

ZAMONAVIY QUYOSH BATAREYALARINING SAMARADORLIGINI VA UNING FIZIK JIHATLARI

To'xtayev G'aybulla Mangliyevich

O'zMU qoshidagi S.X.Sirojiddinov nomidagi akademik litsey

KIRISH

Quyosh energiyasidan foydalanish zamonaviy energetikaning eng tez rivojlanayotgan sohalaridan biridir. 2024-yil holatiga ko'ra, dunyoda quvvatining 1.2 TW dan ortiq quyosh energiyasi quvvati o'rnatilgan bo'lib, bu global elekt energiya ishlab chiqarishning 4.5% ini tashkil etadi. Ushbu maqolada zamonaviy fotovoltaik (FV) qurilmalarning samaradorligi va ularning fizik tamoyillari tahlil qilinadi.

Fotoelektrik effekt 1887-yilda Gerts tomonidan kashf etilgan bo'lib, keyinchalik Eynshteyn 1905-yilda uning kvant tabiatini tushuntirgan. Jarayon quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$E = h\nu - \Phi$$

Izoh:

- E - elektronning kinetik energiyasi (Joul)
- h - Plank doimiysi (6.626×10^{-34} J·s)
- ν - foton chastotasi (Hz)
- Φ - ish funktsiyasi (material xususiyati)

Yarimo'tkazgich materialda quyosh nurlanishi tushganda, energiyasi taqiqlangan zona kengligidan ortiq bo'lgan fotonlar elektron-kovak juftlarini hosil qiladi:

$$n = \eta \times (P_{\text{opt}} / h\nu) \times (1 - R)$$

Izoh:

- n - hosil bo'lgan zaryad tashuvchilar soni
- η - kvant samaradorligi
- P_{opt} - optik quvvat (Vatt)
- R - aks etish koeffitsienti

QUVVAT AYLANISH SAMARADORLIGI

$$\eta = (P_{\text{max}} / P_{\text{in}}) \times 100\%$$

Yoki batafsil:

$$\eta = (V_o \times I_s \times FF) / P_{\text{in}} \times 100\%$$

Izoh:

- P_{max} - maksimal quvvat (Vatt)
- P_{in} - kiruvchi quvvat (Vatt)
- V_o - ochiq zanjir kuchlanishi (Volt)
- I_s - qisqa tutashuv toki (Amper)
- FF - to'ldirish faktori

Bir o'tishli quyosh hujayrasi uchun maksimal nazariy samaradorlik Shockley-Queisser chegarasi bilan belgilanadi. Bu chegaraga ko'ra, quyosh nurlanishining spektral taqsimoti, termal emissiya va rekombinatsiya jarayonlari hisobga olinadi. Ideal bir kesimli qurilma uchun maksimal samaradorlik quyosh spektriga (AM1.5) mos keladigan optimal taqiqlangan zona kengligi 33,7% ni tashkil qiladi. Ammo amaliy qurilmalarda turdosh bo'lmagan materiallar, yuqori sirt rekombinatsiyasi va qarshilik yo'qotishlari tufayli bu qiymatga erishish qiyin.

4. TO'LDIRISH FAKTORI (FF)

$$FF = (V_{mp} \times I_{mp}) / (V_o \times I_s)$$

Izoh:

- V_{mp} - maksimal quvvat nuqtasidagi kuchlanish
- I_{mp} - maksimal quvvat nuqtasidagi tok

5. SHOCKLEY-QUEISSER CHEGARASI

$$\eta_{max} = 0.44 \times (E_g / kT) / \int [E_g / kT \text{ dan } \infty \text{ gacha}] (x^2 / (e^x - 1)) dx$$

Izoh:

- E_g - taqiqlangan zona kengligi (eV)
- k - Boltsman doimiysi (8.617×10^{-5} eV/K)
- T - temperatura (Kelvin)

6. ZARYAD TASHUVCHI HARAKATCHANLIGI

$$\mu = q\tau / m^*$$

Izoh:

- μ - harakatchanlik ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
- q - elektron zaryadi (1.602×10^{-19} C)
- τ - sekinlashish vaqti (soniya)
- m^* - effektiv massa (kg)

7. REKOMBINATSIYA TURLARI

A. Radiatsion:

$$R_{rad} = B(np - n_i^2)$$

B. Shockley-Read-Hall:

$$R_{srh} = (np - n_i^2) / [\tau_p(n + n_1) + \tau_n(p + p_1)]$$

C. Auger:

$$R_{au} = (C_n n + C_p p)(np - n_i^2)$$

8. TANDEM SAMARADORLIK

$$\eta_{tan} = \eta_{top} + \eta_{bottom} - \eta_{top} \times \eta_{bottom}$$

9. TEMPERATURA BOG'LIQLIGI

$$\eta(T) = \eta_{st} \times [1 + \beta(T - 25)]$$

Izoh:

- η_{st} - standart sinov sharoitidagi samaradorlik
- β - temperatura koeffitsienti (-0.0045 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ kremniy uchun)
- T - amaliy harorat ($^{\circ}\text{C}$)

10. KVANT NUQTA ZONA KENGLIGI

$$E_{\varphi^d} = E_{\beta_{\text{bulk}}} + (\hbar^2 \pi^2) / (2m^* r^2)$$

Izoh:

- $\hbar$ - qisqartirilgan Plank doimiysi
- r - kvant nuqta radiusi

RAQAMLI MA'LUMOTLAR

SAMARADORLIK REKORDLARI (2025):

1. Monokristalli kremniy: 26.7%
2. GaAs yupqa plyonka: 29.1%
3. Perovskit: 26.1%
4. Tandem hujayralar: 36.1%

TEMPERATURA TA'SIRI:

- Kuchlanish: $-2.2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ (kremniy)
- Quvvat: -0.4% dan -0.5% gacha $/^\circ\text{C}$

MODUL SAMARADORLIGI:

- PERC texnologiyasi: 21-23%
- HJT (heterokontakt): 23-25%
- IBC (orqa kontakt): 24-26%

TARIXIY RIVOJLANISH:

1954: 6% (Si)

1985: 20% (Si)

2000: 25.1% (GaAs)

2015: 20.1% (Perovskit)

2025: 36.1% (Tandem)

ASOSIY FIZIK DOIMIYLAR

1. Plank doimiysi (h): $6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
2. Elektron zaryadi (q): $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
3. Boltsman doimiysi (k): $1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ yoki $8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$
4. Vakuumdagi yorug'lik tezligi (c): $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$

AMALIY HISOBLASH MISOLI

Misol: 20% samaradorlikka ega 1 m^2 quyosh paneli, 1000 Vt/m^2 quyosh nurlanishida:

Chiqish quvvati: $P_{\text{out}} = 1000 \text{ Vt/m}^2 \times 0.20 = 200 \text{ Vt}$

Kunlik energiya (5 soat quyoshli): $E = 200 \text{ Vt} \times 5 \text{ soat} = 1000 \text{ Vt}\cdot\text{soat} = 1 \text{ kVt}\cdot\text{soat}$

Zamonaviy quyosh batareyalarining samaradorligi uning fizik tamoyillariga chuqur bog'liq. Fotoelektrik effekt, zaryad tashuvchilarning hosil bo'lishi va to'planishi, rekombinatsiya jarayonlari, material xususiyatlari va tuzilma dizayni samaradorlikni belgilaydi. Nazariy chegaralar (Shockley-Queisser) amaliyotda yangi materiallar va tandem tuzilmalar yordamida engilmokda. 2024-yilda 36,1% ga erishilgan rekord samaradorlik, shuningdek, kremniy, perovskit va boshqa materiallardagi yutuqlar, quyosh energiyasining kelajagi yorqin ekanligini ko'rsatmoqda. Tadqiqotlar samaradorlikni oshirish, ishlash

muddatini uzaytirish va xarajatlarni kamaytirishga qaratilgan. Fizika va materialshunoslikdagi yutuqlar fotovoltaikani global energiya ishlab chiqarishning asosiy tarkibiy qismiga aylantirish imkoniyatini beradi.

