

結晶シリコン太陽電池 (2)

[復習問題] つぎの問題は復習です。答えはここに問題ごとに書いてあります。

- [1] 光が赤色のとき、波長、振動数、そしてエネルギー eV は？ MKSA 単位系で計算する（もちろん CGS 系と比例関係にある）。
- [2] 赤色の吸収が起きる領域はエネルギーで何 eV か？ 日射量を同じグラフに表示する。
- [3] 太陽電池の PERL セルを説明しなさい。

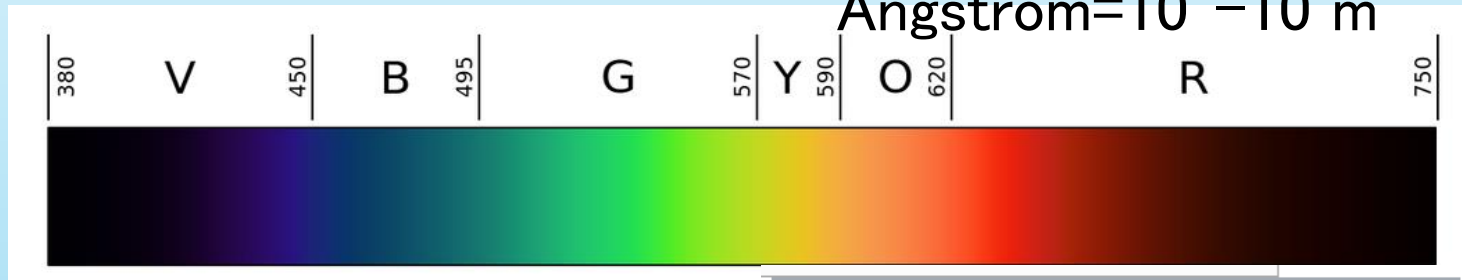
[復習1] 赤色光の波長, 振動数, エネルギー

$c = \nu\lambda$ 電磁波のとき, 速度は光速 c である。

$\lambda = 750\text{nm}$ 可視光で**赤色**の長波長では

$$\nu = c / \lambda = 3 \times 10^8 \text{ (m / s)} / 7.5 \times 10^{-7} \text{ m} = 4.0 \times 10^{14} / \text{s}$$

Angstrom = 10^{-10} m



赤色のエネルギー

$$E = h\nu = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 4.0 \times 10^{14} / \text{s}$$

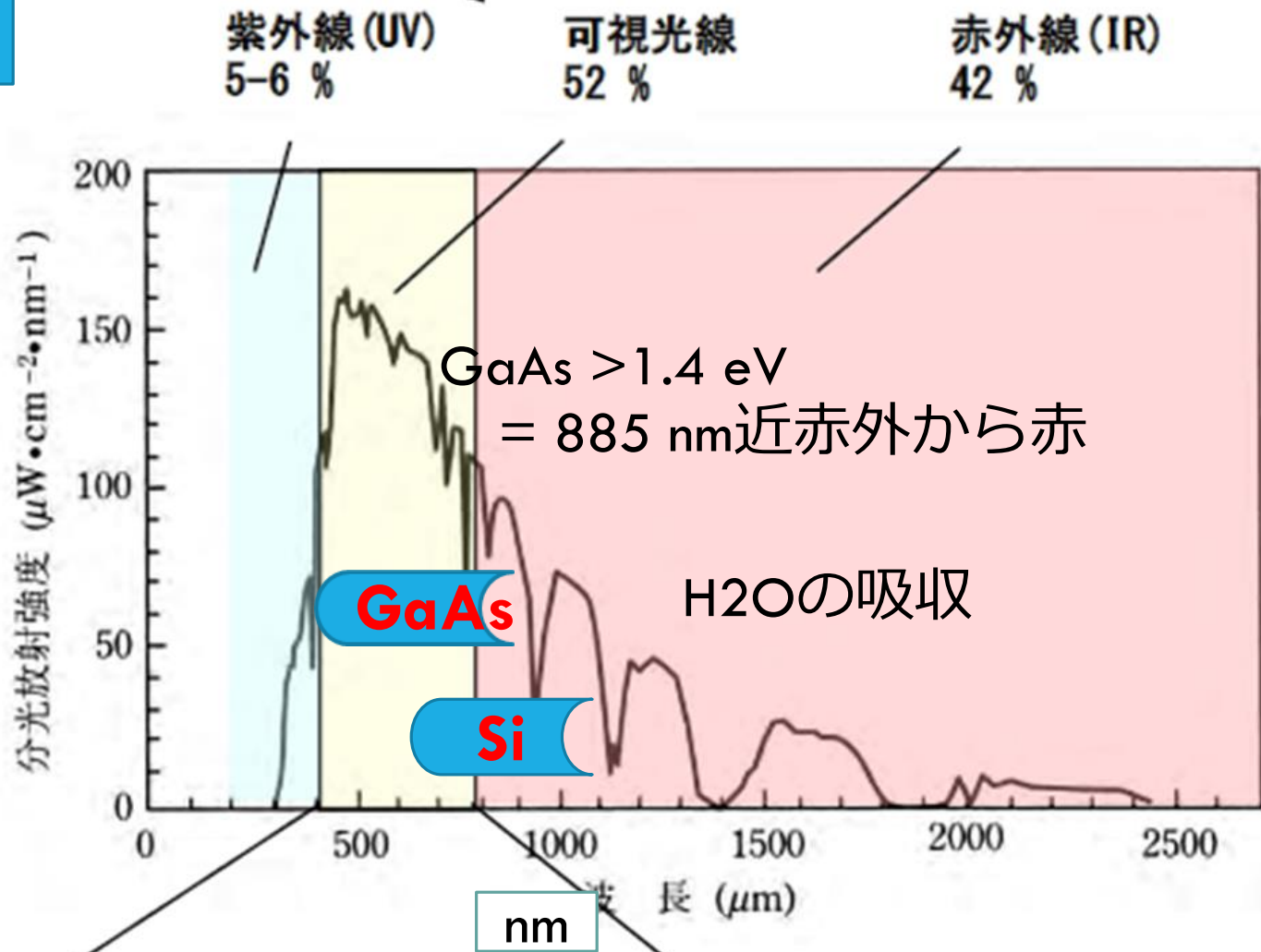
$$= 2.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 1.6 \text{ eV} \quad 1\text{eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**太陽電池 : 「赤外線1100nm~ 赤」
の領域で光を吸収する (可視光端)**

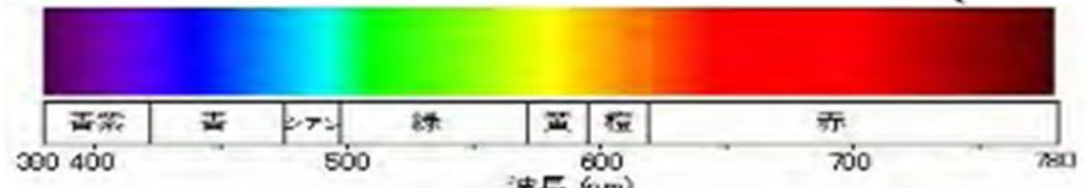
色	波長	エネルギー
紫	380-450 nm	2.755-3.26 eV
青	450-495 nm	2.50-2.755 eV
緑	495-570 nm	2.175-2.50 eV
黄色	570-590 nm	2.10-2.175 eV
橙色	590-620 nm	1.99-2.10 eV
赤	620-750 nm	1.65-1.99 eV

復習 2



nm

Si $> 1.12 \text{ eV} = 1130 \text{ nm}$ 近赤外から赤

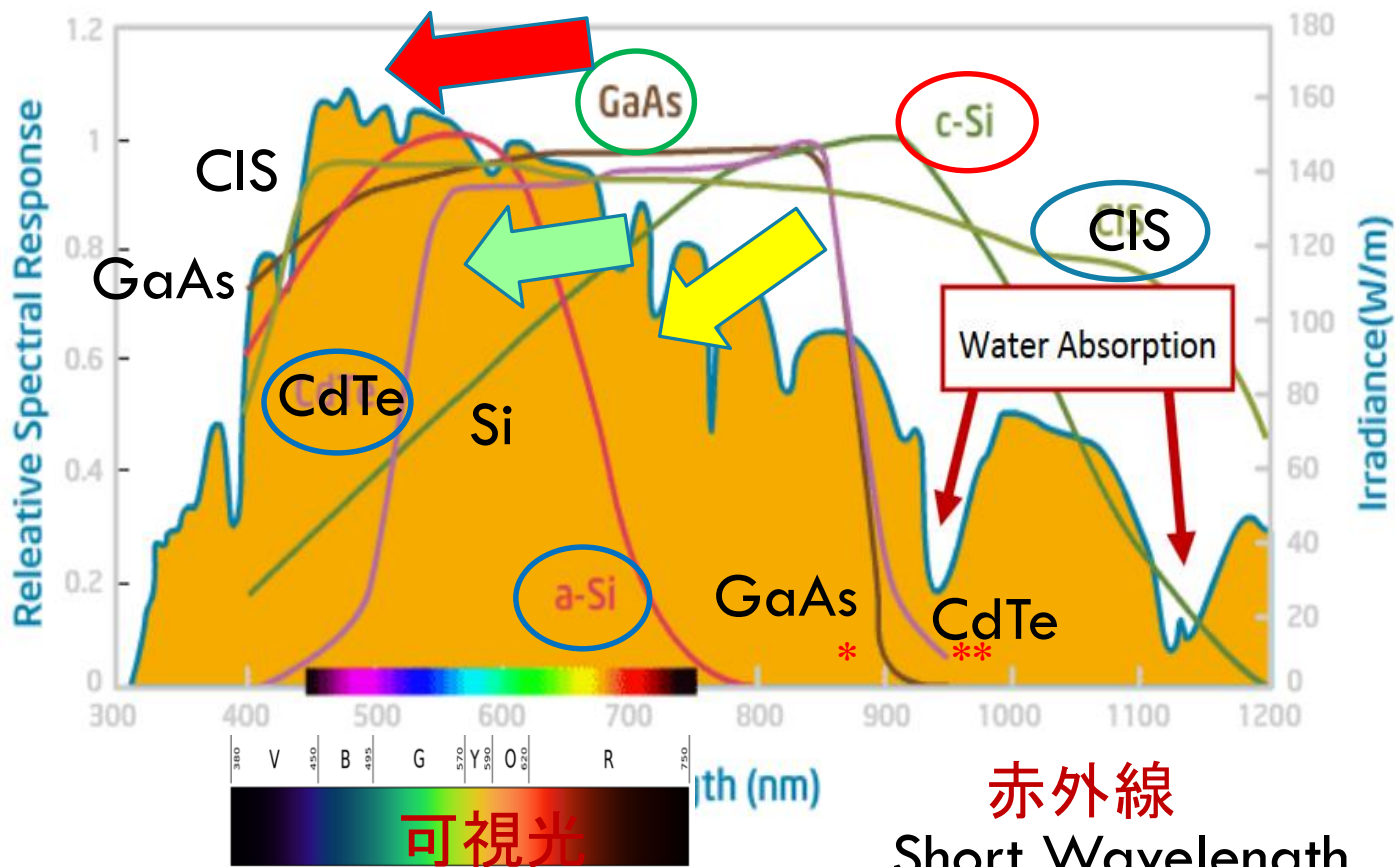


Spectral response characteristics

スペクトル応答の特性

太陽電池を5種類示す

GaAs* CdTe** Si a-Si CIS



c-Si, CdTe, GaAs が使われている。

[復習3] PERLセルを説明しなさい

太陽電池で、最高効率を実現するPERL構造セル
(passivated emitter, rear locally diffused cell)

AM1.5G, 25°C で $V_{oc} = 706\text{mV}$, $I_{sc} = 42\text{mA/cm}^2$
FF= 0.828, 変換効率 PCE= 24.7%を実現

PERLセルには、4つの要素がある...

- フィンガー（表側の電極）
- 裏面電極（酸化膜で、一部が窓あき電極）
- ○ p型シリコン – n型少数キャリア（正孔）が基本
- ● P(リン)をドーブした、n型膜を薄く作る

PERLセル

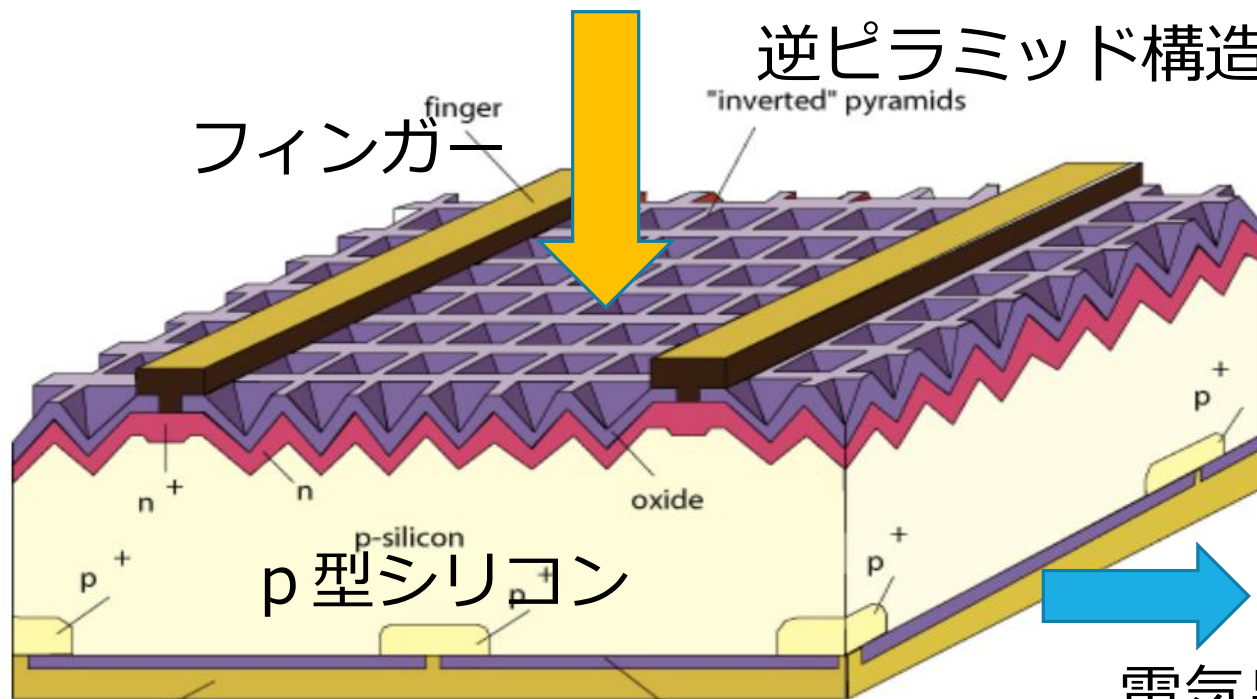
光

逆ピラミッド構造

フィンガー

"inverted" pyramids

酸化層
n層
p層



裏面コンタクト

酸素層

電気出力

◆ シリコン基板の作成

112ページ

表面テクスチャを形成 図6.5(b)

接合pn層の形成 図6.5(c)

p型シリコン基板：これを出発点として

-> リンを熱拡散により, n型層をつくる 0.1 μm 程度

パッシベーション層 CVD法のSiN膜の形成

電極の形成 -> モジュール が完成

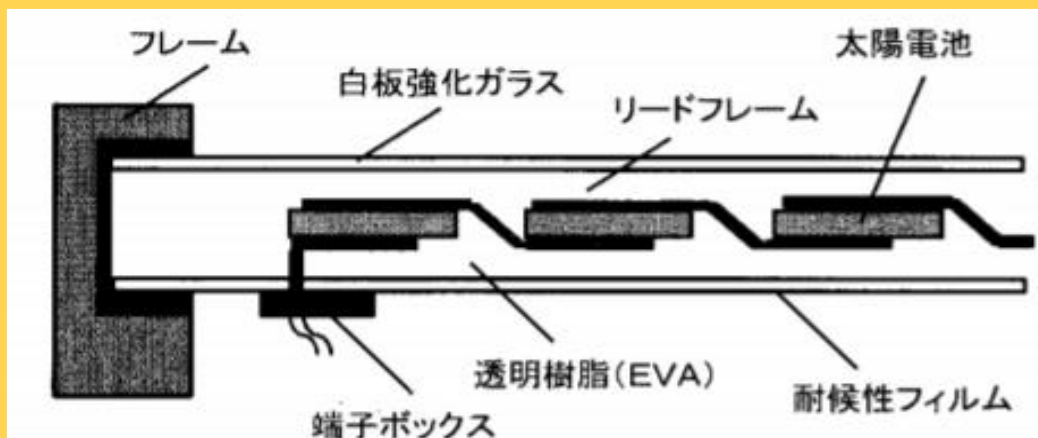


図 6.11 太陽電池モジュール

◆ 結晶シリコン電池の効率化技術

p.116

それからの技術

■ 多結晶シリコ(三菱)

表面:ハニカム構造 -> 反射率が小さくできる

図6.12 表面電極

裏面電極(部分)

裏面:高いBSF効果をもたせる

-> $180\mu\text{m}$ 厚の多結晶シリコンで, 変換効率は
18.6%

図6.12 ハニカム構造

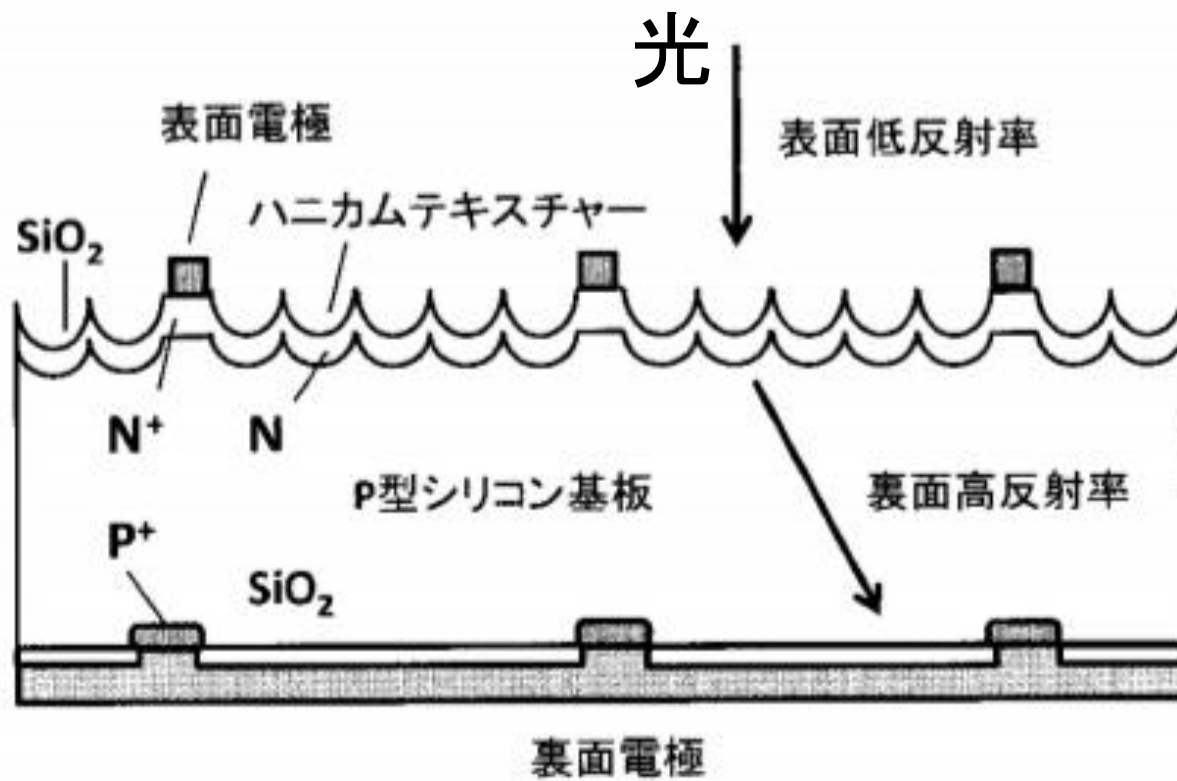


図 6.12 表面にハニカム構造を有する太陽電池

■ 裏面コンタクトの構造？

(a) p型, n型の電極とも, 基板の裏側に作る方法

p型基板, n型電極 図6.13

ラップスルー型 効率 >17%

(b) 裏面接合型 図6.14

表面なし, 基板にn型単シリコン結晶を

n型, p型の電極

効率 >20%

◆ 薄型太陽電池

p.120

基板の薄型化を行う

セルのコスト： 半分はシリコン基板にある

シリコン層を薄くして，生成するキャリア（電子，正孔）が接合に到達させる → 変換効率が大きくなる。

短い距離で少数キャリアが仕事をする

図6.15 再結合速度

「再結合の速度が小さいと，効率は良くなる」

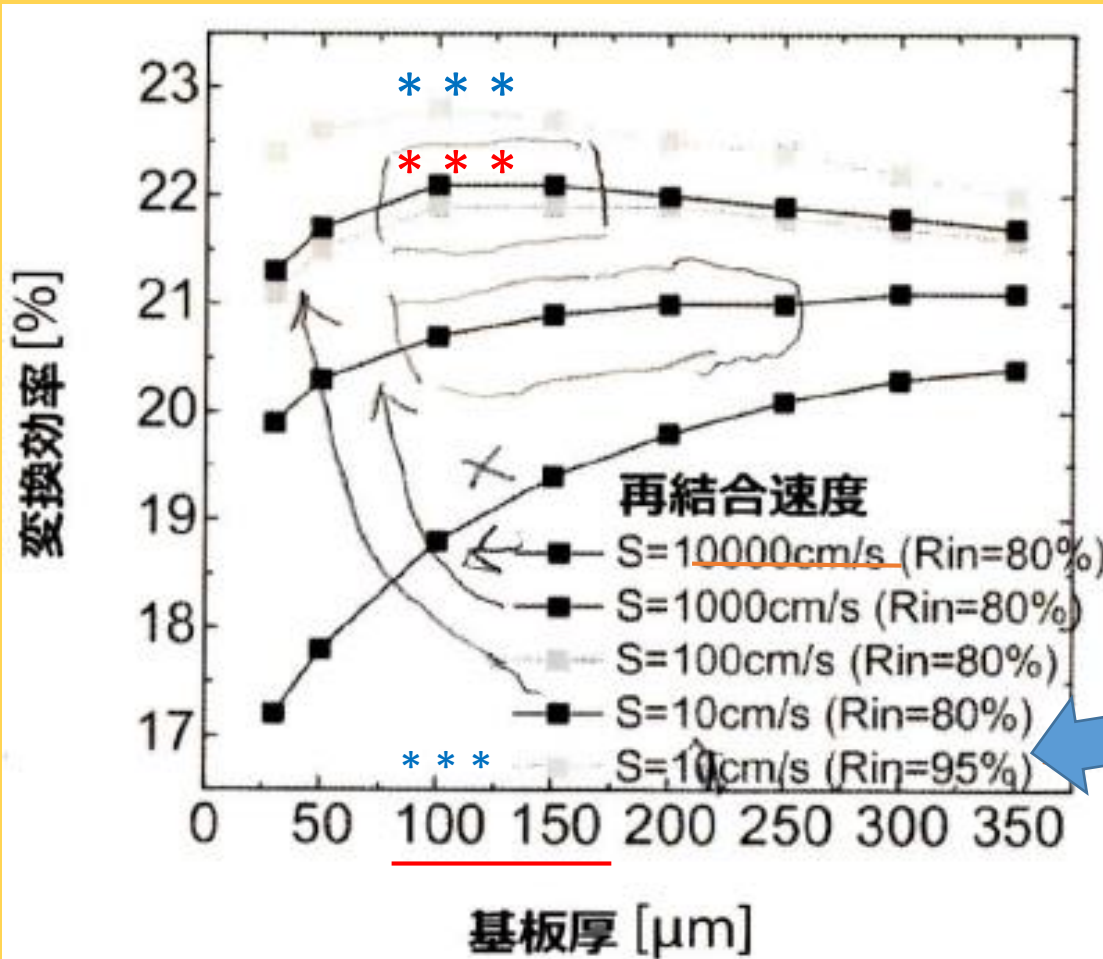
$S(\text{cm/s})$ は再結合速度 --- 上下の順が逆に表示 ✖

>100 μm において変換効率がよくなる

$S=10\text{cm/s}$ で，効率 $\sim 22\%$

Si での基板の厚さと変換効率

注意) 図の各ケースは鉛筆で表示した(書いてないので!)



変換効率は、
再結合速度 S が小さい
ほど良い

$S = 10 \text{ cm/s}$ のとき
基板 $100 - 150 \mu\text{m}$ で
効率が最大に

図 6.15 基板厚と発電効率の関係

◆ HIT太陽電池 Hetero-junction with intrinsic thin layer (Sanyo->Panasonic, 2014年)

ヘテロ接合型の太陽電池

p.121

単結晶シリコン + i型, p型, n型アモルファスシリコン
< $100\mu m$ (第7章を参照)

- ◆ モジュールの温度上昇(出力低下率)を少なく
-0.25%/ $^{\circ}C$ (-0.4%/ $^{\circ}C$ がSiで普通)
- ◆ バンド不連続から, 高い変換効率を実現
実用サイズ (143 cm^2)で, 変換効率が 25.6%
 $V_{oc} = 0.74V$, $I_{sc} = 41.8\text{ mA/cm}^2$, $FF = 0.827$
- ◆ モジュールの品質保証: 20年に延長!

作成方法

p.136-138

透明電極を作る

アモルファスシリコン層

p層 P(リン)をドーブ

i層 非ドーブ, 厚い層

n層 B(ボロン)をドーブ

a-Si:H パターニング: セルごとに分割する

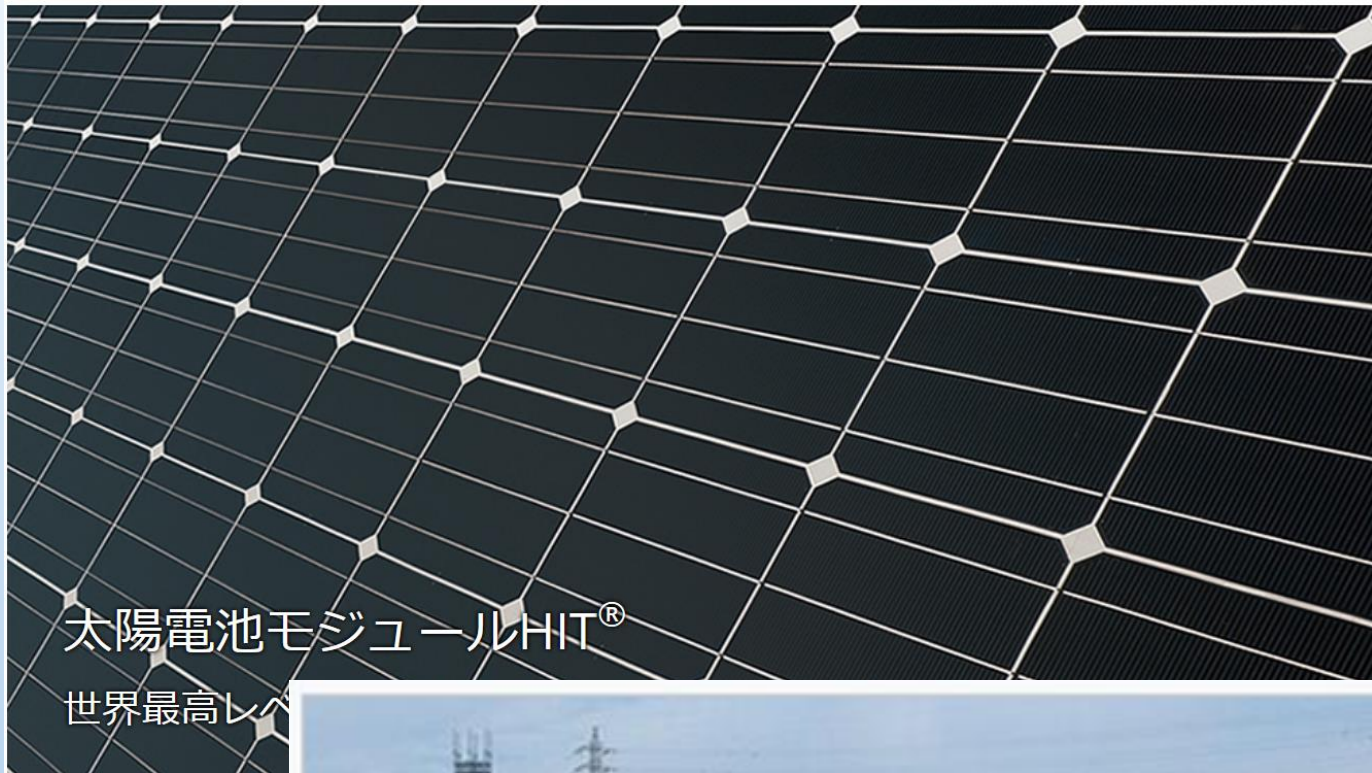
裏面電極, パターニング

モジュール化 EVA(合成樹脂acetate)で封入

パターンニング: フォトリソグラフィと光学マスクのプロセスで, マスクで覆われてない部分に成膜, かつ除去して, パターンを印刷する方法。

<https://www.appliedmaterials.com/ja/semiconductor/products/patterning>

HITモジュール (SANYO, 今のPanasonicが吸収)

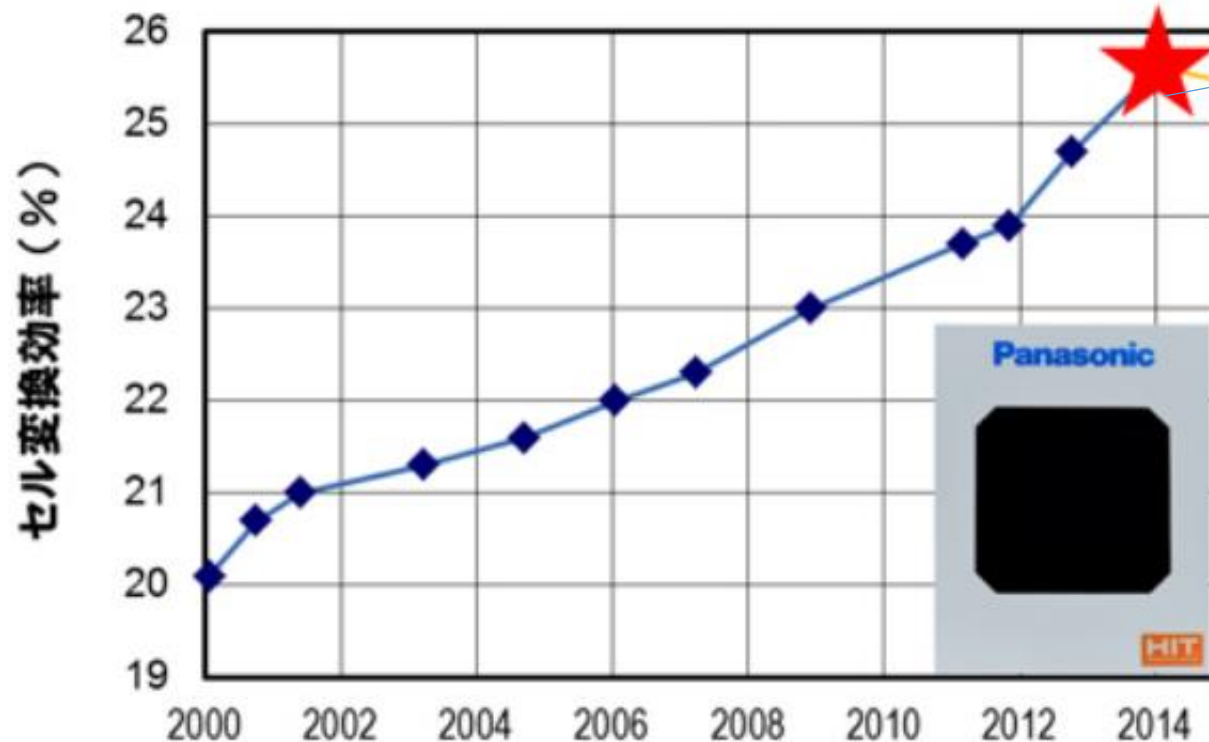


HIT太陽電池

ソーラーアーク
(岐阜県安八町)
不備があり回収,
太陽電池にした。
琵琶湖の南東の
新幹線から。

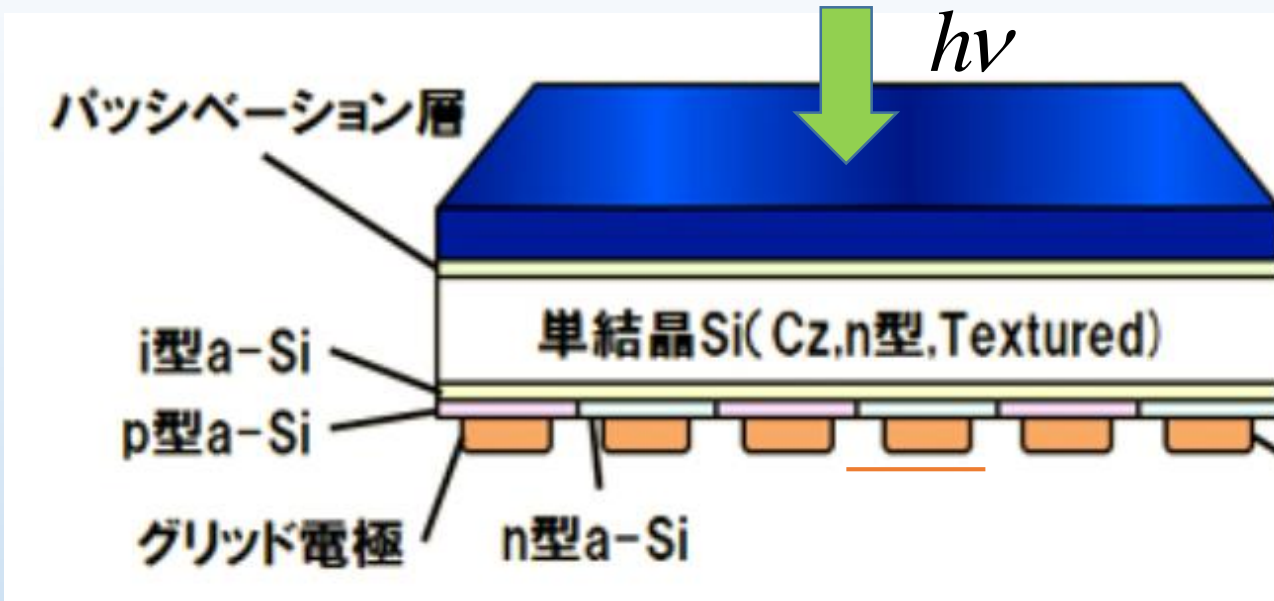


セル変換効率 20% -> 25.6%, 約12 cm²



R&D
25.6%

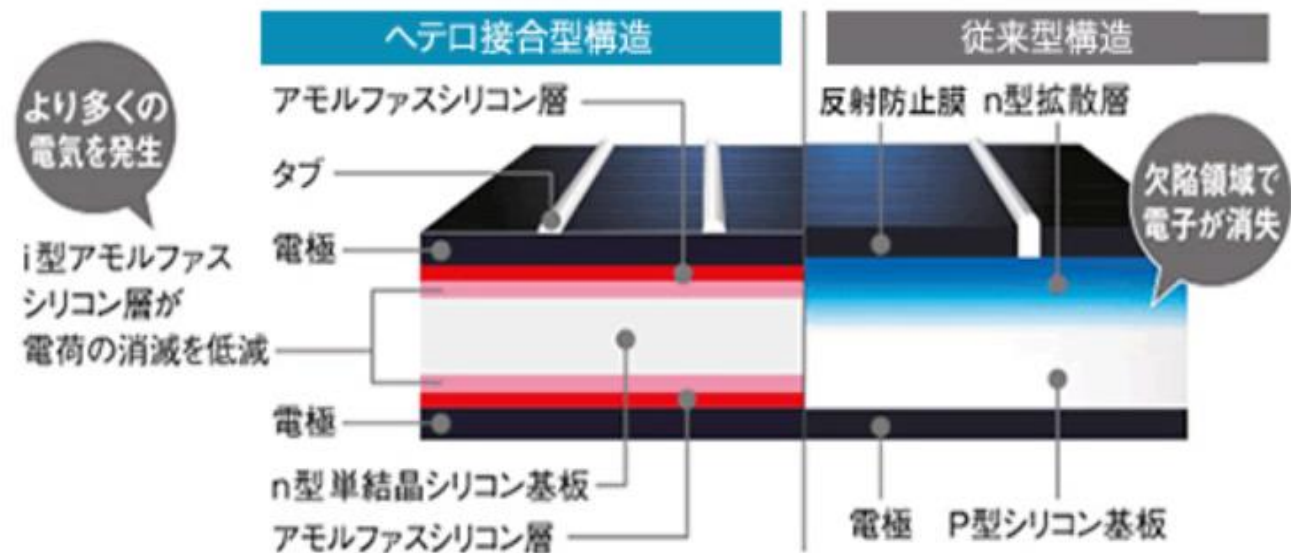
図：当社シリコンヘテロ接合型太陽電池セルの変換効率の向上
(実用サイズ (セル面積：100cm²以上)、研究開発レベル)



シリコンの未結合手を電氣的に不活性化、再結合速度を小さくする。

単結晶シリコン
(CZ法, n型)
+
アモルファス
シリコン (i,p,n型
を重ねる)

■ 電荷の消失を抑えるヘテロ接合型構造



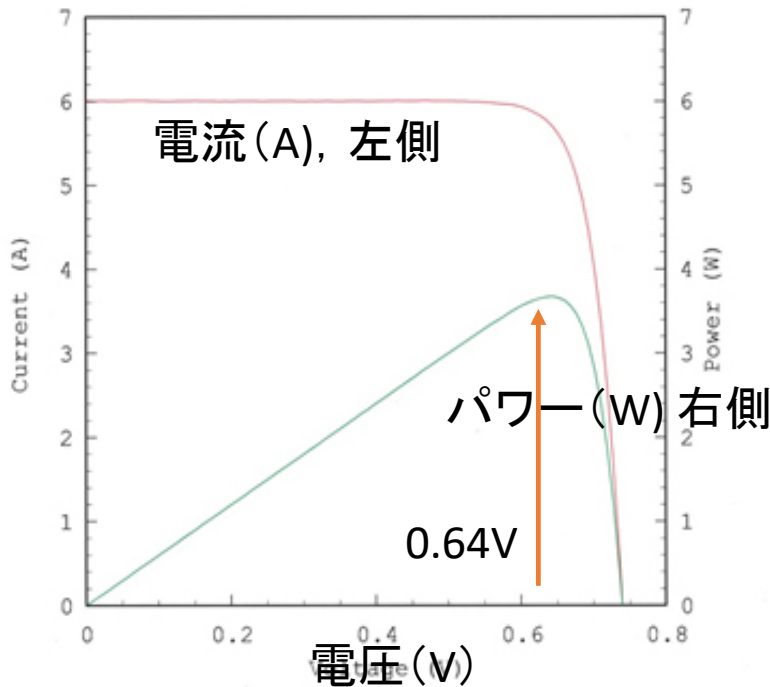
◆セル特性

開放電圧 (Voc) ※9	0.740V
短絡電流 (Isc) ※12	6.01A
短絡電流密度 (Jsc) ※12	41.8mA/cm ²
曲線因子 (FF) ※13	0.827
セル変換効率	25.6%
セル面積※3	143.7cm ²

2014/04
Panasonic

セル変換効率
25.6%

I-V CURVE
IEC60904-3Ed.2 143.7cm² (designated area) WXS-220S-20



Date : 14 Feb 2014
Data No :
V11287-02
Sample No :
V11287
Repeat Times : 9

Isc	6.01	A
Voc	0.740	V
Pmax	3.674	W
Ipmax	5.72	A
Vpmax	0.643	V
F.F.	82.7	%
Eff (da)	25.57	%
DTemp.	25.0	°C
MTemp.	25.0	°C
DIrr.	100.0	mW/cm ²
MIrr.	100.1	mW/cm ²

Ref. Device No
036-2002
Cal. Val. of Ref.
125.83 [mA at 100mW/cm²]
Scan Mode
Isc to Voc



Si¹⁴ ケイ素

cf. Wikipedia

周期表 C, Si, Ge, … 第14族

Hの以外では、**もっとも多い元素**

非金属

大きな分子を作れる

C… **高分子**, ヒト 10^{7-8} 個/分子の大きさに
共有結合 (+), (-)の可能性

Si **SiO₂** … 多くの応用をもつ

セメント, 陶器, セラミック, … ,

半導体素子(ポリシリコン), 太陽電池

As 砒素

Wikipedia

最も安定で金属光沢，「金属砒素」
ニンニク臭があり，透明な
ロウ状で柔らかい
砒素および砒素化合物は、
人体に対して非常に有害



一般特性

名称, 記号, 番号	砒素, As, 33
分類	半金属
族, 周期, ブロック	15, 4, p
原子量	74.92160(2)
電子配置	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ³

Ga ガリウム

Wikipedia

周期表で「エカ＝アルミニウム」
としてメンデレーエフが予言
自然界では**単体として存在せず**、
ボーキサイトの微量成分で
抽出される



一般特性

名称, 記号, 番号	ガリウム, Ga, 31
分類	貧金属
族, 周期, ブロック	13, 4, p
原子量	69.723(1)
電子配置	[Ar] 4s ² 3d ¹⁰ 4p ¹