

ヘテロ接合型太陽電池の原理、構造、製造プロセス 及び研究開発／技術動向（その1）

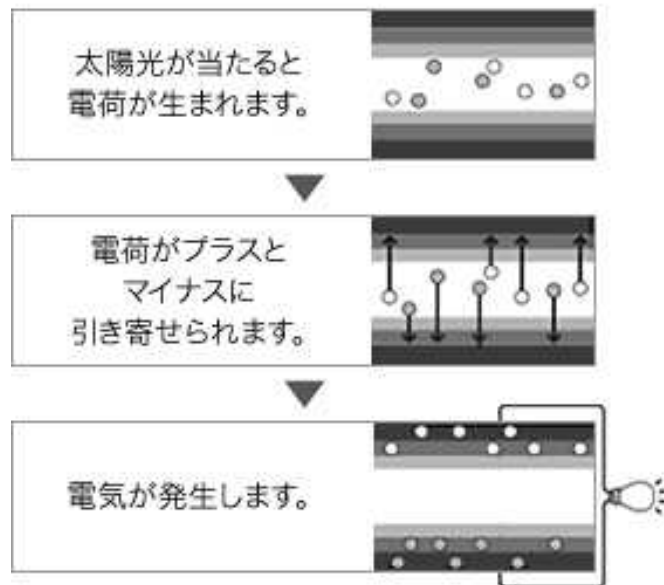
平成29年11月

APT代表

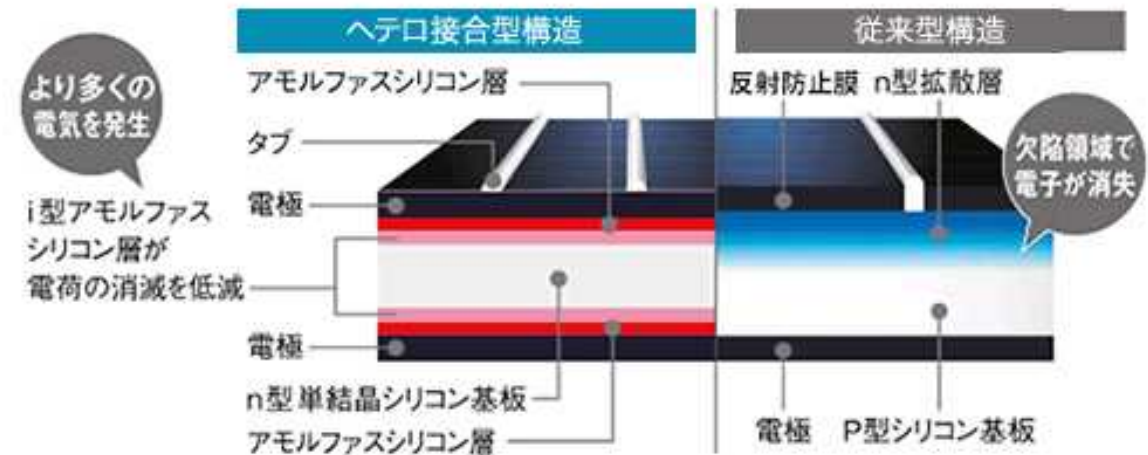
村田正義

ヘテロ接合型太陽電池の原理、構造

■ 発電のメカニズム



■ 電荷の消失を抑えるヘテロ接合型構造



(出典) <https://www.panasonic.com/jp/corporate/technology-design/technology/hit.html>

ヘテロ接合型太陽電池セルの歴史

- ・1980年に当時の三洋電機（現・パナソニック）は世界で初めてアモルファスシリコン太陽電池の工業化に成功
- ・1997年に世界初のヘテロ接合型太陽電池を用いた太陽電池モジュール「HIT」の販売を開始

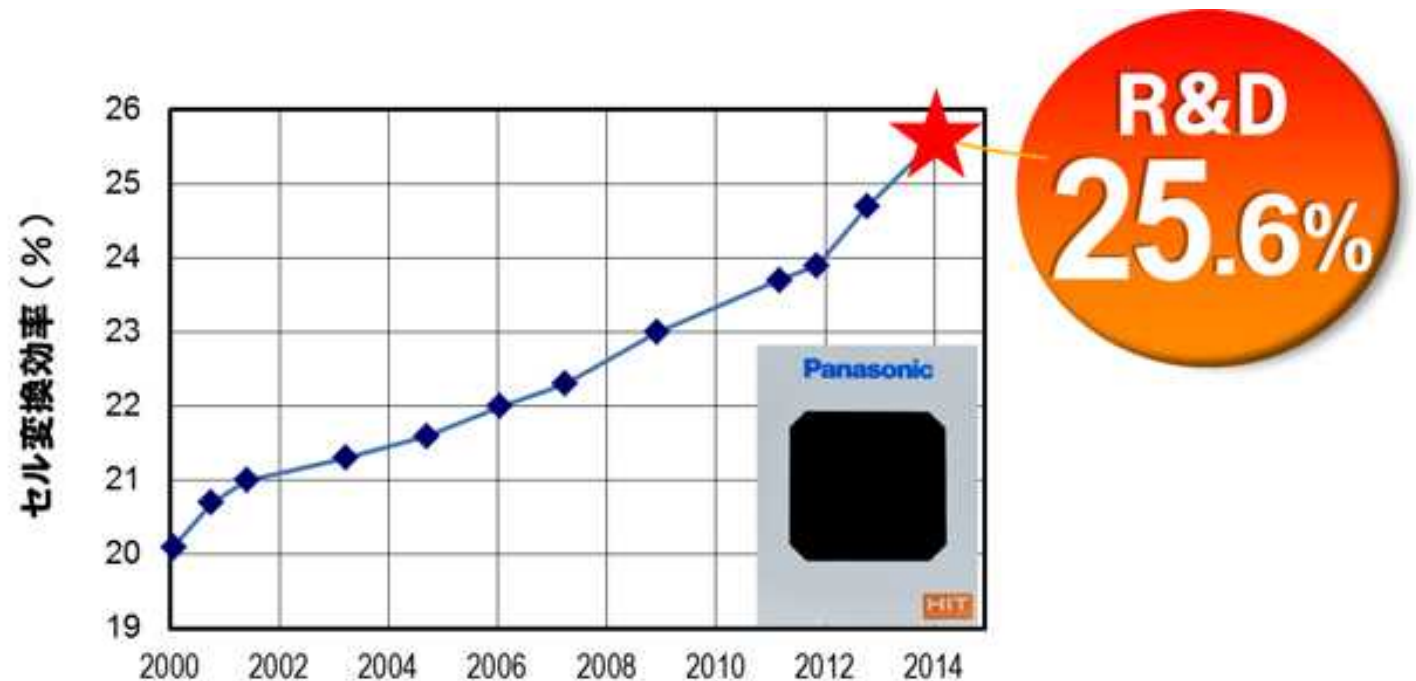
最新動向

- ・変換効率をさらに高めていくため、太陽電池モジュールの研究開発と量産技術開発を両輪として取り組みます。

（出典）<https://www.panasonic.com/jp/corporate/technology-design/technology/hit.html>

シリコン系太陽電池の世界最高効率25.6%の達成(研究開発レベル)

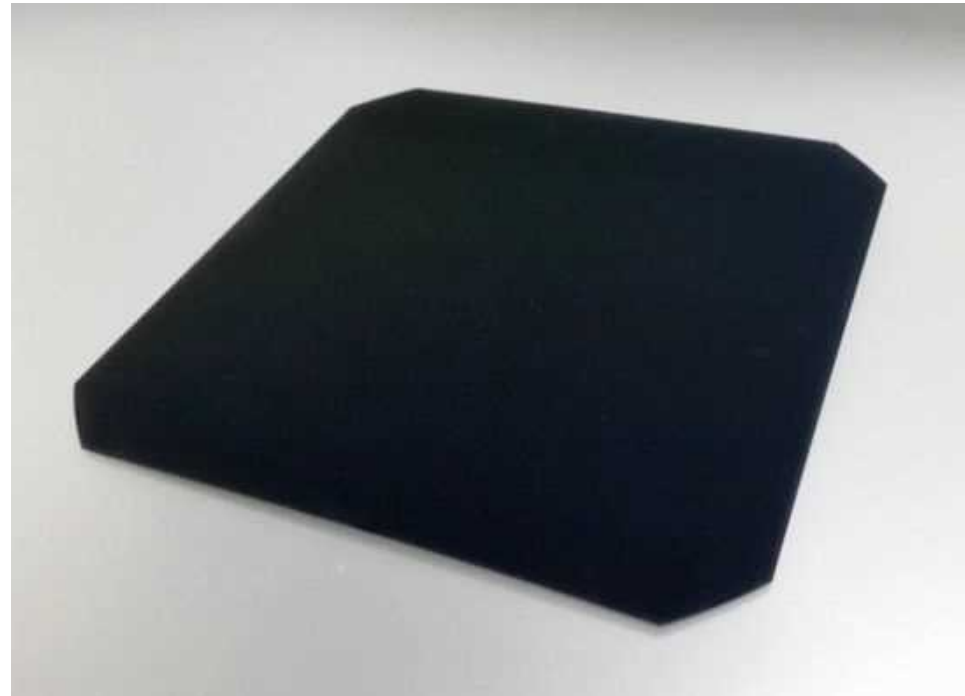
- ・ヘテロ接合技術にバックコンタクト構造を適用することで、世界最高のセル変換効率25.6%(2014年4月発表)を達成
- ・実用サイズの結晶シリコン系太陽電池セルで実証
- ・HIT[®]が世界最高変換効率25.6%を研究レベルで達成



(出典) <https://www.panasonic.com/jp/corporate/technology-design/technology/hit.html>

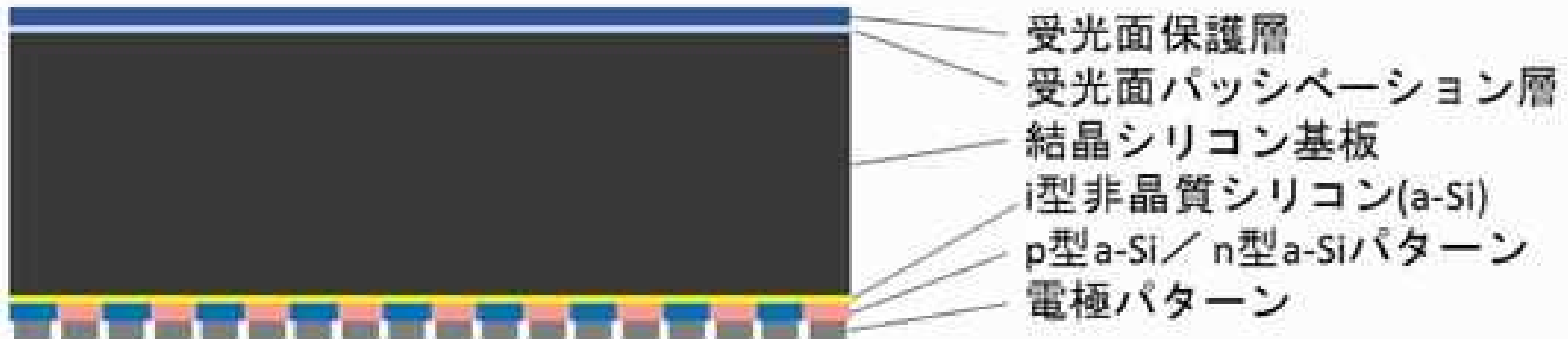
カネカ「世界最高記録」: 結晶シリコン太陽電池セル変換効率26.33%達成

カネカと新エネルギー・産業技術
総合開発機構(NEDO)は
2016年9月14日、
実用サイズの結晶シリコン太陽
電池で
セル変換効率26.33%
を達成したと発表した。



(出典) <http://eetimes.jp/ee/articles/1609/14/news063.html>

カネカ「世界最高記録」: 結晶シリコン太陽電池セル変換効率26.33%達成



高品質アモルファスシリコンなどで実現

カネカは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」プロジェクトとして、結晶シリコン太陽電池の開発を実施。

セル変換効率の向上は、カネカが開発した高品質アモルファスシリコンを用いたヘテロ接合技術や、電極の直列抵抗を低減させる技術、太陽光をより効率的に利用できるバックコンタクト技術を組み合わせることにより実現した。

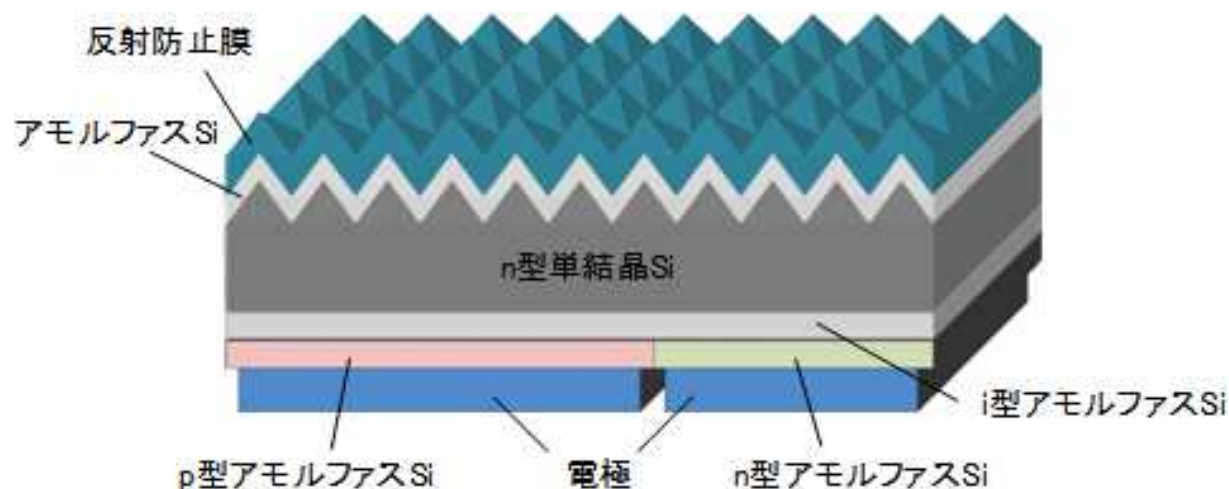
(出典) <http://eetimes.jp/ee/articles/1609/14/news063.html>

ヘテロ接合でバックコンタクト型の太陽電池、NEDOが開発テーマに採択／シャープ

シャープは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)が実施するプロジェクト「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」において、

「先端複合技術型シリコン太陽電池の技術開発」の研究開発テーマとして

「高効率バックコンタクト型太陽電池の量産技術開発」を提案し、採択されました。プロジェクトの実施期間は2015年度から2019年度(予定)です。

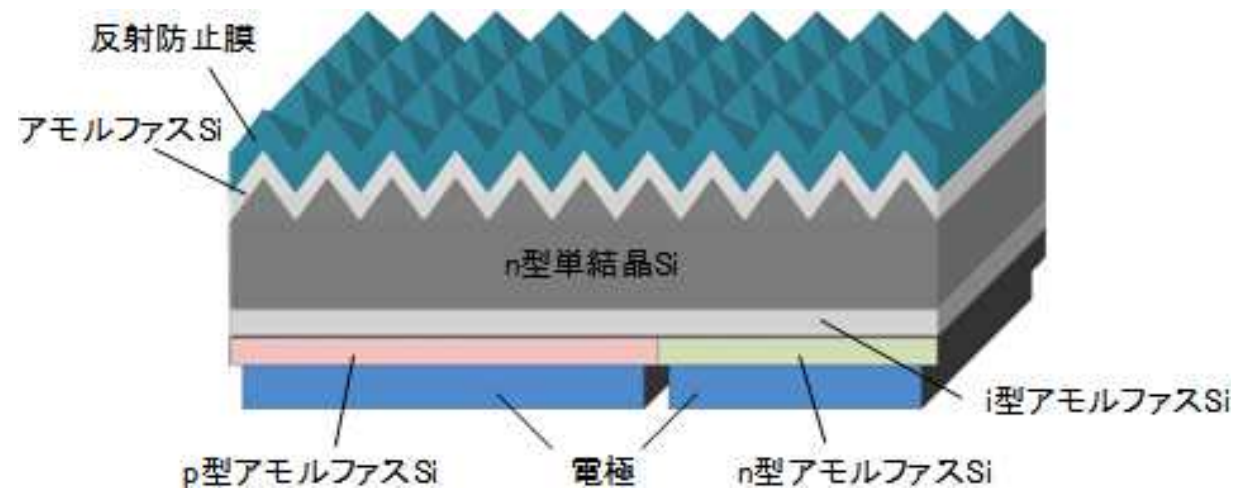


(出典) <http://www.sharp.co.jp/corporate/news/150626-a.html>

ヘテロ接合でバックコンタクト型の太陽電池、NEDOが開発テーマに採択

ヘテロ接合バックコンタクト構造は、太陽電池の裏面側に電極を集めることで受光面のシャドーロスがなくしたバックコンタクト構造と、単結晶シリコン基板表面に高品質アモルファスシリコン膜を形成(ヘテロ接合)することで再結合を低減する構造とを融合させたものです。

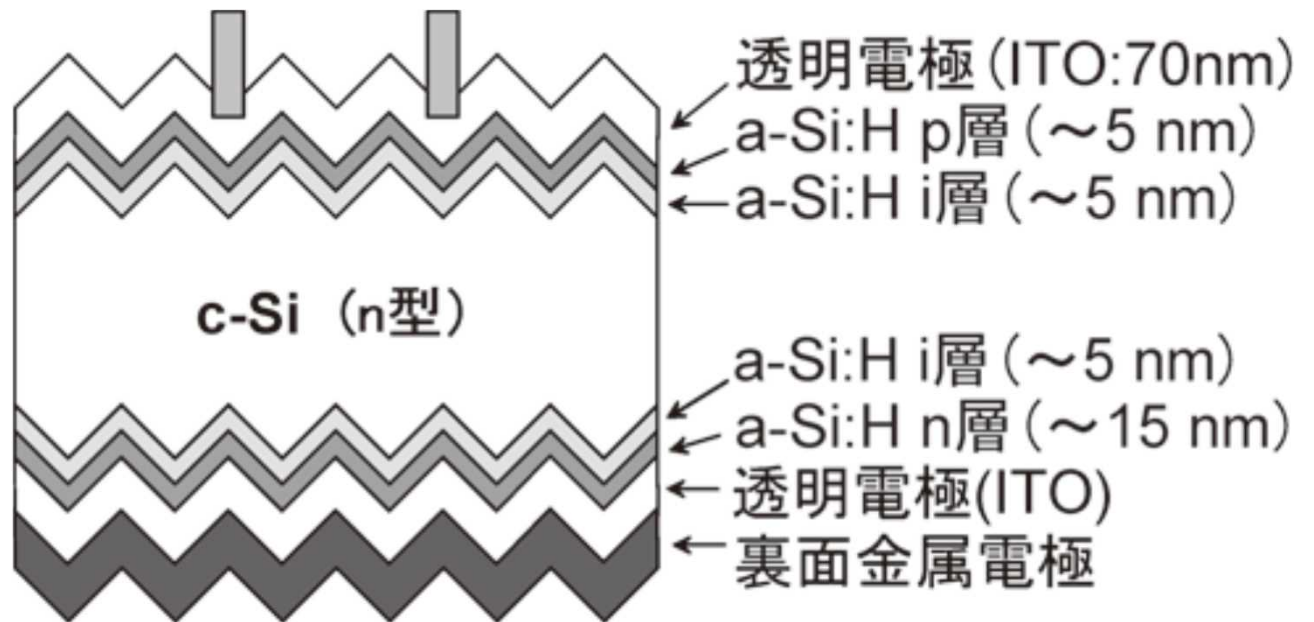
従来困難であった高い電流と電圧の両立を実現することにより、**結晶シリコン太陽電池のセル変換効率25.1%を達成しました。**



(出典) <http://www.sharp.co.jp/corporate/news/150626-a.html>

HIT 型太陽電池製造プロセス

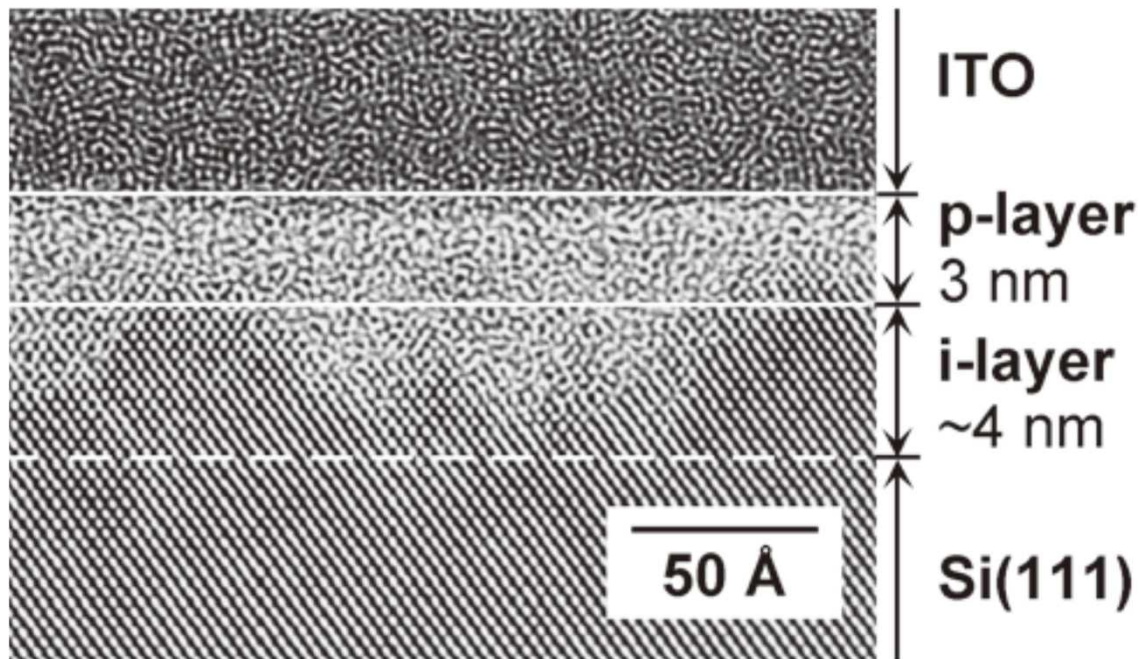
a-Si:H/c-Si
ヘテロ接合型
(HIT 型)
太陽電池の構造



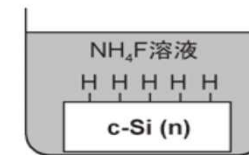
【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

HIT 型太陽電池製造プロセス

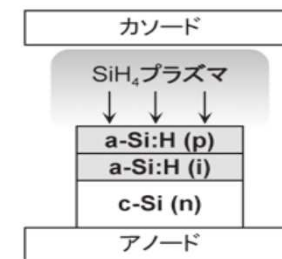
成長温度150°Cで作製した
太陽電池の断面TEM 像



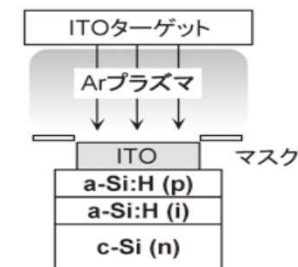
- (1) NH_4F 溶液によるc-Si基板の水素終端



- (2) プラズマCVDによるa-Si:H p-i層の形成



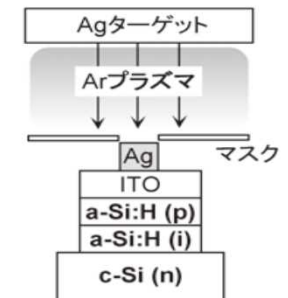
- (3) スパッタリング法によるITO層の形成



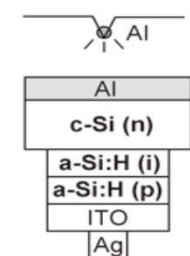
- (4) リアクティブイオンエッチングによるa-Si:H層の除去



- (5) スパッタリング法によるAgグリッド電極の形成



- (6) 真空蒸着法によるAl裏面電極の形成

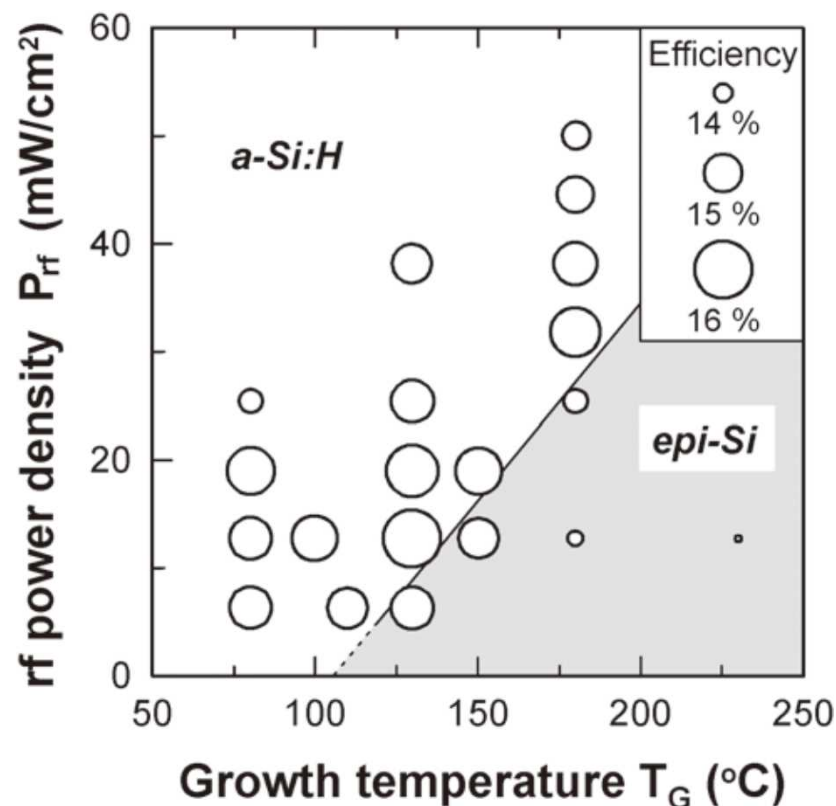
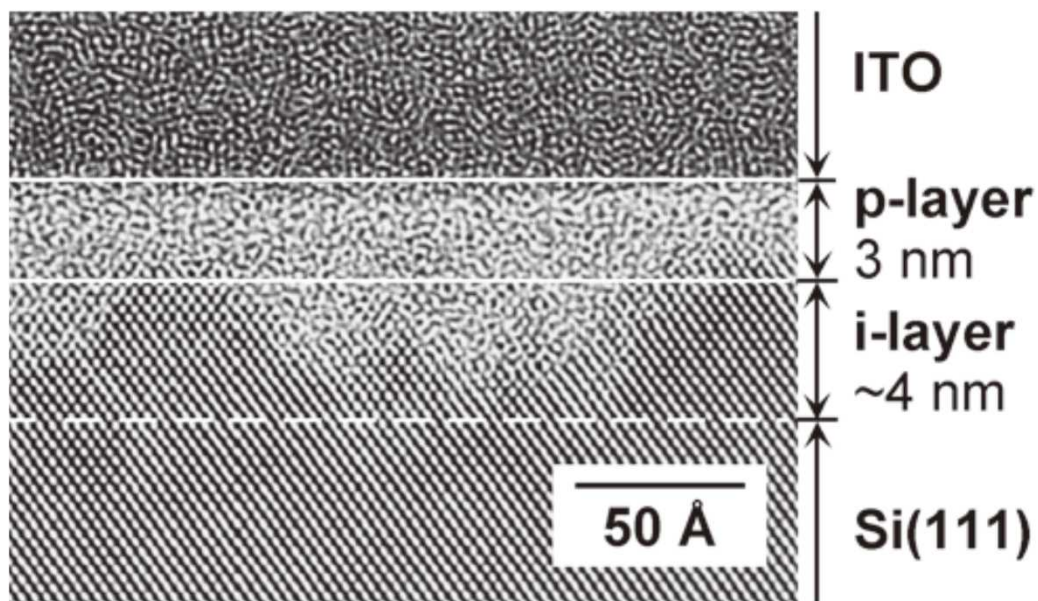


【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

HIT 型太陽電池製造プロセス

成長温度150°Cで作製した
太陽電池の断面TEM 像



各成長温度およびrf 出力密度において作製したヘテロ接合型太陽電池の変換効率. 図中の灰色領域は, c-Si 基板上でSi 層がエピタキシャル成長を起こす領域を表している

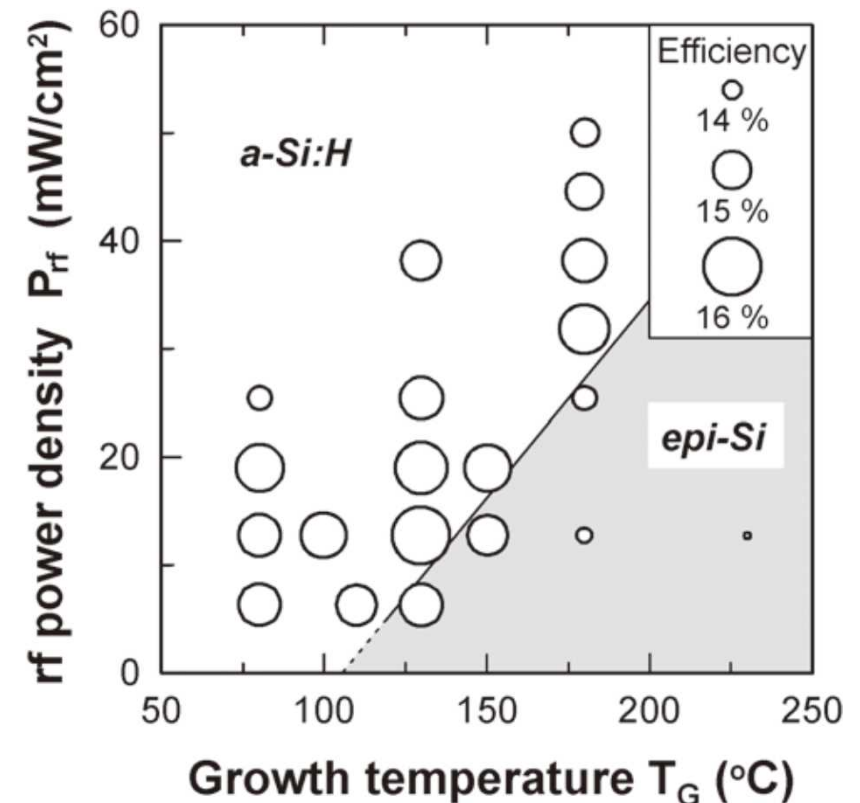
【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

HIT 型太陽電池製造プロセス

- 右図に示す通り、**epi-Si 層の形成**は高プロセス温度及び低rf 出力で起こり、epi-Si 層が形成されると**変換効率は急激に低下する**

• 右図では、rf 出力が高い領域においてa-Si:H 相が形成されているが、これはイオン衝撃が大きくなると基板上的エピタキシャル成長が阻害されることを示している。

そのため、**epi-Si層成長**は結晶化が起こりやすい**高温及び低rf出力**でイオン衝撃が弱い領域で起こると理解される。



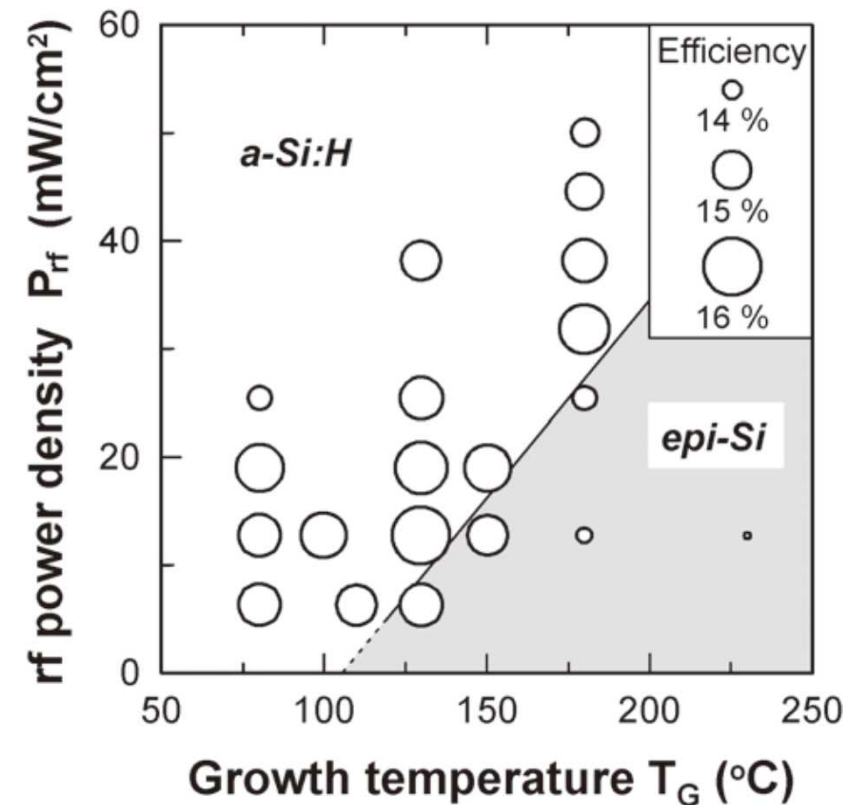
各成長温度およびrf 出力密度において作製したヘテロ接合型太陽電池の変換効率. 図中の灰色領域は、c-Si 基板上でSi 層がエピタキシャル成長を起こす領域を表している

【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

HIT 型太陽電池製造プロセス

- ・右図から次の事が理解される
- ・a-Si:H 成長が起こる領域においても, **rf 出力を高くして太陽電池を作製すると, 変換効率は低下する.** この結果は, **イオン衝撃が高いとa-Si:H 層またはc-Si 基板にプラズマダメージが生じ, 欠陥が生成することを示唆している。**
- ・そのため, 高い変換効率はa-Si:H/epi-Si 相の境界領域で得られることが理解される.



各成長温度およびrf 出力密度において作製したヘテロ接合型太陽電池の変換効率. 図中の灰色領域は, c-Si 基板上でSi 層がエピタキシャル成長を起こす領域を表している

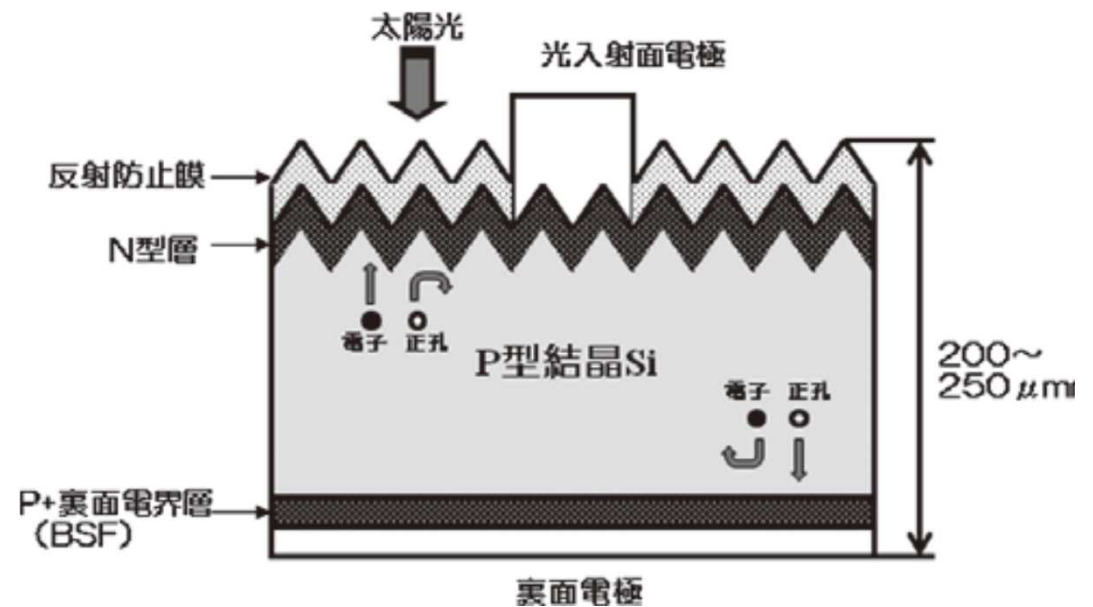
【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

ドイツSchmid社のターンキーセルライン

反射防止膜の下には厚さ $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下のn型シリコン層と、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 程度のp型シリコン層がある。結晶シリコンは薄膜系シリコンに比べて光吸収率が小さいので、光電変換層であるp型シリコン層の厚みは薄膜シリコン太陽電池のそれに比べて大きい。p型層で光は徐々に減衰し、同数の正孔と電子が励起される。これらの一部は拡散により光入射面に達するが、pn接合がつくるポテンシャルによって、正孔は跳ね返され電子はn型層に侵入する。

一般的な結晶シリコン太陽電池の構造.

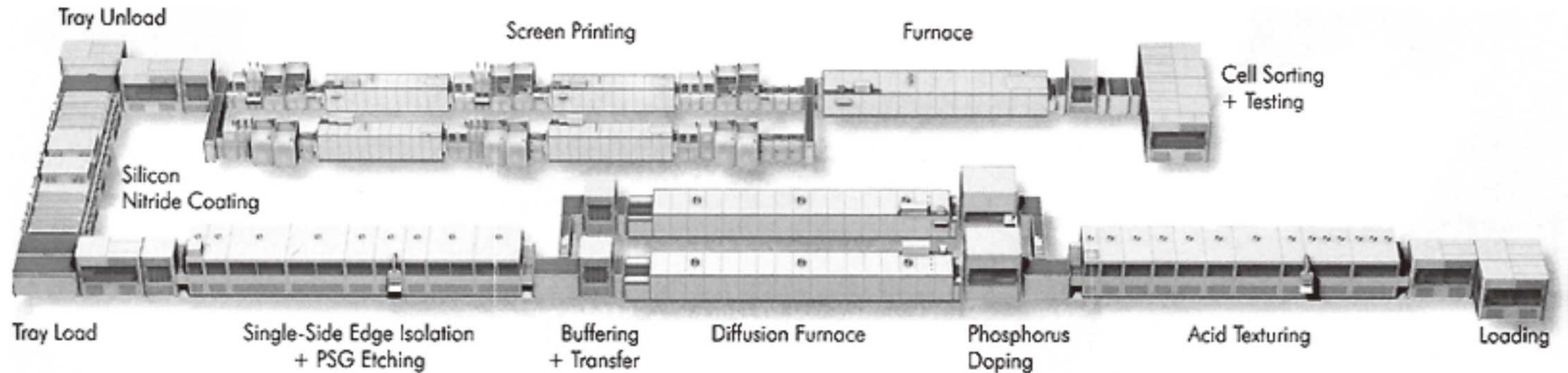


【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

一般的な結晶シリコン太陽電池の製造

ドイツSchmid社のターンキーセルライン



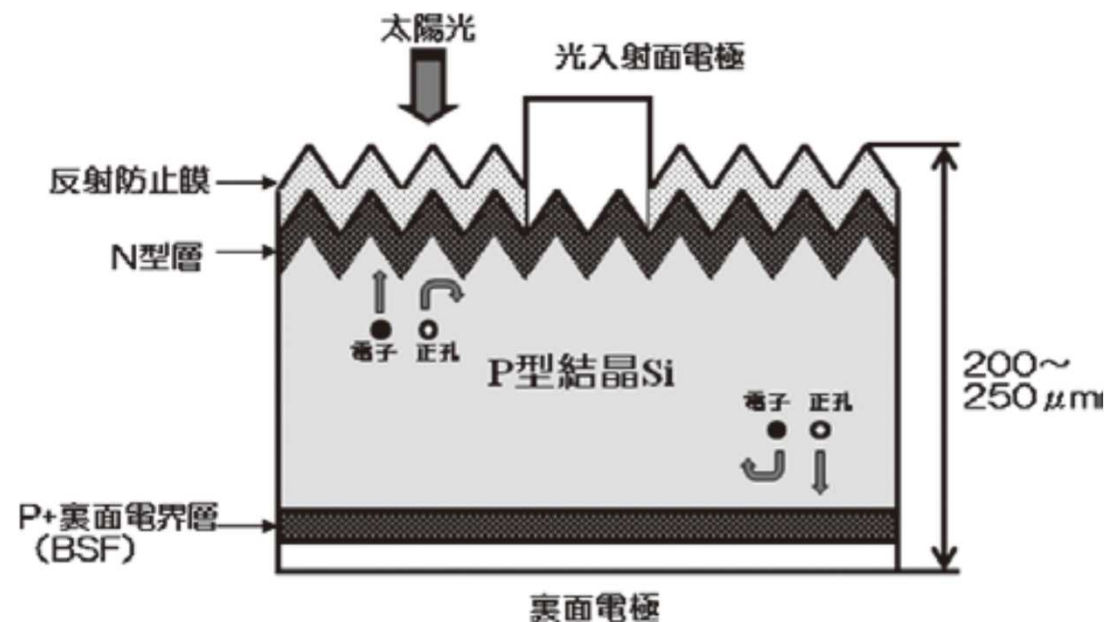
【出典】近藤道雄，藤原裕之，齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

ドイツSchmid社のターンキーセルライン

一方、正孔と電子の一部は太陽電池裏面にも同様に拡散する。裏面にはp⁺層が存在し、それが生み出すポテンシャルにより、電子は跳ね返され正孔はp⁺層に侵入する。以上のように結晶型太陽電池では、光励起キャリアは拡散により光入射面と裏面に輸送される。そして両面に作製された2種類のポテンシャル障壁により正孔と電子に分離され、電流として外部に取り出される。

一般的な結晶シリコン太陽電池の構造。



【出典】近藤道雄，藤原裕之，齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

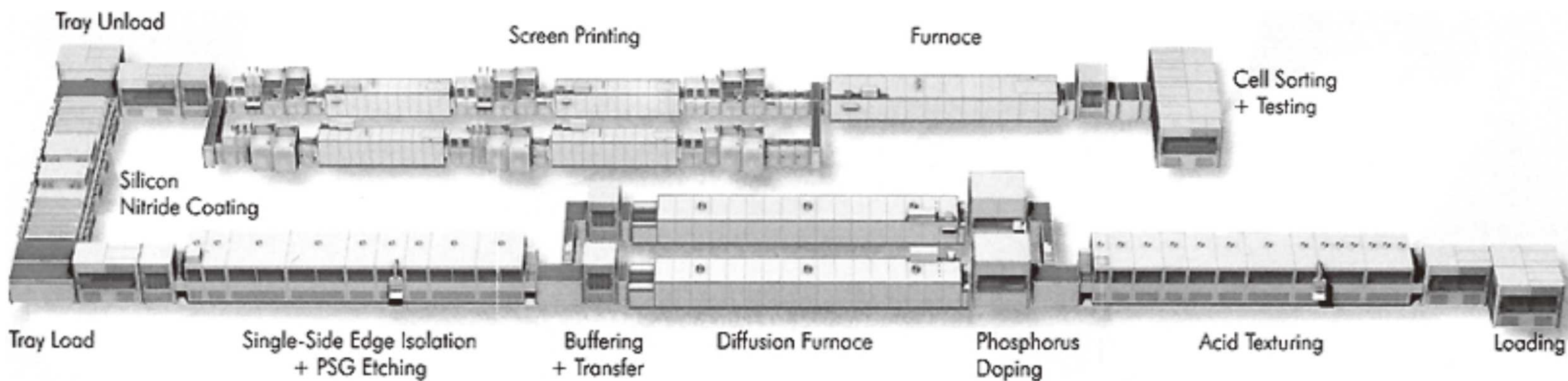
J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

ドイツSchmid社のターンキーセルライン

最新の結晶シリコン太陽電池製造の工程

ドイツSchmid 社で販売中の全自動化太陽電池セル製造ライン。

(製造能力: 年産35 MW/70 MW, Si ウエーハ処理速度: 1500/3000 wafers/h)



【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

ドイツSchmid社のターンキーセルライン

ドイツSchmid 社で販売中の全自動化太陽電池セル製造ライン.

(製造能力: 年産35 MW/70 MW, Si ウエーハ処理速度: 1500/3000 wafers/h)

この例は, ドイツSchmid社のターンキーセルラインと言われる全自動化製造ラインで156 mm 角のウエーハが約1~2秒の高速で処理される. この製造ラインで, 年間35~70 MW の太陽電池セルの製造が可能である。

セル製造は, スタックしたスライスSi ウエーハから1枚ずつ取り出すloadingから始まり, 最後はセル効率の測定と選別のCell Testing+Sorting で終了する.

【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

ドイツSchmid社のターンキーセルライン

*** 表面凹凸の形成:** loading 後, 酸またはアルカリ水溶液でSi表面に光反射を低減させるテクスチャー構造を形成する. 単結晶Si ウエーハではアルカリ溶液, 多結晶Si ウエーハでは酸溶液が使用されている.

*** pn 接合の形成:** POCl_3 ガスを用い約850 °CでP 拡散を行い, pn 接合層を形成する. POCl_3 の代わりに, リンガラス(PSG)を持っている場合もある. この工程は遅いので2 並列処理となっている.

*** 接合分離:** P 拡散は, 表裏で起こるので端部および裏面のP 拡散層を除去する必要がある. さらに, 表面のリン珪酸ガラス(PSG)層も除去する. 裏面のみ HNO_3 /HF 溶液に浸す片面エッチングする場合であるが, CF_4 による端面プラズマエッチングも使用されている. 他に, ウエーハ端部を研磨する方法も使用されている

ドイツSchmid 社で販売中の全自動化太陽電池セル製造ライン.

(製造能力: 年産35 MW/70 MW, Si ウエーハ処理速度: 1500/3000 wafers/h)

*** 反射防止膜の形成:** 反射防止膜としては, 現在プラズマCVD 法による SiN_x 膜の堆積が使用されている. プラズマCVD 装置を用いるため, この工程が太陽電池製造では最もコストが高いプロセスである. しかし, テクスチャー表面に均一に SiN_x 膜を形成する方法として, 他に手段がない. また, プラズマCVD 工程で使用する SiH_4 や NH_3 ガスの水素が結晶中に拡散し, 特に多結晶Si 中の欠陥を不活性化する利点もある. この工程は, 島津製作所の協力で京セラで初めて開発され, 現在多結晶Si 太陽電池セル製造では不可欠な技術となっている.

【出典】近藤道雄, 藤原裕之, 齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508

ドイツSchmid社のターンキーセルライン

* 裏面p+層およびAg電極の形成: 真空プロセスは高価なので、電極形成はすべて印刷法を使用する。裏面p+層の形成は、裏面にAl層をスクリーン印刷で形成後、約700℃の短時間熱処理を行い、Al-Si合金層からの液層成長でAlをドーピングしたp+層を形成する。そのAl印刷層上にAg電極の部分印刷を行い裏面電極とする。
表電極は、SiNx層上にフィンガー状にAg電極を印刷し、熱処理を行い、AgをSiNx中を貫通させる処理でn+層Si表面にAgを接触させる。この工程は、ファイヤースルー(焼成貫通)と呼ばれ、シャープで開発され、現在世界中で使われている。この印刷工程も2並列となっている。

ドイツSchmid社で販売中の全自動化太陽電池セル製造ライン。

(製造能力: 年産35 MW/70 MW, Si ウエーハ処理速度: 1500/3000 wafers/h)

* 電極メッキ: 必要に応じ、Ag電極の厚メッキが使用される。

* 検査および選別: ソーラーシミュレータを用い、変換効

率の測定と選別が行われる。

【出典】近藤道雄、藤原裕之、齊藤忠、シリコン系太陽電池の高効率化・量産化を担うプラズマ技術の最前線、

J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.8 (2009)499-508