Galingesnės saulės baterijos. Naujos saulės elementų technologijos

Vidmantas Gulbinas

Fizinių ir Technologijos Mokslų Centras

Inventorizacija

Energijos šaltiniai:

- Saulė
- Ne Saulė

Saulės energija

Tiesioginė Saulės šviesos energija

Praktiškai neribota galia, neišsenkanti

Galime paversti į šilumą, elektrą, gaminti vandenilį...

Mažas energijos tankis ~1 kW/m^2

Sukaupta Saulės energija

Hidro energija

Saulės išgarinto vandens energija **sukaupta** iš didelio ploto

Bangų energija

Du kartus perversta Saulės energija

saulės > vėjo > bangų

Vėjo energija

Saulės šilumos sukurtų oro srautų energija **sukaupta** iš labai didelio ploto

Biokuras

Per metus (šiaudai), dešimtmečius ar šimtmečius **sukaupta** Saulės energija (mediena, durpės).

Iškastinis kuras

Per ~300 mil. metų **sukaupta** Saulės energija ir įkalinta anglis.

Nedidelė Saulės energijos dalis paversta į kitą rūšį, bet koncentruota

Ne Saulės energija

- Branduolinė (branduolių sintezės, branduolių skilimo)
- Žemės gelmių šiluma
- Potvynių – atoslūgių (Mėnulio energija)

Paryžiaus sutartis 2015

2050 pasiekti nulinę anglies emisiją

Kaip tai padaryti?

- *Pramonėje, transporte, žemės ūkyje – sunku*
- *Elektros gamyboje - įmanoma*

Prog. Photovolt: Res. Appl. 2017; 25:727–745

On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios

Christian Breyer[1*], Dmitrii Bogdanov[1], Ashish Gulagi[1], Arman Aghahosseini[1], Larissa S.N.S. Barbosa[2,3], Otto Koskinen[1], Maulidi Barasa[1], Upeksha Caldera[1], Svetlana Afanasyeva[1], Michael Child[1], Javier Farfan[1] and Pasi Vainikka[2]

- Įvertino, kad energijos poreikis 2050 padvigubės
- Suskirstė pasaulį į 145 regionus
- Suskaičiavo elektros gamybą ir poreikį kas valandą visuose regionuose
- Numatė elektros jungtis

Prielaidos:

- Bus pasiektas 30% saulės elementų našumas,
- Saulės elektra atpigs iki 5-7 EURO centų už kWh,
- Bus sukurti našūs įvairių rūšių elementai

Elektros gamyba 2050

Pasaulyje:

Saulės elektra – 70%

Vėjo elektra – 20%

Kiti atsinaujinantys šaltiniai 10%

Lenkijoje:

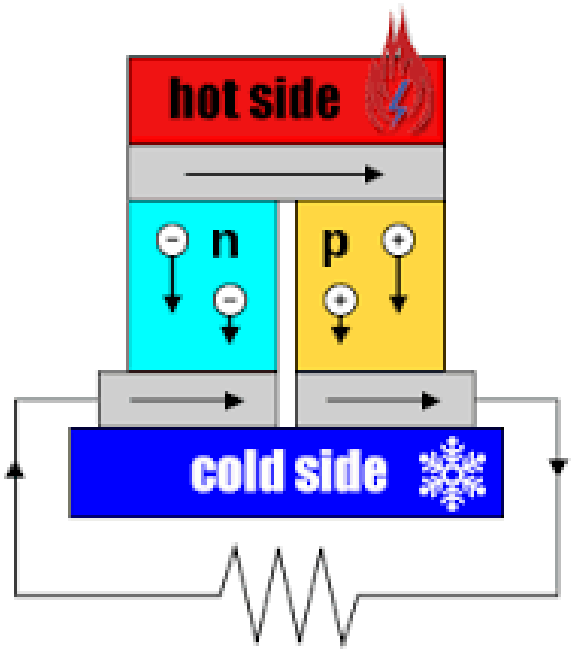
Saulės elektra – 30%

Vėjo elektra – 50%

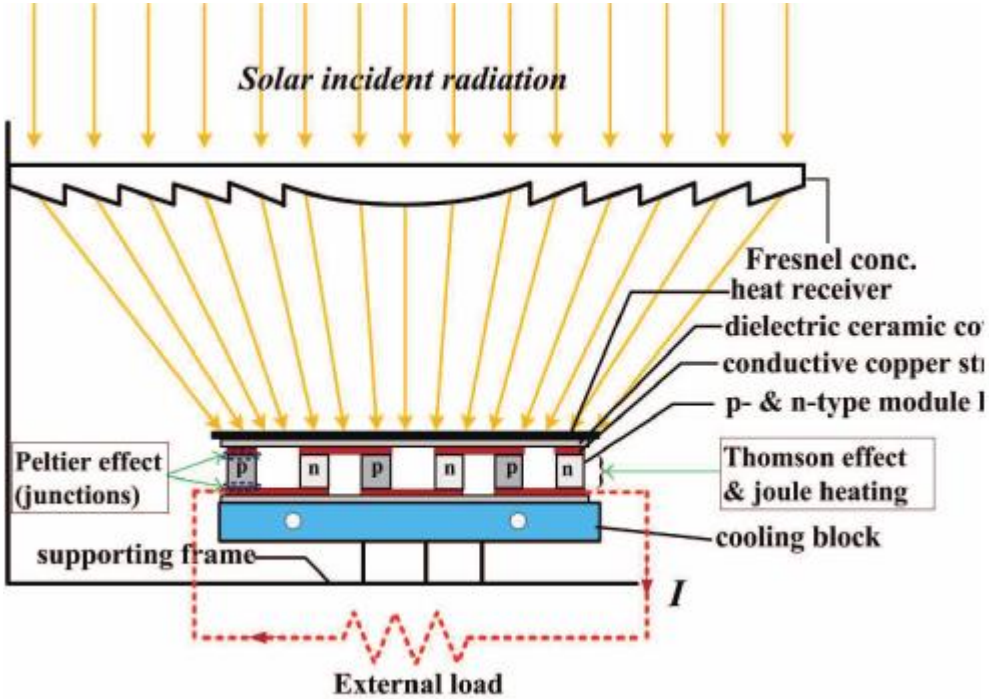
Saulės šiluminės elektrinės

Sukoncentruoja šviesą iki 1500 kartų
Naudoja ištirpintų druskų šilumos nešiklius
Reikalauja saulėto oro.
Turi keliu valandų akumuliacinę trukmę
Pasaulyje veikia apie 30 elektrinių kurių galingumas 100 mW ir daugiau.
Galingiausia **510 mW** nuo 2018 m. veikia Maroke
Jungtiniuose Arabų Emiratuose statoma **710 mW.**
Kaina 0,15-0,35 USD/ kWh. Nedidelės sumažinimo galimybės.

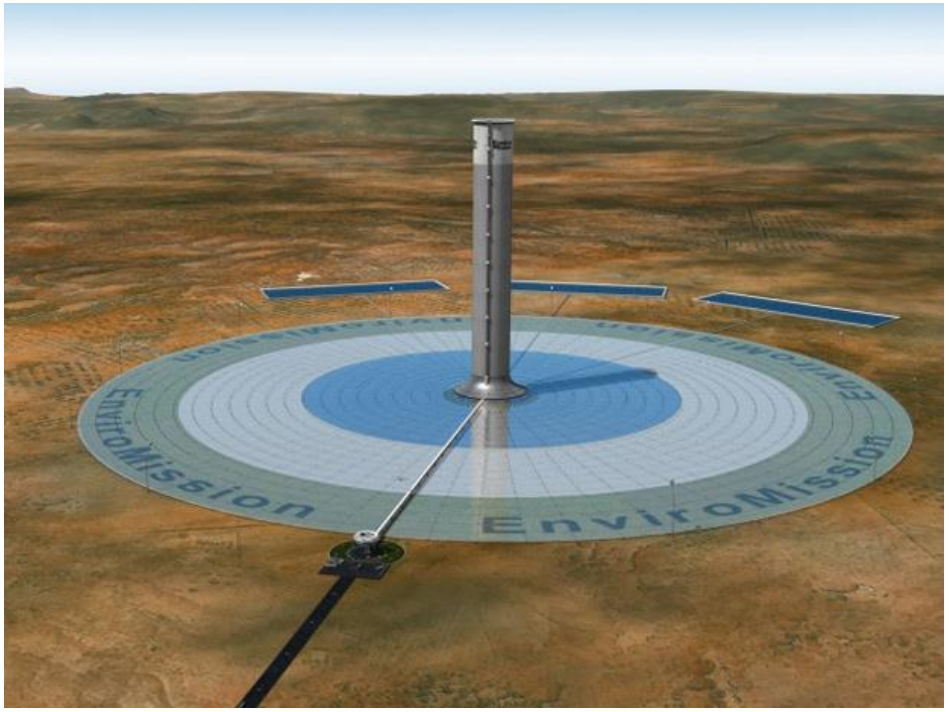
Termolektriniai elementai

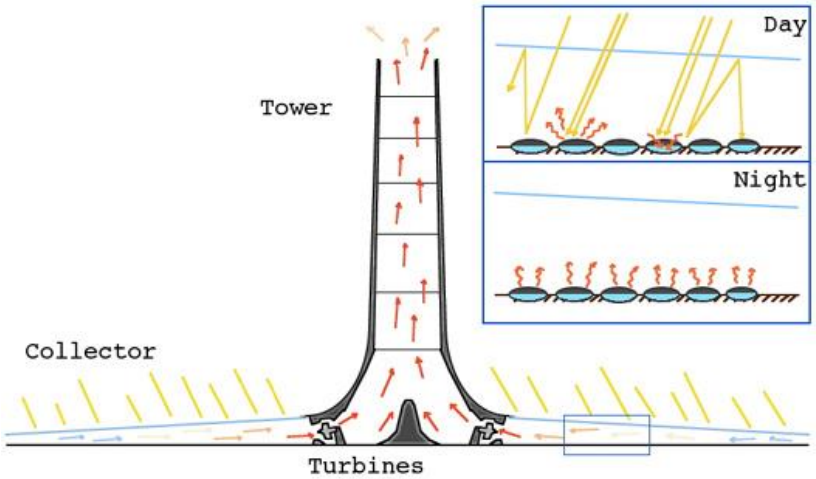


Seebeck efektas



Saulės kaminas

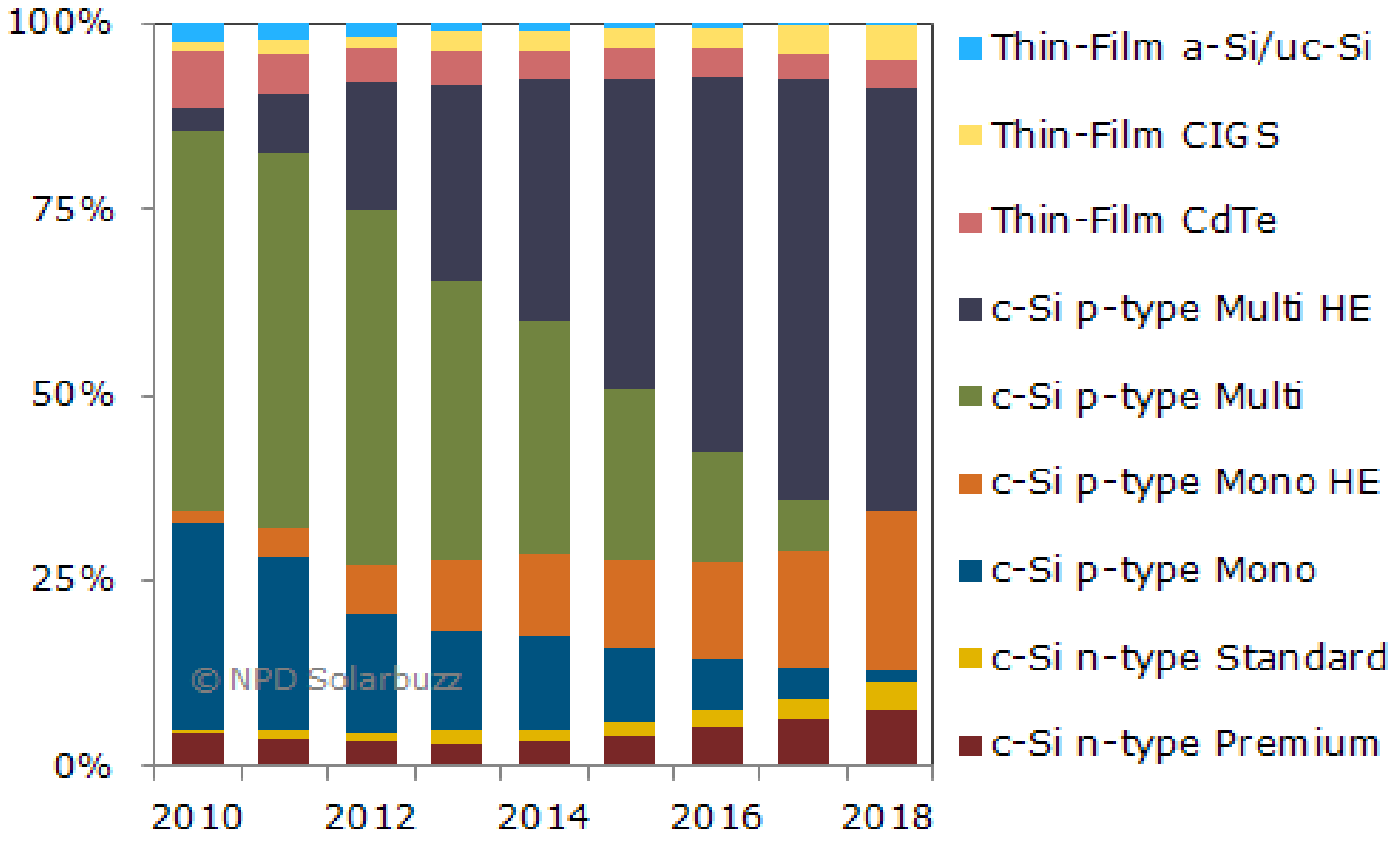




195 m. aukščio kaminas Ispanijoje.
Galia - 50 kW

Fotovoltiniai saulės elementai

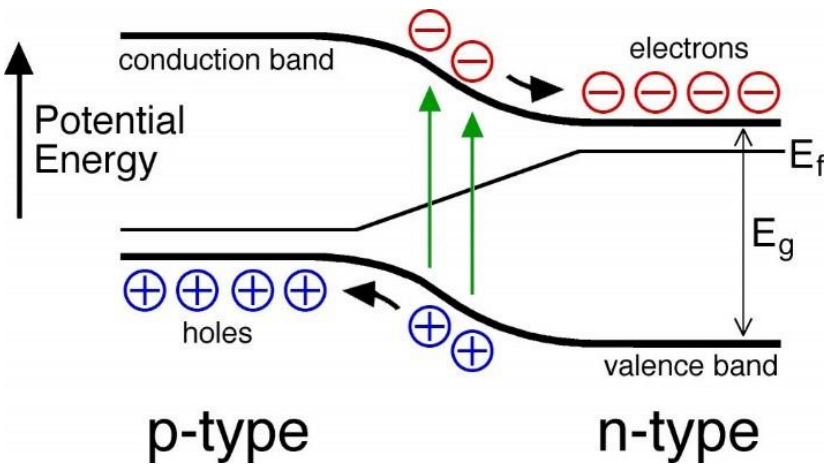
Įvairių tipų Saulės elementų instaliacijos

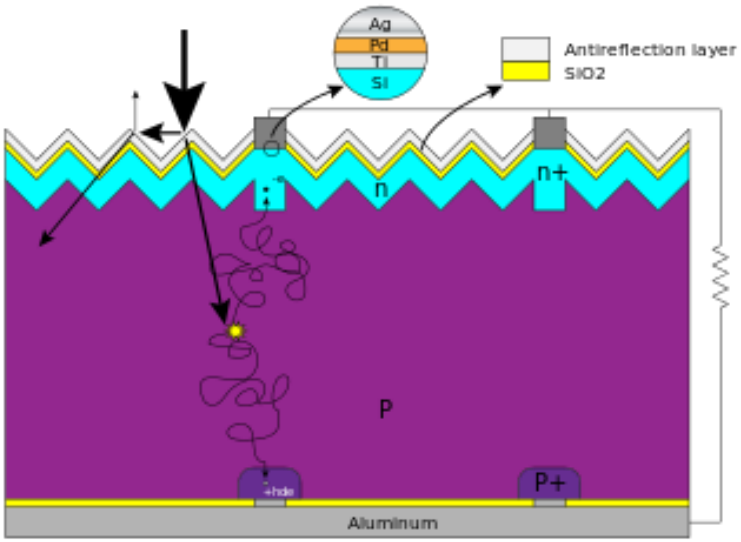


Didžiausios saulės elementų elektrinės

- Tengger Desert Solar Park, China – **1,547** MW
- Sweihan Photovoltaic Independent Power Project, UAE – **1,177** MW
- Yanchi Ningxia Solar Park, China – **1,000** MW
- Datong Solar Power Top Runner Base, China – **1,070** MW
- Kurnool Ultra Mega Solar Park, India – **1,000** MW
- Longyangxia Dam Solar Park, China – 850MW
- Enel Villanueva PV Plant, Mexico – 828MW
- Kamuthi Solar Power Station, India – 648MW
- Solar Star Projects, US – 579MW
- Topaz Solar Farm / Desert Sunlight Solar Farm, US – 550MW

Silicio saulės elementai





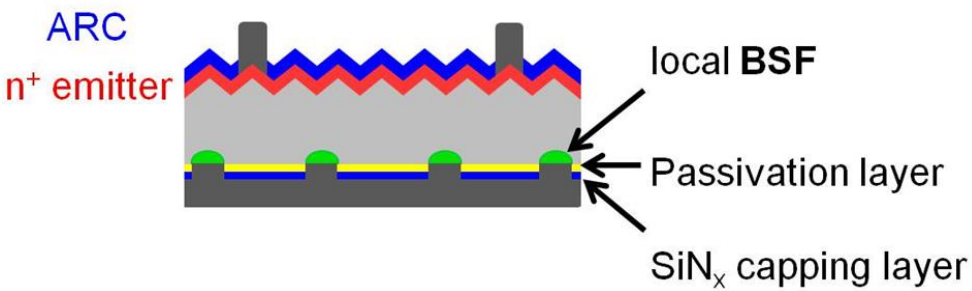
Našumas – (20-22) %
Rekordinis našumas 27,1%

Silicio elementų našumo gerinimas

Kaneka Corporation (Japonija) paisiekė **26,6 %** monokristalinių Si elementų našumą panaudodami amorfinio Si pasivacinį sluoksnį. Tikisi pasiekti 27%.

Froungofer Institute for Solar Energy Systems pasiekė **22,3%** polikristalinių Si elementų našumą pagerindami Si kristalitų kokybę

PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) technologija

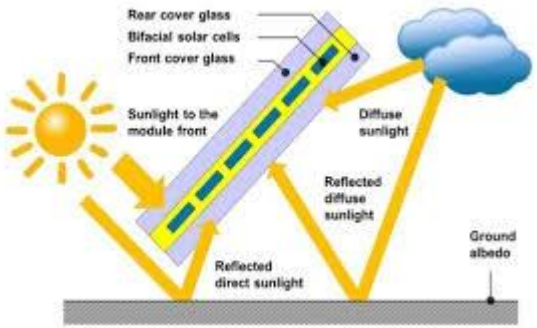


Papildomas pasivacinis sluoksnis

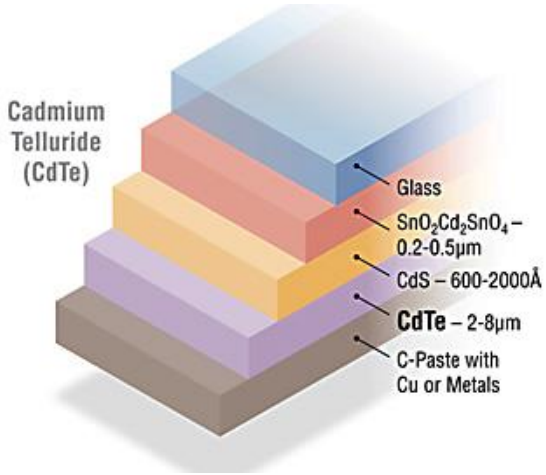
- ***Sumažina rekombinaciją***
- ***Gražina atgal sesugertą šviesą***
- ***Atspindi > 1180 nm šviesą ir sumažina kaitimą***

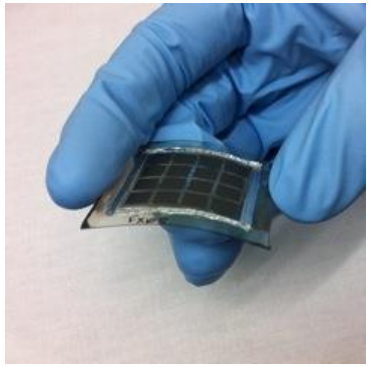
- ***Padidina našumą keliais procentais***
- ***Iškyla stabilumo problemos***

Dvipusiai saulės elementai



CdTe elementai





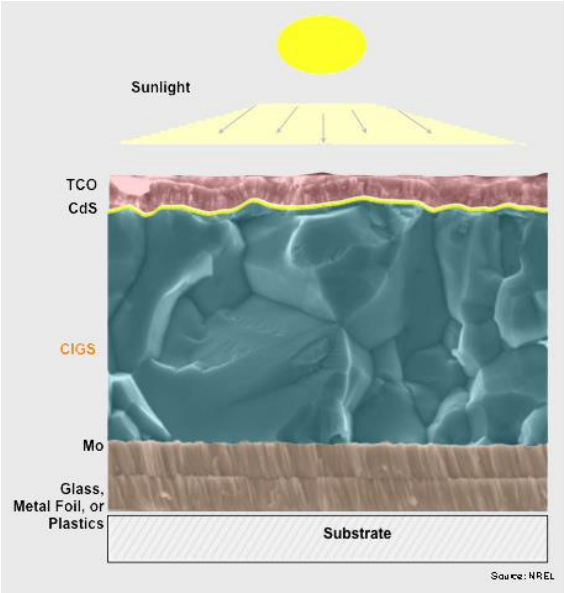
Privalumai:

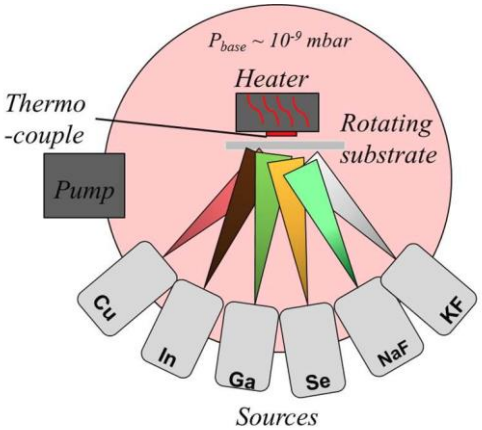
- **Plonasluoksniai, gali būti lankstūs**
- **Pigi gamyba, nusodinimo iš garų ir tirpalų metodais**
- **Našumas siekia 22,1%**

Trūkumai:

- **Cd toksiškas**
- **Te retas elementas**

CIGS ($CuIn_xGa_{(1-x)}Se_2$) elementai





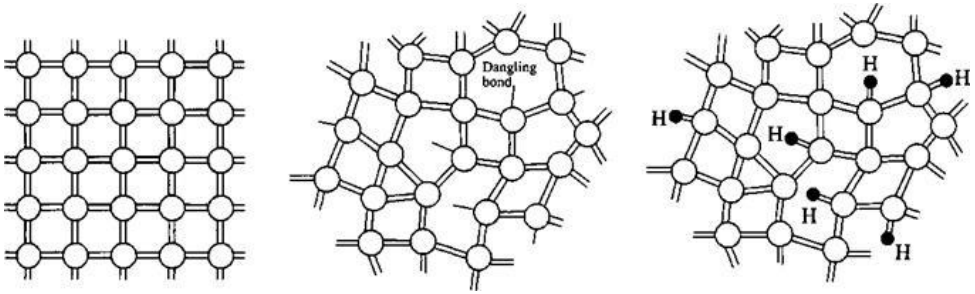
Privalumai:

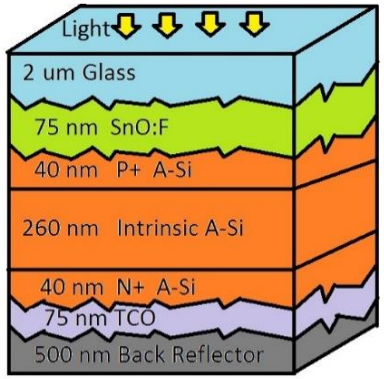
- Plonasluoksniai, gali būti lankstūs
- Formuojami nusodinimo iš garų ir tirpalų metodais
- Našumas siekia 24%
- Lyginant su CdTe naudoja mažai Cd

Trūkumai:

- Gan brangūs kai kurie technologiniai procesai

Hidrogenizuoto amorfinio Si elementai





Privalumai:

- **Pigi gamyba**
- **Geresnis homogeniškumas**
- **Galima gaminti ant įvairių paviršių ir įvairių formų**
- **Ne toks trapus kaip kristalinis Si.**

Trūkumai:

- **Mažas efektyvumas (~14%)**
- **Blogesnis ilgalaikis stabilumas**

GaAs elementai

Privalumai:

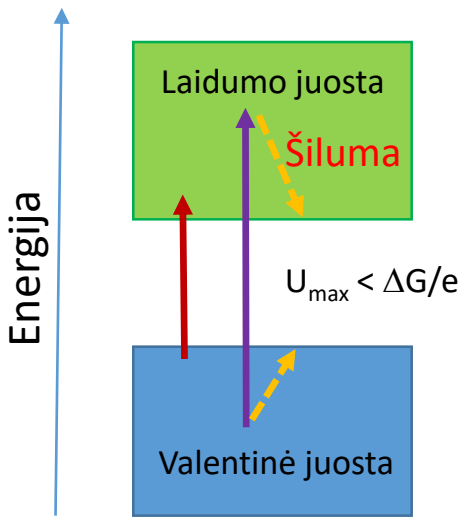
- Stipri sugerties, todėl gali būti ploni (1-2 mikronų) ir lankstūs
- Elementų našumas silpnai priklauso nuo temperatūros
- Geras našumas esant silpnam apšvietimui
- Atsparūs aplinkos ir radiacijos poveikiui
- Pasiektas 28.8% našumas

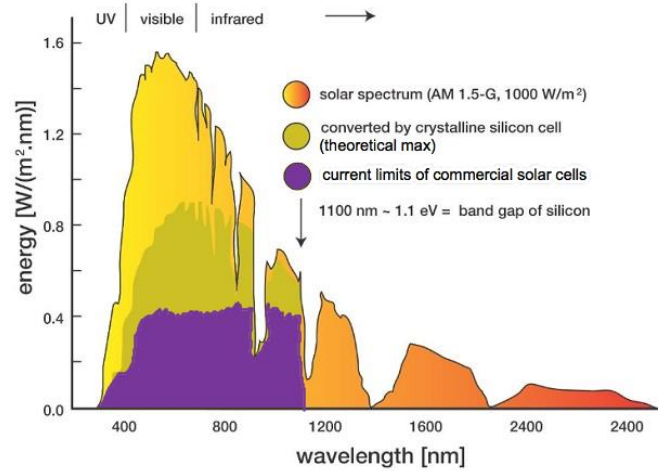
Trūkumai:

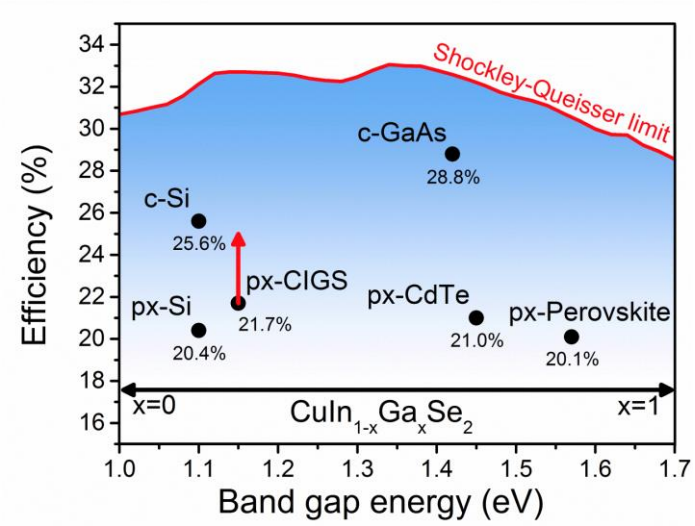
- Monokristalai apie 1000 kartų brangesni nei Si
- Ploni sluokniai gaminti MOCVD technologija apie 10 kartų brangesni nei Si

Kodėl saulės elementų našumai tokie maži?

Shockley-Queisser riba

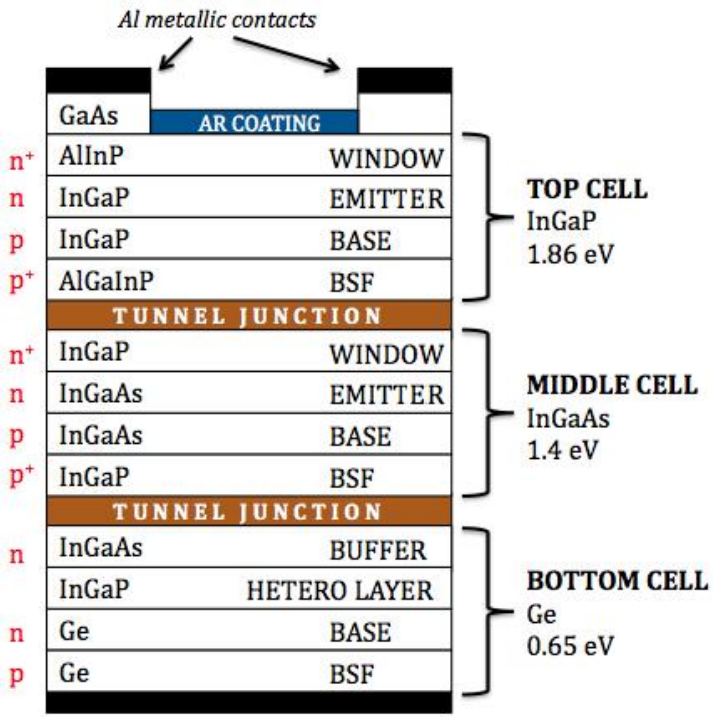




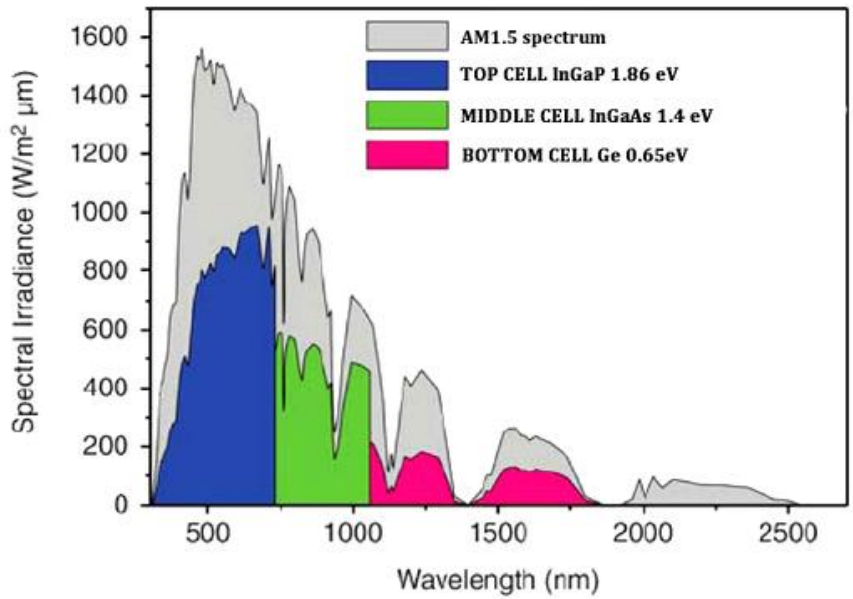


Shockley-Queisser ribos viršijimas

Kelių sąndūrų elementai



(a)



(b)

Pasiektas maksimalus našumas keturių sąndūrų elementui **47,1 %** (NREL)

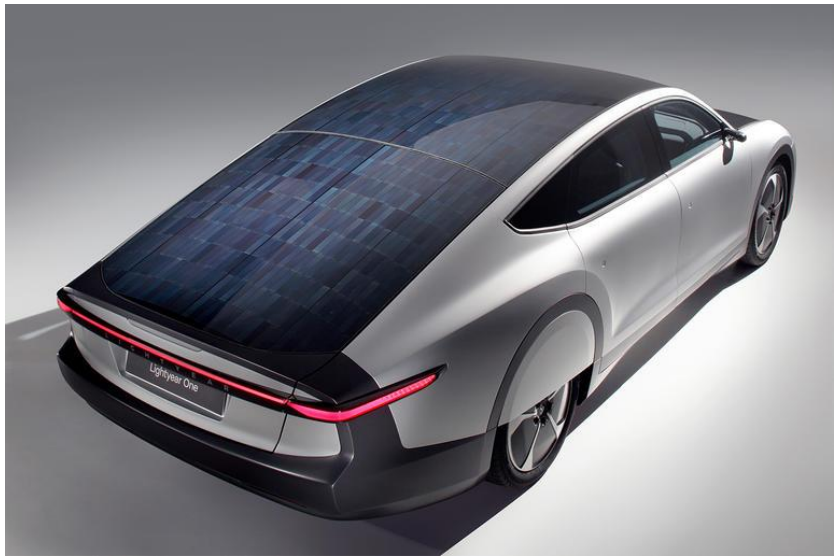
Maksimalus teorinis efektyvumas **(64-68.8)**% (priklausomai nuo skaičiavimo metodo)

Saulės automobiliai

Toyota Prius

Naudoja Sharp trijų sandūrų
34% efektyvumo
860 W galios saulės elementus

Pasikrovęs saulėtą dieną gali nuvažiuoti ~50 km

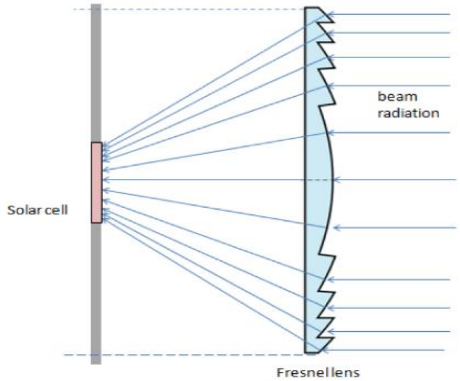


Lightyear One

Padedant Saulei vienu pakrovimu gali nuvažiuoti 800 km

Koncentruoti saulės elementai

Aukštos koncentracijos saulės elementų elektrinė Kinijoje



Aukštos koncentracijos

- Naudoja Frenelio lešius arba įgaubtus veidrodžius
- Koncentruoja iki 400 kartų
- Naudoja 3-4 sandūrų mažus saulės elementus
- Būtinas dviejų ašių deriminas, ir saulėtas oras
- Pasiektas **47,1%** našumas su keturių sandūrų elementais. Realiomis sąlygomis našumas ~33%
- Nebijo kaitimo,
- Dabar kaina/W kelis kartus didesnė, bet daug piginimo galimybių

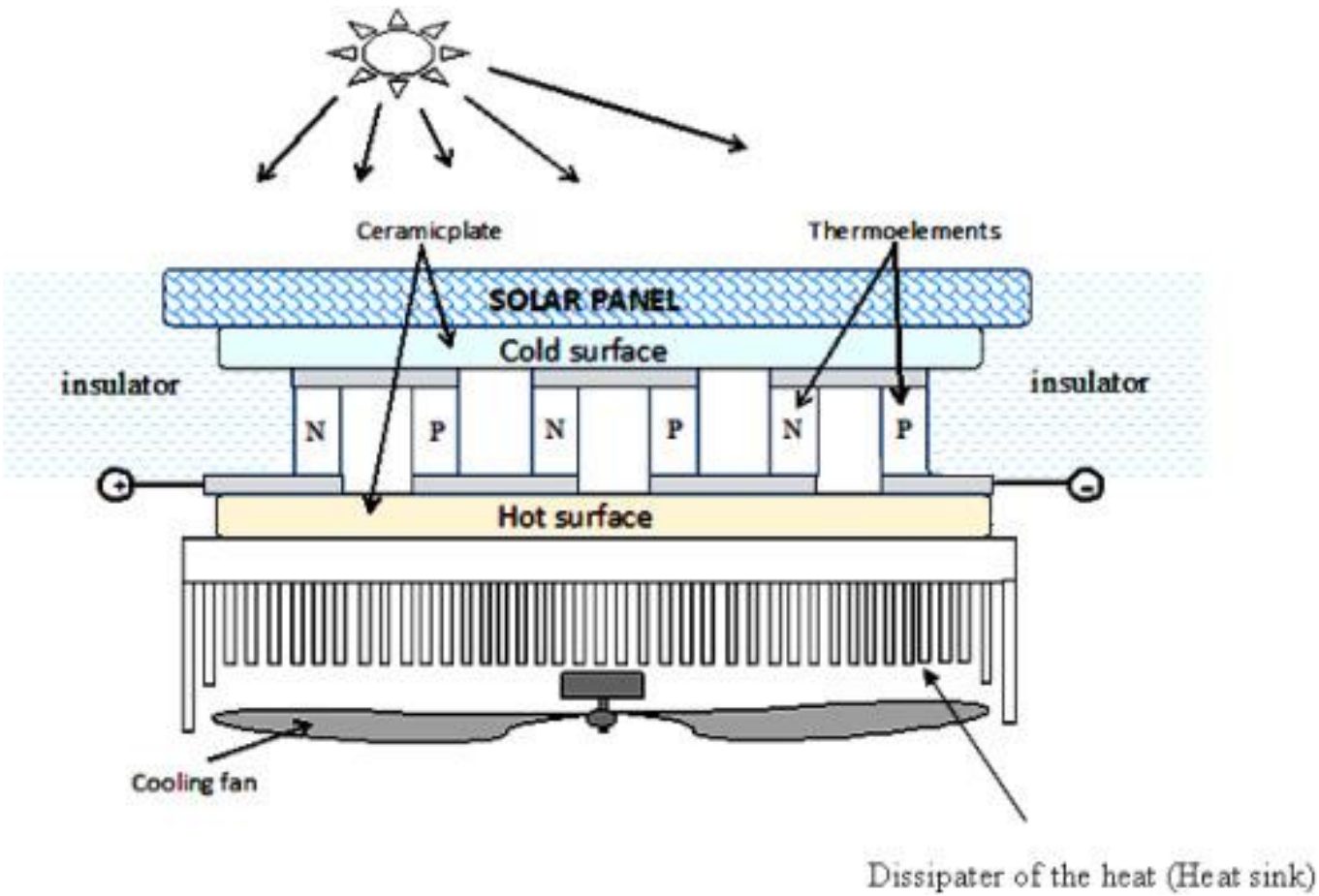
Žemos koncentracijos elektrinė

Žemos koncentracijos

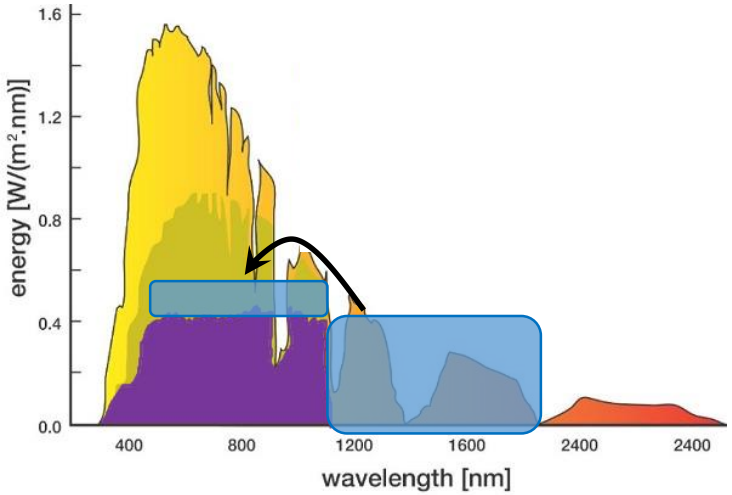
Koncentruoja 2-10 kartų
Naudoja veidrodžius

Vystomos naujos technologijos

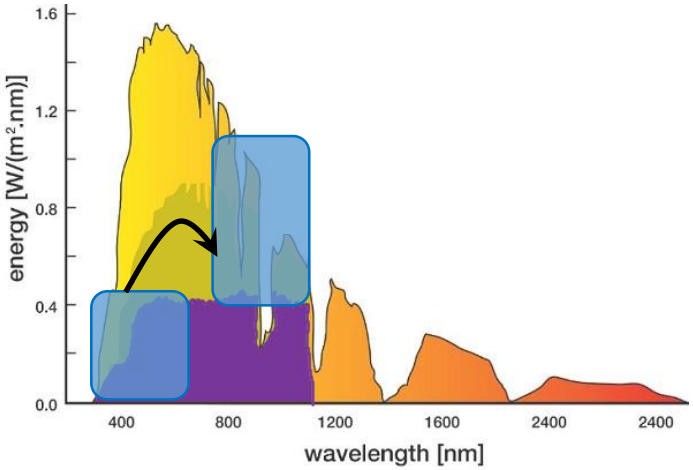
Fotovoltinio ir termoelektrinio elementų tandemas



Fotonų energijos sumavimas

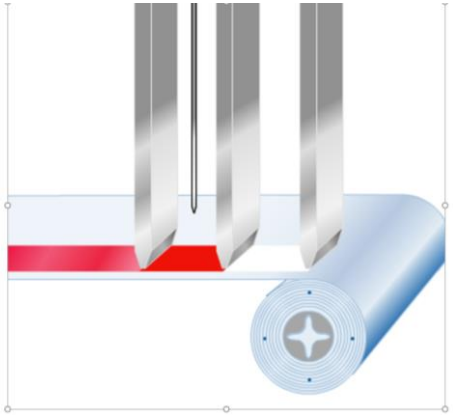


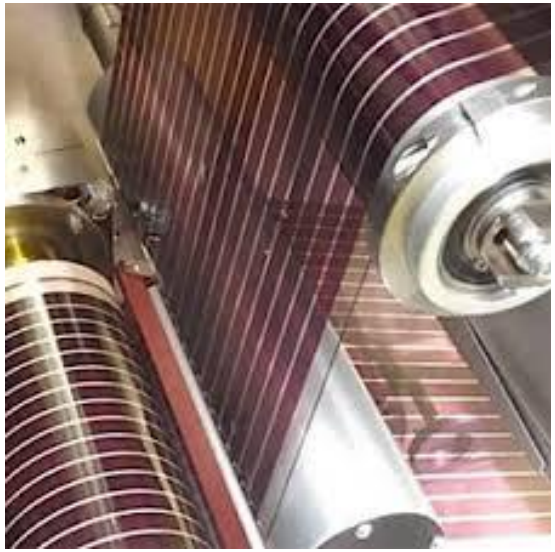
Fotonų skaidymas



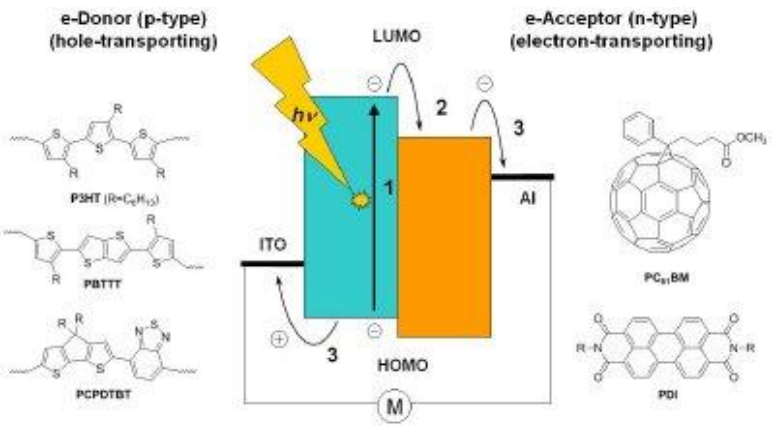
Trečios kartos elementai

- Organiniai arba hibridiniai
- Formuojami iš tirpalų arba garinimo būdu
- Lankstūs, formuojami ant plastiko
- Gaminami nepertraukiamu būdu rulonais





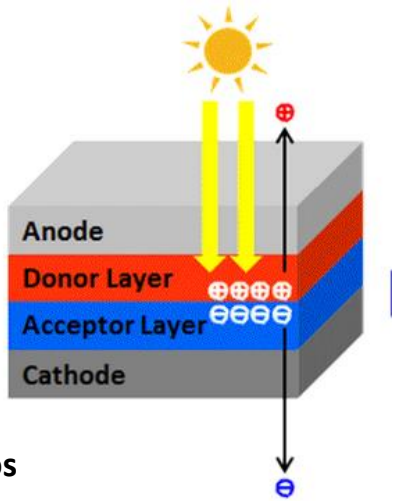
Organiniai saulės elementai



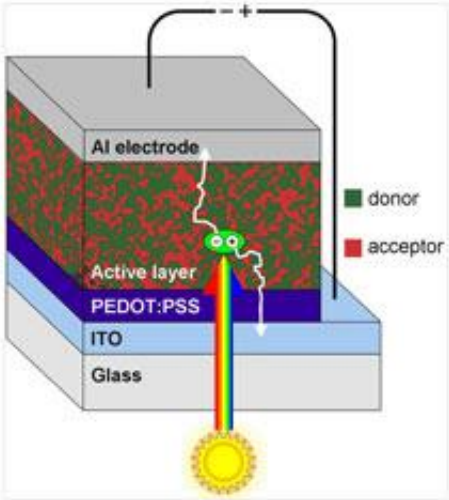
Šviesa tiesiogiai sukuria ne laisvus krūvininkus o surištas elektrono-skylės poras - eksitonus

- Gali būti lankstūs, gaminami rulonais
- Pigios organinės medžiagos ir formavimo technologijos
- Našumas, iki 14%, tandeminių iki 17%
- Nepakankamas ilgalaikis stabilumas

Bisluoksniai



Tūrinės heterosandūros



Dažais jautrinti saulės elementai (Grätzel cell)

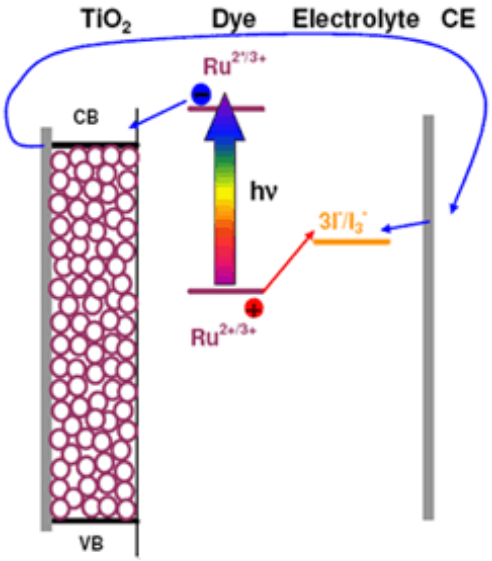
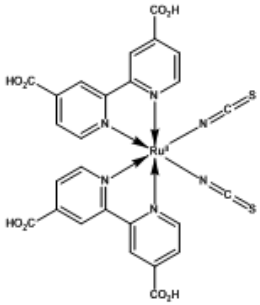


Figure 1. Schematic of electron pathway in a DSC system



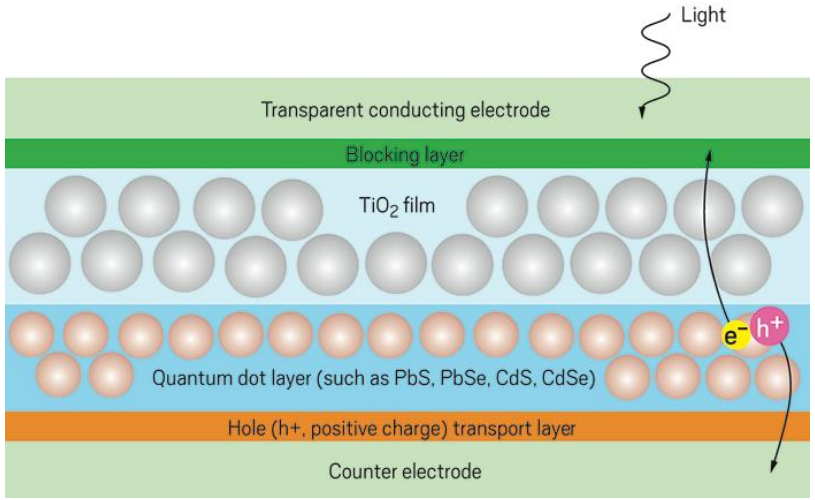
Privalumai:

- **Lankstūs**
- **Gali būti įvairių spalvų**
- **Pasiektas ~14 % našumas**

Trūkumai:

- **Nepakankamas ilgalaikis stabilumas**

Kvantinių taškų saulės elementai



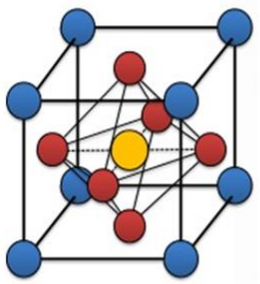
Privalumai:

- **Galimybė generuoti dvi e-h poras ir viršyti Shockley-Queisser ribą**
- **Formuojami iš tirpalo liejimo būdu**
- **Pasiektas 13,4 % našumas**

Trūkumai:

- **Brangi gamyba**

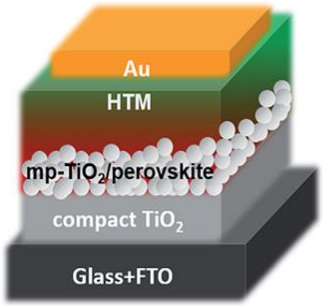
Perovskitiniai saulės elementai



A Organinis katijonas ($CH_3NH_3^+$; $HN{=}CHNH_3^+$)

B Metalo katijonas (Pb, Sn, Ge)

X Halogenai (Cl, Br, I)



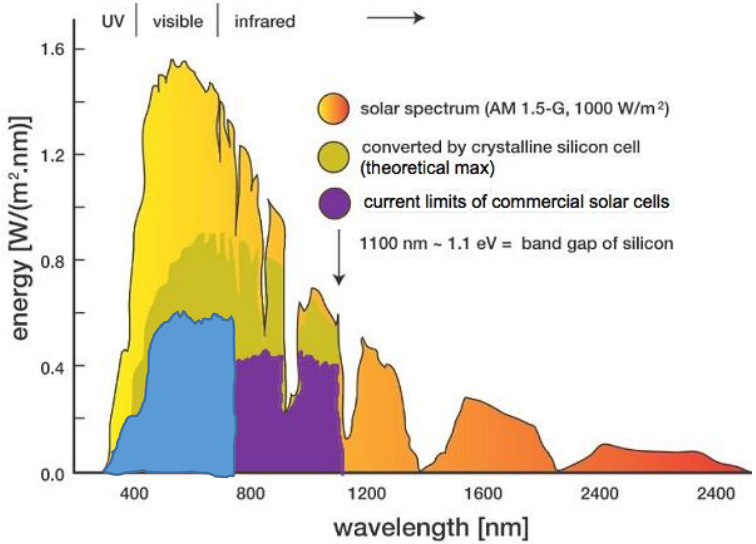
Privalumai:

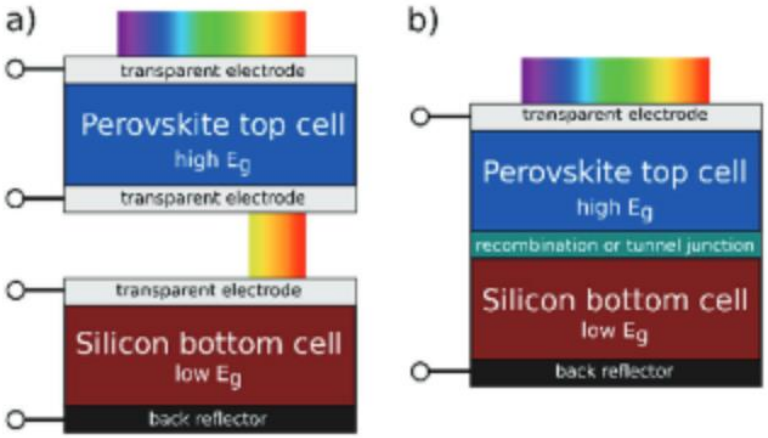
- **Formuojami iš tirpalo arba terminiu garinimu**
- **Pasižymi klasikinių puslaidininkių savybėmis**
- **Pasiektas ~25% našumas**

Trūkumai:

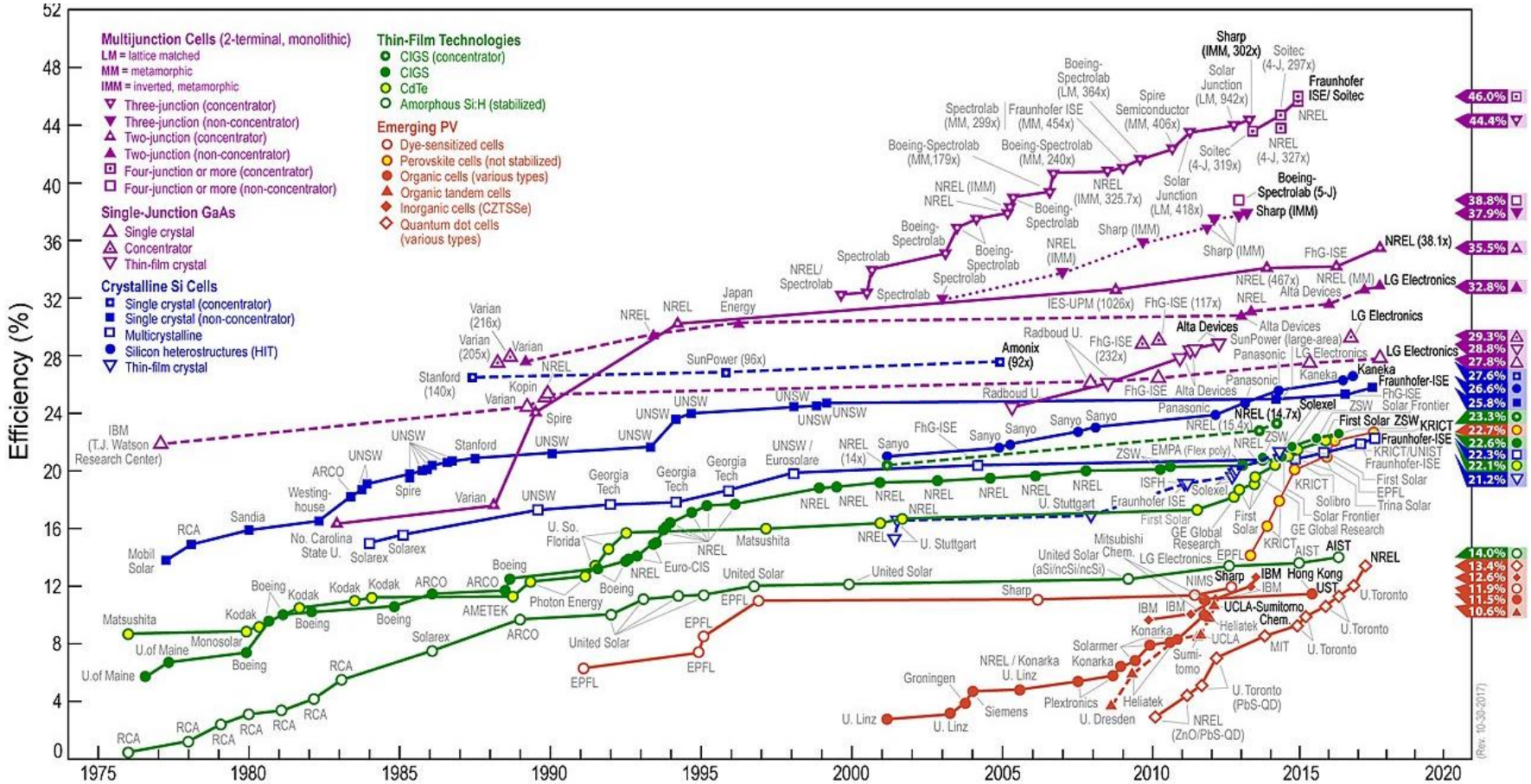
- **Turi švino**
- **Degraduoja nuo vandens, deguonies, šviesos**

Si -Perovskito tandeminiai elementai





- **Pasiektas 25,3% našumas**
- **Tikimasi pasiekti >30% našumą**



Kodėl tiek daug saulės elementų rūšių vystoma?

a) Niekas nežino kuri perspektyviausia

b) **Yra įvairių panaudojimo sričių reiklaujančių skirtingų parametrų:**

Pusiau skaidrūs

Nors ir mažesnio efektyvumo bet lankstūs

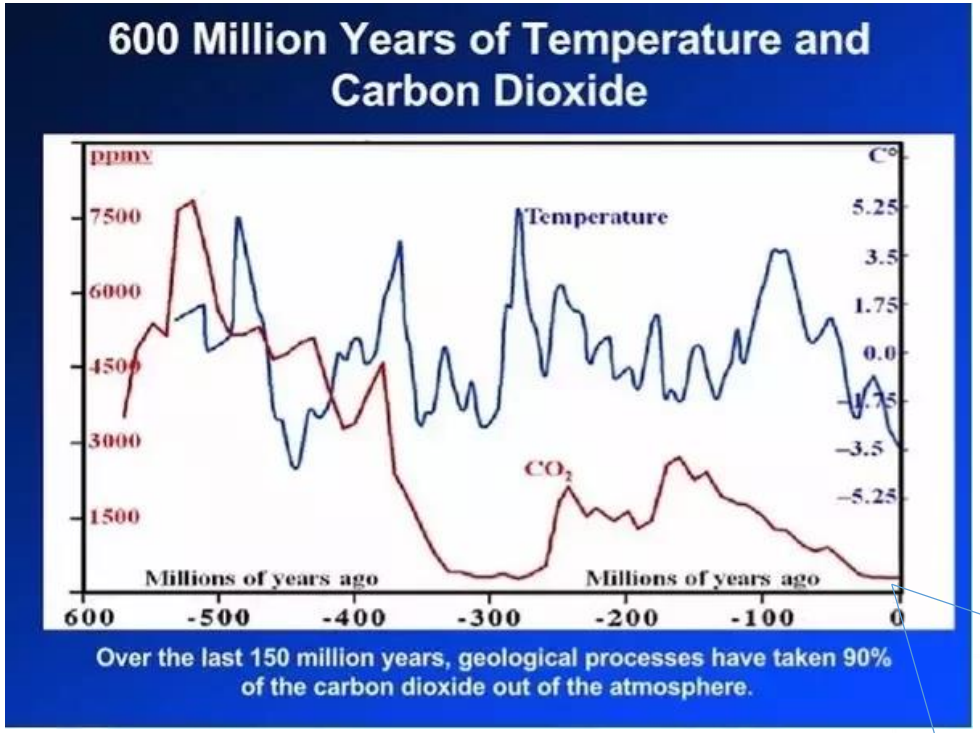
Brangūs bet efektyvūs

Perkant brangų elektromobilį daug kas nepagailės 1000 EUR už saulės elementus, kurie gal niekada neatsipirks

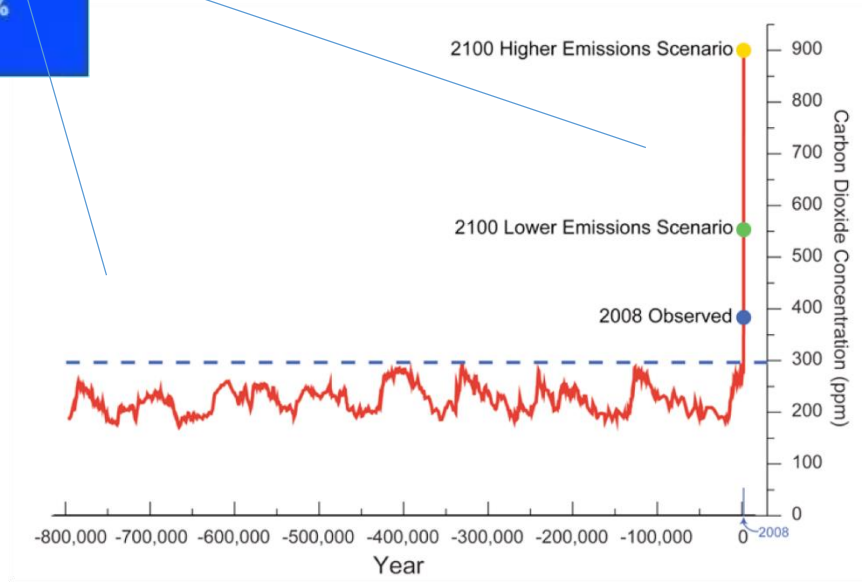
Nors ir neilgaalaikiai bet pigūs

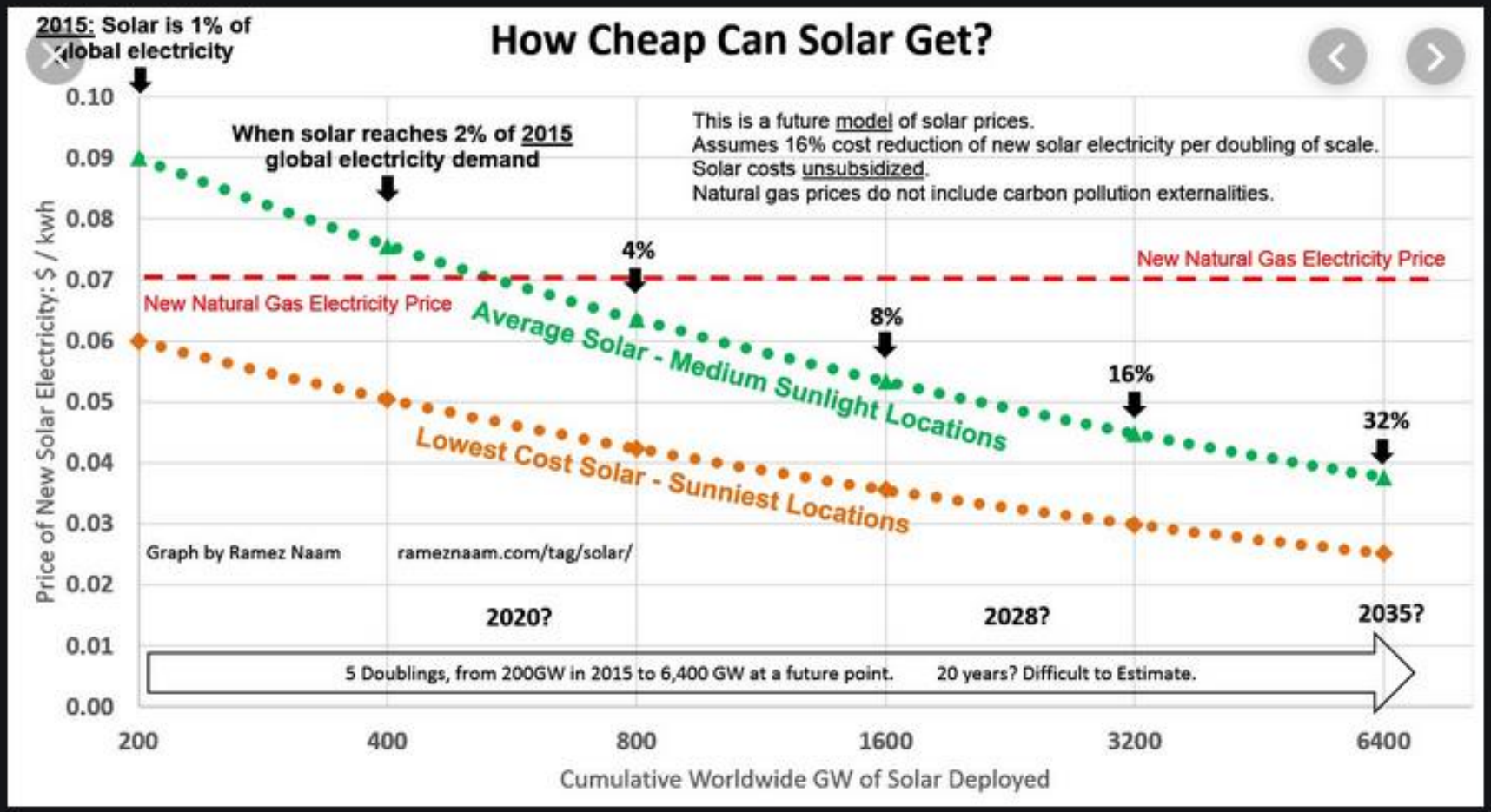
Ačiū už dėmesį

CO_2 koncentracijos kitimas



- **Augalai mažino CO_2 koncentraciją, vulkanai – didino.**
- **Vulkanų aktyvumas mažėja**
- **CO_2 - augalų „maistas“**
- **Gyvybė žemėje išnyks kai neliks CO_2**
- **CO_2 išlaisviname per greitai**




How Cheap Can Solar Get?
2015: Solar is 1% of global electricity
When solar reaches 2% of 2015 global electricity demand
This is a future model of solar prices.
Assumes 16% cost reduction of new solar electricity per doubling of scale.
Solar costs unsubsidized.
Natural gas prices do not include carbon pollution externalities.
4%
8%
16%
32%
New Natural Gas Electricity Price
New Natural Gas Electricity Price
Average Solar - Medium Sunlight Locations
Lowest Cost Solar - Sunniest Locations
Graph by Ramez Naam
rameznaam.com/tag/solar/
2020?
2028?
2035?
5 Doublings, from 200GW in 2015 to 6,400 GW at a future point.
20 years? Difficult to Estimate.
Price of New Solar Electricity: $ / kwh
0.10
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
200
400
800
1600
3200
6400
Cumulative Worldwide GW of Solar Deployed

Kodėl vystoma tokia gausybė technologijų?

Kas daroma Lietuvoje

FTMC

Molekulinių darinių fizikos skyrius

- **Tiriama krūvininkų generacija ir judėjimas organiniuose Saulės elementuose, ieškoma būdų šios procesus optimizuoti;**
- **Tiriami spartūs elektroniniai procesai perovskitiniuose Saulės elementuose;**
- **Ieškoma būdų pagerinti perovskitinių elementų stabilumą.**

Lazerinių technologijų skyrius

- **Kuriamos lazerinės technologijos plonasluoksnių saulės elementų gamybai**

VU

Tiriami ir kuriami organinai, perovskitiniai saulės elementai

KTU

Kuriamos medžiagos, organiniamas ir perovskitiniams saulės elementams