

ԱՇԽԱՐՀԻ ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՖՎ ՎԱՅԱՆԱԿՆԵՐ

Համառոտակի նկարագրվում են արդյունաբերական ծավալներով արտադրվող բարձր արդյունավետությամբ (մինչև 23,6%) կոմերցիոն ֆոտովոլտային (ՖՎ) վահանակների ոլորտում լավագույն արտադրողների վերջին ձեռքբերումները 2023թ. հունիսի դրությամբ (տես աղյուսակ):

Հայաստանում նախատեսվում է մինչև 2030 թվականը արևային ՖՎ կայանների հզորությունները հասցնել 1000 ՄՎտ-ի, իսկ այդ կայաններից արտադրված էլեկտրաէներգիայի մասնաբաժինը էլեկտրաէներգիայի ընդհանուր արտադրության նկատմամբ՝ առնվազն 15%-ի: Այդ տեսակետից այս նյութը օգտակար կլինի ՖՎ կայանների ոլորտի հարցերով զբաղվող տեղական մասնագետների և բիզնես ընկերությունների համար: Արևային ՖՎ բջիջների կառուցվածքը էական դեր են խաղում վահանակի արդյունավետության հարցում:

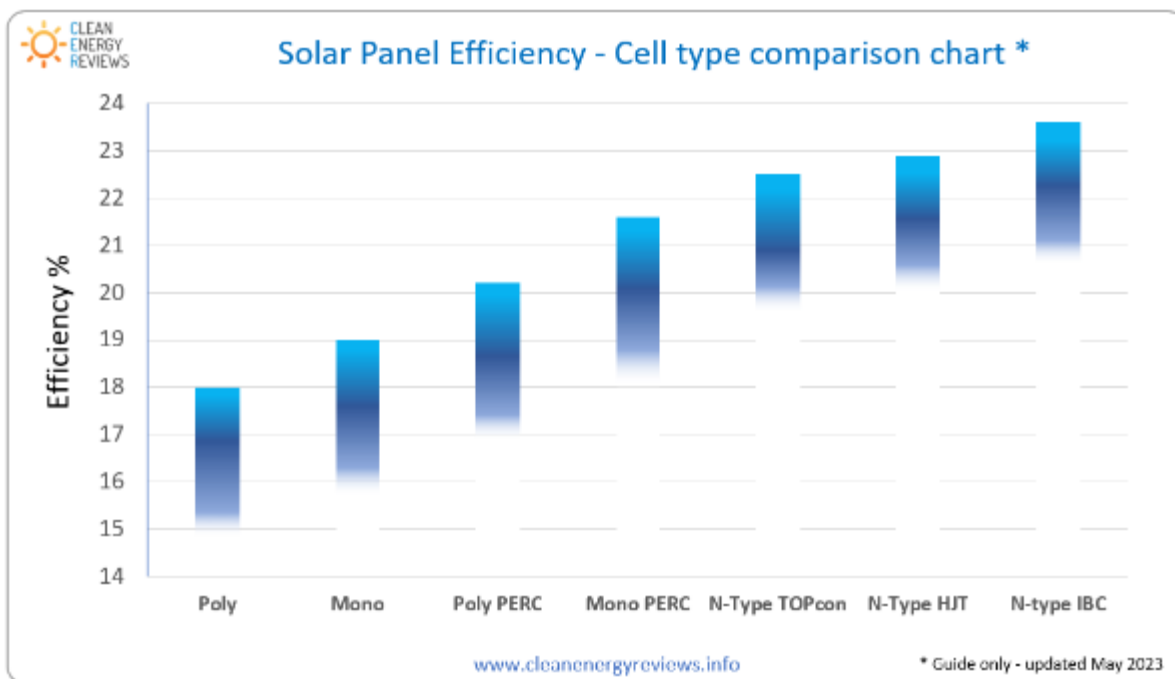
Հիմնական առանձնահատկությունները ներառում են սիլիցիումի տեսակը (միաբյուրեղային, բազմաբյուրեղային սիլիցիումային թիթեղներ), հաղորդաթիթեղի կառուցվածքը, անցումների (հոմոգեն/հետերոգեն) տեխնոլոգիաները և շերտերի/մակերեսների պասիվացման եղանակն ու նյութերը: Աղյուսակում նշված ընկերությունների (Longi Solar, Jingo Solar, Recom, Risen Energy, Canadian Solar և այլն) արևային վահանակների որոշ մոդելները օգտագործվել են նաև Հայաստանում, այդ թվում երկկողմանի վահանակներ (bifacial panels), որոնցում և դիմային և հետևի մակերեսները փոխակերպում են լույսը էլեկտրականությանը:

Վերջին երկու տարում նկատվել է բարձր արդյունավետությամբ (22% -ից բարձր) նոր տեխնոլոգիաներով **N-տիպի HJT, TOPcon և IBC (Interdigitated Back-contact)** բջիջների հիման վրա ավելի արդյունավետ արևային ՖՎ վահանակներ արտադրող ընկերությունների կտրուկ աճ (տես աղյուսակ):

	Արտադրող ընկերություն	Վահանակի մոդելը/ Բջիջի տեխնոլոգիա	Վահանակի հզորություն*	Արդյունավե- տություն, %	Երկիր
1	Aiko Solar	Black Hole series, N-type ABC, Back contact	460W	23.6	Չինաստան
2	Recom Tech	Black Tiger/TOPcon Back-contact	460W	23.0	Ֆրանսիա
3	Longi Solar	Hi-Mo Scientist/HPBC	450W	23.0	Չինաստան
4	SunPower	Maxeon 6/ N-type IBC	440W	22.8	ԱՄՆ
5	Canadian Solar	Hi Hero/N-type HJT	445W	22.8	Կանադա
6	Jingo Solar	Tiger NeoN/N-type TOPcon	440W	22.5	Չինաստան
7	Risen Energy	Hyper-ion/N-type TOPCon	440W	22.5	Չինաստան
8	REC	Alpha-Pure R N-type HJT	430W	22.3	Սինգապուր
9	SPIC	Andromeda 2.0, N-type IBC	440W	22.3	Չինաստան
10	Q cells	Q.Tron-G1+/(MBB) half-cut N-type TOPCon	400W	22.3	Հարավ. Կորեա, մինչ այդ՝ Գերմանիա

*Վահանակներ՝ 54-ից 66 բջիջ (108-HC, 120-HC կամ 132-HC) և 96/104 բջջային ձևաչափեր: Չի ներառում 2,0 մ-ից ավելի երկարությամբ կոմերցիոն վահանակներ: 60-բջիջներով վահանակի ստանդարտ չափն է՝ 1m x 1.65m:

2023թ. առաջատար արտադրող ընկերությունը Aiko Solar թողարկեց Black Hole շարքի վահանակները՝ մոդուլի փոխակերպման 23,6% արդյունավետությամբ՝ օգտագործելով նոր ABC (All Back Contact) տեխնոլոգիայով բջիջներ: Recom Tech-ը հայտարարեց հաջորդ սերնդի Black Tiger շարքի մասին 23,6% արդյունավետությամբ՝ օգտագործելով նոր TOPcon Back-contact բջջային տեխնոլոգիաները: LONGi Solar-ը միայն երկրորդ արտադրողն էր, որը մշակեց մոդուլներ 22,8% արդյունավետությամբ նոր Hi-Mo 6 Scientists շարքի միջոցով: Hi-Mo 6 շարքը հիմնված է նոր հիբրիդային IBC բջջային դիզայնի վրա, որը LONGi-ն անվանում է HPBC: Canadian Solar-ը ներկայացրել է նոր սերնդի Hi Hero մոդուլը, որը կառուցվել է HJT բջիջների միջոցով և համարժեք է հանրահայտ Maxeon շարքի արդյունավետության մակարդակին:

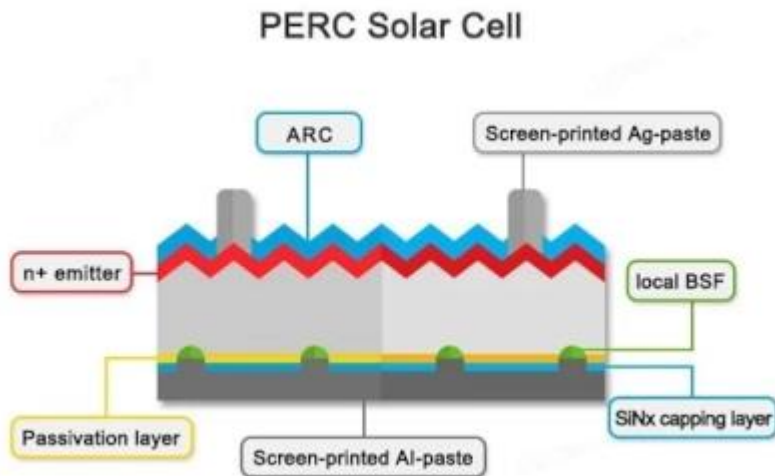


* Approximate average solar PV cell efficiency comparison chart - Mono and poly silicon types

* Արևային ՖՎ բջիջների միջին արդյունավետության համեմատական աղյուսակ – Միա (Մոնո) և բազմա- (պոլի) բյուրեղային սիլիցիումային տեսակներ (Cleaner Energy Reviews պարբերականից): Ձախից աջ՝ բազմաբյուրեղային բջիջներ, միաբյուրեղային բջիջներ, բազմաբյուրեղային **PERC** տեխնոլոգիայով բջիջներ, միաբյուրեղային **PERC** տեխնոլոգիայով բջիջներ, N-type TOPCon, N-type HJT, N-type IBC բջիջներ:

2023թ. հունիսի դրությամբ IBC (Interdigitated Back contact) բջիջներով վահանակները ներկայումս ամենաարդյունավետն են (մինչև 23,8%)՝ շնորհիվ բարձր մաքրության N-տիպի սիլիցիումային ենթաշերտի և առանց հաղորդաթիթեղներից առաջացող ստվերի կորուստներից: Վահանակները, որոնցում օգտագործվում են N-Type TOPcon բջիջները և հետերոանցումներով տեխնոլոգիաներով բջիջները (HJT cells), արդեն ունեն 22%-ից բարձր արդյունավետություն: Գերբարձր արդյունավետությամբ Tandem Perovskite բջիջները (27%) դեռ մշակման փուլում են, սակայն ակնկալվում է, որ կոմերցիոն առումով կդառնան կենսունակ երկու տարուց հասնելով ըստ գնահատականների 29% արդյունավետությանը: Progress in Photovoltaics հանդեսը տարեկան երկու անգամ հրապարակում է ՖՎ բջիջների վերջին տեխնոլոգիաների մասին աղյուսակները:

PERC տեխնոլոգիայի սկզբունքները (տես նկար) մշակվել են 1980-ականներին Ավստրալիայի UNSW համալսարանի Ավստրալիական առաջադեմ ֆոտովոլտային կենտրոնի ղեկավար՝ պրոֆեսոր Մարտին Գրինի ղեկավարությամբ, որին հաճախ անվանում են «ֆոտովոլտային էլեկտրականության հայր»։ Այս մեթոդը լայնորեն կիրառվեց արևային մարտկոցների առաջատար արտադրողների կողմից ընդամենը մի քանի տարի առաջ։ Նույն կենտրոնում են այն ժամանակ մշակվել **PERL** և **PERT** տեսակի բջիջների կառուցվածքի սկզբունքները։



PERC (Passivated Emitter Rear Contact Cells) տեսակի արևային բջիջի կառուցվածքի պարզեցված տեսքը՝ ARC - հակաանդրադարձող շերտ, տրաֆարետային տպագրությամբ Ag մածուկից պատրաստած էլ. կոնտակտներ, n+ էմիտեր, պասիվացնող շերտ, տեղական BSF (Back surface field), SiNx capping layer – սիլիցիումի նիտրիդից պատրաստված ծածկող շերտ, տրաֆարետային տպագրությամբ Al մածուկից պատրաստած էլ. կոնտակտներ։

TOPCon բջիջները ներկայացվել են 2013 թ. Գերմանիայի Արևային Էներգիայի համակարգերի Ֆրաունհոֆերի ինստիտուտի կողմից։ Դրանք օգտագործվում են հիմնական չինական արտադրող ընկերությունների կողմից առնվազն 2019 թվականից։ TOPCon բջիջներում վերցնում են նույն PERC թաղանթը և վերևում ավելացնում է չափազանց բարակ օքսիդային շերտ՝ որպես ևս մեկ խոչընդոտ՝ չկանված արևային լույսը պահելու համար՝ բարձրացնելով բջիջների արդյունավետությունը։ Հեռանկարային HJT տեսակի բջիջներն ունեն ցածր ջերմաստիճանային գործակից ($0.26\%/^{\circ}\text{C}$), որը մոտ 40%-ով ցածր է սովորական բազմաբյուրեղ և միաբյուրեղ սիլիցիումային բջիջների համեմատ։

Ստանդարտ փորձարկման պայմաններ։ Արևային վահանակի արդյունավետությունը չափվում է ստանդարտ փորձարկման պայմաններում (STC - Standard test conditions)՝ հիմնված 25°C (77°F) բջիջի ջերմաստիճանի, $1000\text{ Վտ}/\text{մ}^2$ արևի ճառագայթման ինտենսիվությանը և 1,5 օդի զանգվածի վրա (AM - Air Mass)։ Վահանակի արդյունավետությունը (%) հաշվարկվում է առավելագույն հզորության արժեքը կամ P_{max} (Վտ) STC-ում բաժանելով արևի ճառագայթման ինտենսիվությանը և վահանակի ընդհանուր մակերեսի վրա՝ չափված քառակուսի մետրերով։

Իրական պայմաններում օգտագործման դեպքում բջիջների ջերմաստիճանը սովորաբար բարձրանում է 25°C-ից բարձր՝ կախված շրջակա օդի ջերմաստիճանից, քամու արագությունից, օրվա ժամից և արևային ճառագայթման ինտենսիվությունից (Վտ/մ²): Արևոտ եղանակին ներքին բջիջների ջերմաստիճանը սովորաբար 20-30°C-ով բարձր է շրջակա օդի ջերմաստիճանից, ինչը հավասար է ընդհանուր թողարկման էներգիայի մոտավորապես 8-15% նվազմանը՝ կախված արևային մարտկոցի տեսակից և դրա ջերմաստիճանի գործակիցից: Արևային մարտկոցների աշխատանքի միջին իրական գնահատական տրամադրելու համար արտադրողներից շատերը նաև սահմանում են էներգիայի վարկանիշը Անվանական գործառնական բջջի ջերմաստիճանում (NOCT - *Nominal Operating Cell Temperature*) պայմաններում: NOCT-ի աշխատանքը սովորաբար սահմանվում է 45°C (113°F) բջջի ջերմաստիճանի և 800 Վտ/մ² արևային ճառագայթման ավելի ցածր մակարդակի դեպքում, որը փորձում է մոտավորել արևային վահանակի միջին իրական աշխատանքային պայմանները: Բջիջների տիպիկ ջերմաստիճանը ամառային շոգ եղանակին 65°C (149°F) է: Բջիջների ջերմաստիճանը սովորաբար 20°C-ով բարձր է շրջակա օդի ջերմաստիճանից, ինչը հավասար է NOCT-ում ելքային հզորության 5-8% նվազմանը: Այնուամենայնիվ, բջջի ջերմաստիճանը կարող է բարձրանալ մինչև 85°C, երբ տեղադրվում է մուգ գույնի տանիքի վրա, առանց քամի օրերի ընթացքում շատ շոգ՝ 45°C, շրջակա օդի պայմաններում: 85°C բջջի ջերմաստիճանը սովորաբար համարվում է արևային վահանակի առավելագույն աշխատանքային ջերմաստիճանը:

Հեռանկարային HJT տեսակի բջիջներն ունեն ցածր ջերմաստիճանային գործակից (0.26%/°C), որը մոտ 40%-ով ցածր է սովորական բազմաբյուրեղ և միաբյուրեղ սիլիցիումային բջիջների համեմատ:

Ընդհակառակը, չափազանց ցուրտ ջերմաստիճանը կարող է հանգեցնել էլեկտրաէներգիայի արտադրության ավելացմանը, քան անվանական ցուցանակից բարձր, քանի որ \$4 բջիջների լարումը մեծանում է STC-ից (25°C) ցածր ջերմաստիճաններում: Արևային մարտկոցները կարող են գերազանցել վահանակի P_{max} հզորությունը կարճ ժամանակով շատ ցուրտ եղանակին: Սա հաճախ տեղի է ունենում, երբ արևի ամբողջ լույսը ընկնում է վահանակ վրա ամպամած եղանակից հետո:

Առաջատար արևային \$4 տեխնոլոգիաների հապավումներ և անվանումներ.

HJT - Heterojunction Cells - Հետերոյոգեն (տարասեռ) անցումով տեխնոլոգիաներով բջիջներ, **TOPCon - Tunnel Oxide Passivated Contact** - Թունելային օքսիդացման պասիվացված կոնտակտ, **Gapless Cells** - Բարձր խտության բջիջների կառուցվածք, **PERC - Passivated Emitter and Rear Contact Cells** - պասիվացված էմիտերով և հետևի կոնտակտներով բջիջներ, **Multi Busbar** – Multi ribbon and micro-wire busbars - Բազմաժապավեն և միկրոլարային հաղորդաթիթեղներ, **Split cells** - half-cut and 1/3 cut cells - Սպլիտ բջիջներ – երկու մասի կտրված և 1/3 կտրված բջիջներ, **Shingled Cells** - Սալիկապատ բջիջներ - բազմակի համընկնող բջիջներ, **IBC - Interdigitated Back Contact** - փոխարինող հետևի կոնտակտներով բջիջներ, **PERT** - Passivated Emitter Rear Totally Diffused- cells, **PERL** - passivated emitter with rear locally diffused cells:

Ավելի արդյունավետ վահանակներ, որոնք օգտագործում են N-տիպի բջիջներ, բնութագրվում են լույսի ազդեցությամբ առաջացած քայքայման (LID - light-induced degradation) ավելի ցածր գործակիցից, որը կազմում է տարեկան էներգիայի կորստի 0,25%-ը: Երբ կորուստները

հաշվարկվում են վահանակի 25-ից 30 տարի ժամկետով, այս բարձր արդյունավետությամբ վահանակներից շատերը երաշխավորված են, որ դեռևս կստեղծեն նախնական գնահատված հզորության 90%-ը կամ ավելին՝ կախված արտադրողի երաշխիքային մանրամասներից: Այնուամենայնիվ, շուկայում առկա են և օգտագործվում են 0,4% և ավելի LID ունեցող վահանակներ, օրինակ, կան քայքայման ցածր մակարդակով (տարեկան 0,4%) Jingo Solar վահանակները:

STC-ից բարձր կամ ցածր բջիջների ջերմաստիճանը կա՛մ կնվազեցնի կամ կավելացնի ելքային հզորությունը որոշակի քանակությամբ՝ 25°C-ից բարձր կամ ցածր յուրաքանչյուր աստիճանի համար: Սա հայտնի է որպես հզորության ջերմաստիճանի գործակից, որը չափվում է %/°C-ով: Միաբյուրեղային վահանակներն ունեն -0,38% /°C միջին ջերմաստիճանի գործակից, միևնույն պոլիբյուրեղային վահանակները մի փոքր ավելի բարձր են՝ -0,40% /°C: Մոնոբյուրեղային IBC բջիջները ունեն շատ ավելի լավ (ցածր) ջերմաստիճանի գործակից՝ մոտ -0,30%/°C, միևնույն բարձր ջերմաստիճանի դեպքում ամենալավ գործող բջիջները HJT (հետերոդոնացիա) բջիջներն են, որոնք ցածր են մինչև -0,25%/°C:

400Վտ-ից բարձր արդյունավետությամբ վահանակը կարող է արժենալ 350 ԱՄՆ դոլար կամ ավելի (0,90 ԱՄՆ դոլար/Վտ), միևնույն սովորական 370Վտ վահանակը սովորաբար արժե մոտ 185 ԱՄՆ դոլար կամ մոտավորապես 0,50 ԱՄՆ դոլար/Վտ: Առաջատար արտադրողների դեպքում, ինչպիսիք են Sunpower-ը, Panasonic-ը և REC-ը, ավելի թանկ վահանակներն ապահովում են ավելի բարձր արդյունավետություն՝ ավելի ցածր քայքայման տեմպերով և, ընդհանուր առմամբ, ունեն ավելի երկար արտադրողականության (performance) կամ արտադրանքի (product) երաշխիքային ժամկետ, ուստի դա հաճախ իմաստուն արդարացված ներդրում է:

Պատրաստեց՝ Ֆ.մ.գ.թ. Ա. Սարգսյան, Էկոթիմ ՅԿ -ի ղեկավար՝ Cleaner Energy Reviews պարբերականի, Էներջի գրին լոդ, GEFF, CIF կայքերի և այլ ինտերնետ նյութերի հիման վրա: