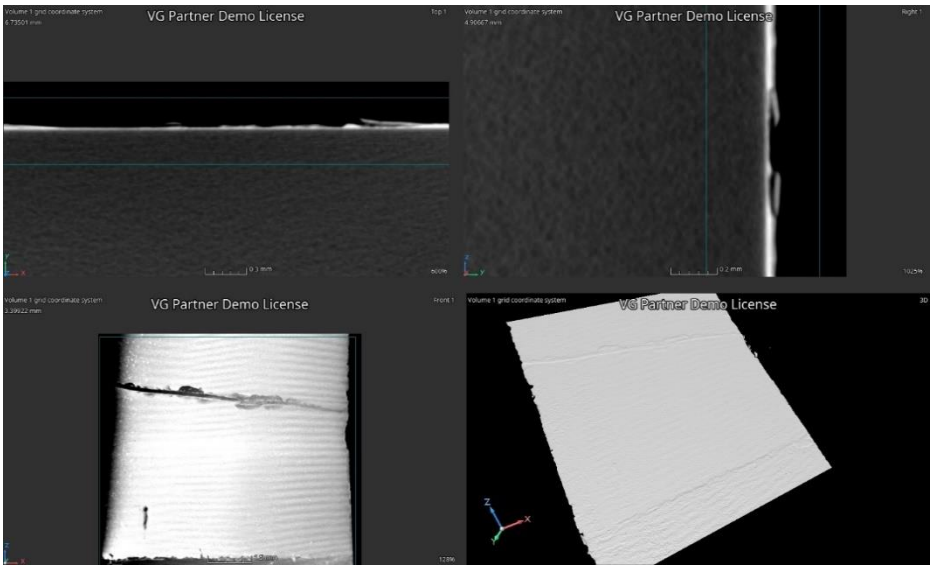
5-rasm. GOST 15140-78 standarti bo‘yicha chizilgan kesim usuli orqali adgeziya darajasini o‘lchash

Qatlamlar orasidagi kontakt sifati:

Tomografik tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, qatlamlar orasidagi adgeziya yetarli emas va bu holat mikroyoriqlar hamda g‘ovaklarning paydo bo‘lishiga olib kelmoqda. Bunday nuqsonlar elektr o‘tkazuvchanligini pasaytiradi va uzoq muddatli ekspluatatsiya davomida quyosh elementlarining degradatsiyasiga sabab bo‘lishi mumkin (5–6-rasmlar).

GOST 15140-78 standartiga muvofiq, adgeziya darajasini baholash uchun namunada bir nechta joyga chiziqli kesimlar qilinadi. So‘ngra, bu joylarga yopishtiruvchi lenta (skotch) bosib yopishtiriladi va bir necha soniyadan so‘ng tezda yulib olinadi. Baholash mezoni — kesilgan joylar bo‘ylab qoplama necha foizga ajralib chiqqanini aniqlashdir.

Bizning tadqiqotimizda 1-rasmdagi namuna past natija ko‘rsatdi: kesim yuzasining 35% dan ortig‘ida ajralish kuzatildi, bu esa yomon adgeziya darajasidan dalolat beradi. Chap tomonda ko‘rsatilgan 2-rasm esa yaxshi natijani namoyon etadi — unda qatlamlar deyarli ajralmagan.



6-rasm. Qatlamlar orasidagi kontakt sifatini tahlil qilish, mikroyoriqlar va nuqsonlarni ko‘rsatmoqda

DSSC quyosh elementlarining struktura xususiyatlarini tadqiq qilish. Bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementlari (DSSC)ning struktura xususiyatlarini o‘rganish natijasida aniqlanishicha, element tuzilmasining bir xilligi ularning barqaror va samarali ishlashi uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, qatlamlar qoplamasidagi notekisliklar elektr

xossalarning lokal o‘zgarishiga olib keladi va bu esa quyosh elementlarining umumiy ishlash samaradorligini pasaytiradi [13].

Bunday notekisliklar mavjud bo‘lgan joylarda elektr qarshiligi oshadi yoki o‘tkazuvchanlikda nuqsonlar yuzaga keladi. Natijada, quyosh nuri asosida elektr energiyasiga aylantirish jarayoni sezilarli darajada yomonlashadi. Bu ayniqsa DSSC texnologiyasi uchun dolzarb, chunki har bir qatlam va uning yopishqoqlik (adgeziya) xususiyatlari qurilmaning barqarorligi hamda uzoq muddatli ishlashiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli, bunday struktura nuqsonlarini bartaraf etish hamda qoplamaning bir xilligini ta’minlash — DSSC elementlarining samaradorligi va barqarorligini oshirish uchun zaruriy shart hisoblanadi.

Xulosa. Sanoat kompyuter tomografiyasi yordamida DSSC elementlarining ichki strukturasi o‘rganilib, TiO_2 fotoanod qatlamining bir xilligi, qalinligi va zichligi elementlarning barqaror ishlashi hamda fotoelektrik samaradorligiga muhim ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Qatlamlardagi strukturaviy og‘ishlar va notekis taqsimlanishlar elektr xususiyatlarining lokal o‘zgarishiga sabab bo‘lishi mumkinligi ko‘rsatildi.

Tomografik tahlil natijasida fotoanod strukturasida g‘ovaklar, mikroyoriqlar va qatlamlararo ajralishlar kabi ichki nuqsonlarni aniqlash imkoniyati tasdiqlandi. Bunday nuqsonlarning mavjudligi zaryad tashuvchilarning harakatlanishiga salbiy ta’sir ko‘rsatib, DSSC ning energiyani elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi va uzoq muddatli barqarorligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli SKT usulidan ishlab chiqarishning dastlabki bosqichlarida nazorat vositasi sifatida foydalanish nuqsonlarni erta aniqlash va texnologik jarayonni o‘z vaqtida tuzatish imkonini beradi.

Olingan natijalar SKT usulining DSSC ishlab chiqarish texnologiyasida buzilmas nazorat va diagnostika vositasi sifatidagi amaliy ahamiyatini ko‘rsatdi. Qatlamlarni surtish, ularning qalinligi va zichligini nazorat qilish hamda strukturaviy holatni muntazam monitoring qilish orqali tayyor elementlarning sifati, ishonchliligi va xizmat muddatini oshirish mumkin. Mazkur yondashuv DSSC elementlarining strukturaviy va fotoelektrik parametrlarini optimallashtirish uchun samarali vosita sifatida tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR:

1. Hagfeldt A., Boschloo G., Sun L., Kloo L., Pettersson H. Dye-sensitized solar cells. Chem Rev 2010. V.110. P.659–663.

2. O. Mamatkarimov, B. Uktamaliyev, A. Abdukarimov, Determination of ionic conductivity of polymer electrolytes in li-ion batteries using electrochemical impedance spectroscopy // An International Multidisciplinary Research Journal. 2021. Vol. 11, N 7. P.141-146.

3. Feldkamp L.A., Davis L.C., Kress J.W. Practical cone-beam algorithm // J. Opt. Soc. Amer. A. 1984. Vol. 1, N 6. P.612-619.

4. E., Ehsani M., Khonakdar H.A. Improvement of ionic conductivity and performance of quasi-solid-state dye sensitized solar cell using PEO/PMMA gel electrolyte // Thermochim. Acta. 2015. V.615. P. 61-67.

5. Zhang Q., and Cao G. Nanostructured photoelectrodes for dye-sensitized solar cells// Nano Today.2011V. 6 (1). P. 91-109.

6. Azeez F., Fedkiw P.S. Conductivity of libob-based electrolyte for lithium-ion batteries // J. Power Sources. 2010. V.195. P.7627-7633.

7. Yang S. C., Yang D. J., Kim J., Hong J. M., Kim H. G., and Kim I. D. Hollow TiO_2 Hemispheres Obtained by Colloidal Templating for Application in Dye-Sensitized Solar Cells// Advanced Material. 2008. V.20(5). P.1059-1064.

8. Bandara T.M.W.J., Jayasundara W.J.M.J.S.R., Dissanayake M.A.K.L., Furlani M., Albinsson I., Mellander B.E. Effect of cation size on the performance of dye sensitized nanocrystalline TiO_2 solar cells based on quasi-solid state PAN electrolytes containing quaternary ammonium iodides // Electrochim. Acta. 2013. V. 109. P. 609-616.

9. Law M., Greene L.E., Johnson J.C., Saykally R, .and Yang P. Nanowire dye-sensitized solar cells// Nat Mater. 2005. V. 4 (6). P. 455-459.

10. Greulich J., Glatthaar M., Krieg A., Emanuel G., Rein S. JV characteristics of industrial silicon solar cells: Influence of distributed series resistance and Shockley Read Hall recombination // 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September 2009. Germany. P.2065-2069.

11. Subramania A., Vijayakumar E., Sivasankar N., Priya A.R.S., Kim K.J. Effect of different compositions of ethylene carbonate and propylene carbonate containing iodide triiodide redox electrolyte on the photovoltaic performance of DSSC // Ionics. 2013. V.19. P.1649-1653.

*12.Murakami T. N., Kijitori Y., Kawashima N., and Miyasaka T. Low temperature preparation of mesoporous TiO_2 films for efficient dye-sensitized photoelectrode by chemical vapor deposition combined with UV light irradiation// Inorg Chem. 2004. V.164(1–3). P.187-191. *

13.С.С. Шарипбаев, П.А. Белоусов, С.В. Легконогих, Томография для неразрушающего контроля композитных материалов // Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов V Международной (XVIII Региональной) научной конференции/Под общ. ред. АА Удаловой.–Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2022.–359 с.

14.А.Х. Оздиев, Томографический анализ без вращения объекта на основе геометрии рентгеновского пучка [Электронный ресурс] Режим доступа: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/52872/1/thesis_tpu-2018-91.pdf (дата посещения – 14.07.2024).