太陽電池製造技術の開発

Development of Process Technologies for Solar Cells

「サンシャイン計画」の一環として,新エネルギー総合開発機構では,太陽電池の大量低廉生産技術の開発を推進しているが,これに関連して日立製作所が受託して行なったセル製造技術の開発について紹介する。

太陽電池の性能や信頼性を維持した上で経済性の向上を図るため、イオン打込み法による接合形成及び印刷・めっきによる電極形成を主要技術とする方式を採用した。このセル製造技術に関し、工程数低減、処理温度の低温度化、工程の連続化、セル特性の向上を中心に技術開発を行ない、年産250kW規模の連続自動生産設備を設計・製作・据付・調整し、運転研究を行なっている。

斉藤 忠* Tadashi Saitô
中谷光雄** Mitsuo Nakatani
松熊邦浩*** Kunihiro Matsukuma
紙田 暢*** Nobu Kamita

11 緒言

太陽電池を用いた太陽光発電は、無尽蔵にあるただの太陽光エネルギーを、半導体の光電量子効果に基づき直接的に電気エネルギーに変換するクリーンで環境上問題のない発電法である。この太陽電池の応用は、最近ではソーラー電子式卓上計算機として身近かなものとなったが、電力用として考える場合には、既存の化石燃料などにより得られる電気エネルギーに比べると、経済性の点で問題があり、世界各国で国家プロジェクトとして研究開発が進められている。

我が国では通商産業省工業技術院「サンシャイン計画」のの乾式セル製造技術の開発状況について紹介する。

一環として,新エネルギー総合開発機構が推進母体となり,太陽電池パネル実験製作検証,太陽光発電利用システムなど,図1¹⁾に示す実用化技術開発が進められている。

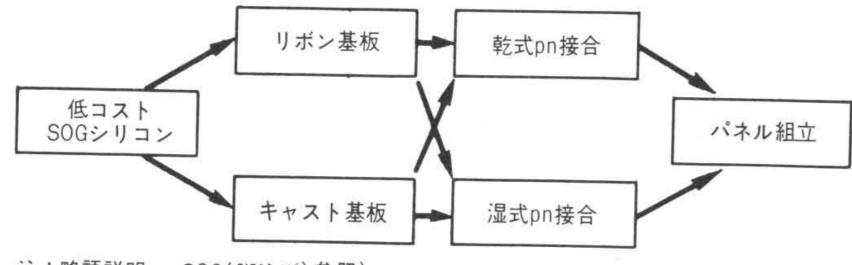
日立製作所では、昭和49年度から、「サンシャイン計画」に参加し結晶形シリコン太陽電池の基礎研究^{2)~5)}を行ない、昭和55年度からはその成果をもとに、実用化技術開発に参加し鋭意その開発を進めてきた。本報では日立製作所が受託して行なっているイオン打込み法による接合形成と電極形成などの乾式セル製造技術の開発状況について紹介する

テーマ名	次	(1982) 昭57	('83) 58	('84) 59	('85) 60	('86) 61	('87) 62	('88) 63	('89) 64	('90 65
太陽光発電システム実用化技術開発		10t/年級				Assessed				- 00
1. 低コストシリコン実験精製検証							10.0001.11/			
0 上限商业。°土,中医制化46FT		500kW/年級					10,000kW/ 年級			
2. 太陽電池パネル実験製作検証			1		一」個					
3. アモルファス太陽電池の研究開発				attll	/ 4			-		
			性能・信頼	生・耐候性・	コスト分析・	エネルギー	分析など			
4. 太陽電池評価システムの研究開発										
5. 周辺技術の研究開発					基礎研究・過	重系・保守記	设備・制御方5	式試験研究		
6. 太陽光発電利用システムの研究開発										
		3kW					*			
(1) 個人住宅用システムの研究開発		20kW								
(2) 集合住宅用システムの研究開発		111111111111111111111111111111111111111								
		200kW								
(3) 学校用システムの研究開発		100kW								
(4) 工場用システムの研究開発	PE		111111111111111111111111111111111111111							
7. 集中形太陽光発電システムの研究開発		2004W						-		
(1) 分散乱発形太陽光発電システム		200kW								
		1,000kW							-	
(2) 集中配置形太陽光発電システム										
3. 光線ハイブリッド形太陽光発電システムの研究開	発	5kWt+25kV	Vt							
someth to be a composition which is into a composition with the composition of the compos	T 655/1 55 /1									

主: 設計・運転研究, 製作・建設

図 | 長期研究開発計画図(サンシャイン計画) 本表の「低コストシリコン実験精製検証」及び「太陽電池パネル実験製作検証」によって、結晶形シリコン 太陽電池の研究開発が進められている。

^{*} 日立製作所中央研究所 工学博士 ** 日立製作所生產技術研究所 *** 日立製作所日立工場



注:略語説明 SOG(脚注※)参照)

図 2 結晶形シリコン太陽電池製造技術開発の体系(サンシャイン 計画) 本体系に示す各工程が、それぞれの受託先で研究開発されている。

2 開発技術の概要

新エネルギー総合開発機構が推進している太陽電池製造技術は、図2*)に示す各工程6)により構成されている。生産規模は、年産500kWを目標とし、昭和58、59年の両年度で運転研究を行なうように計画されている。その一貫ラインの一部を構成するのが、日立製作所が受託し開発を進めている「乾式pn接合工程」である。本工程では、製法の異なる2種類の角形多結晶基板が使用されているが、その基板を用いて製造するセルの平面図と断面図を図3に示す。太陽電池は、n⁺pとp⁺の2種類の接合をもち、受光面側は入射光の反射防止膜とハニカム形の電極及び裏面電極から構成されている。日立製作所では、性能や信頼性を維持した形で経済性の向上を図るため、イオン打込み法による高速pn接合形成技術、印刷とめっき法を併用した電極形成技術を主要技術として採用した。

3 要素となるセル製造技術の開発

太陽電池の変換効率などの性能を左右する重要な因子は、 光照射で半導体の内部に形成された少数キャリヤのライフタ イムであるが、この値は高温で基板処理を行なうほど低下す る傾向がある。図4はその一例で、単結晶CZ(Czochralski) 基板及び多結晶キャスト基板とも熱処理温度が高くなるほど ライフタイムが低下している。太陽電池では、接合形成で高 温を必要とし、従来法では850~950℃の温度が使用されてい たが、イオン打込み法の採用によって接合形成温度を大幅に 下げることができた。図5は熱処理温度とセル特性の関係⁷⁷で、750℃近傍に最適な熱処理温度が存在することを見いだ し、従来法に比べ100~200℃の低温化が実現した。この熱処 理では、基板裏面のp+層形成も同時に行なわれ、工程短縮だ けでなく製造に要するエネルギー消費量の低減にも寄与して いる。

しかし、通常のイオン打込み装置は高価で、かつ大量ウェーハ処理機能をもっていないため、太陽電池の性能/コスト比に見合った打込み機の開発を進めた。本装置の概念図を図6に示すが、マイクロ波イオン源の採用で大電流・長寿命化を実現し、ドーズ量均一性の優れた回転円盤方式の打込み室を2基装備するとともに、オートローダにより角形基板の高速ローディングとアンローディングを図った。処理能力は、角形基板で250kW/年を目標に設計製作されたものであるが、現在運転研究によりその検証を行なっている。

太陽光の反射防止のため, 受光面に透光性の良い, 高屈折

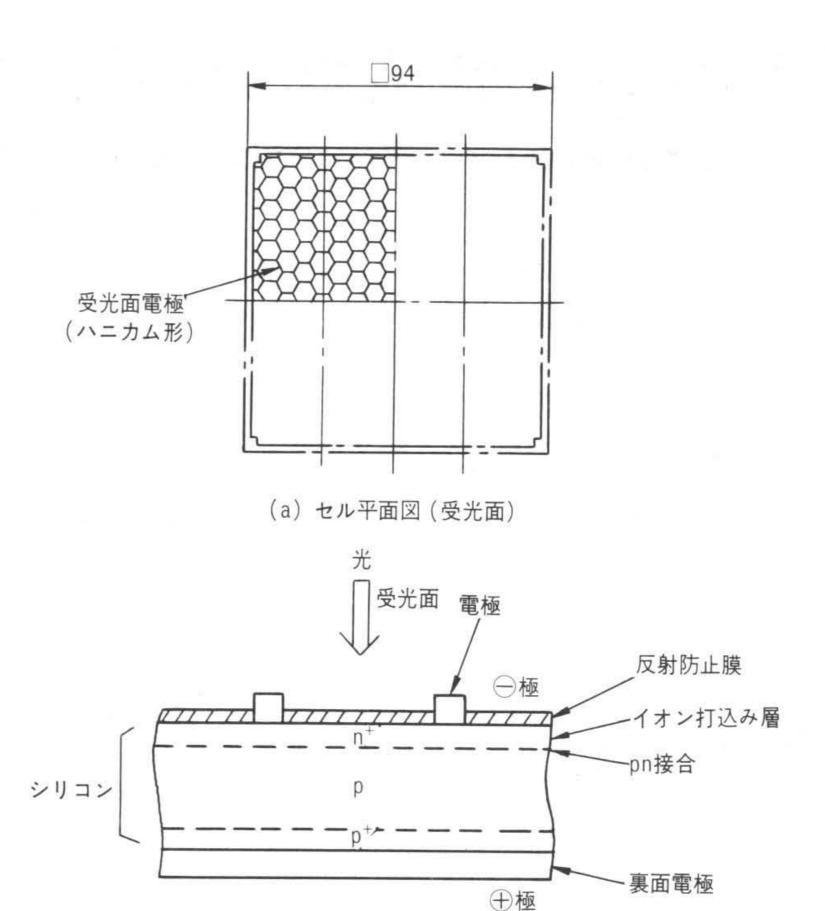
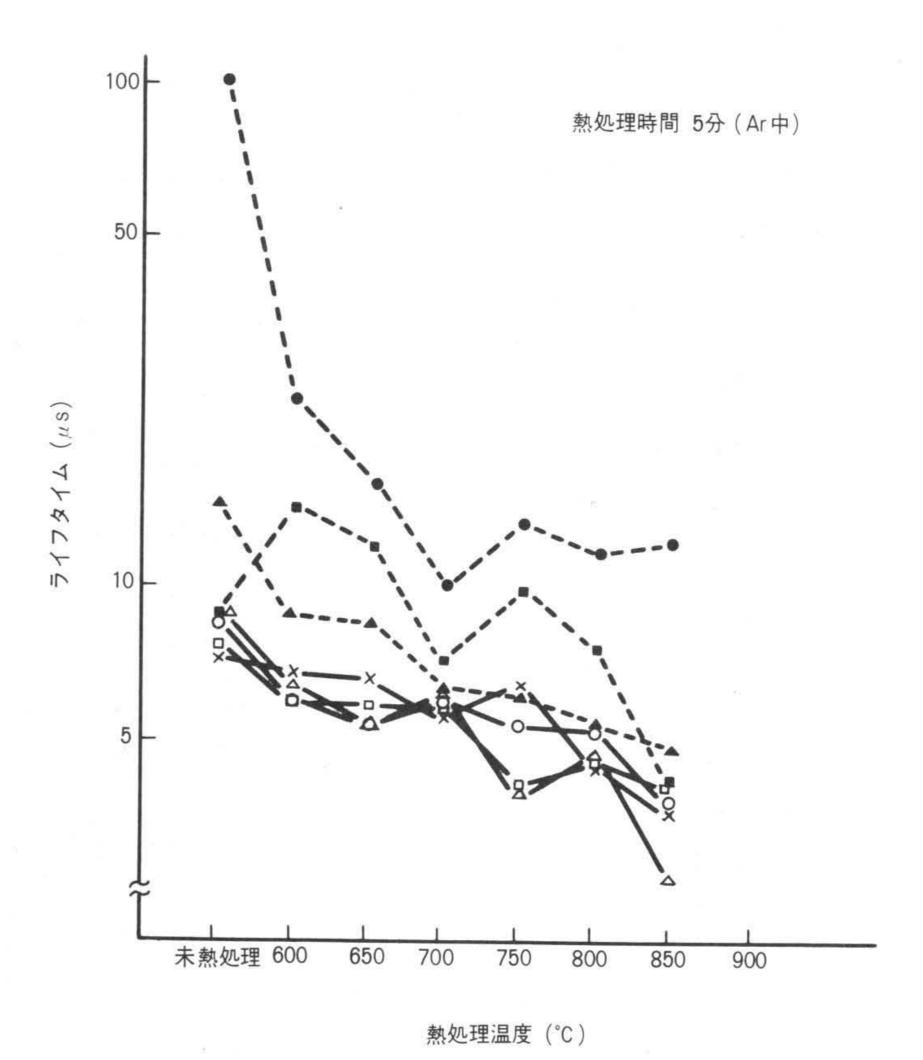


図3 太陽電池セル(角形)構造図 反射防止膜を透過した太陽光はシリコン部で正孔と電子を発生させ、それぞれ一電極、一電極に集電され電力を発生する。

(b) セル断面図



o キャスト基板(0.5~3Ω·cm)

- ロ キャスト基板(0.5~3Ω·cm)
- CZ基板(3Ω·cm)
- CZ基板(2Ω·cm, イオン打込みウェーハ)
- 本 キャスト基板(0.5~3Ω·cm)
- × キャスト基板(0.5~3Ω・cm)▲ CZ基板(1.5Ω・cm)

図 4 熱処理温度とライフタイムの関係 ライフタイムが大きいと セル変換効率など特性が向上するので、低い熱処理温度でライフタイムを極力 低下させない製作方法が望ましい。

^{※)} SOGはSolar Gradeの略称である。従来はCZ(Czochralski)法による単結晶基板が用いられていたが、低コスト化のためリボン結晶法及びキャスティング結晶法による多結晶基板の研究、塗布拡散による湿式pn接合の研究がされている。

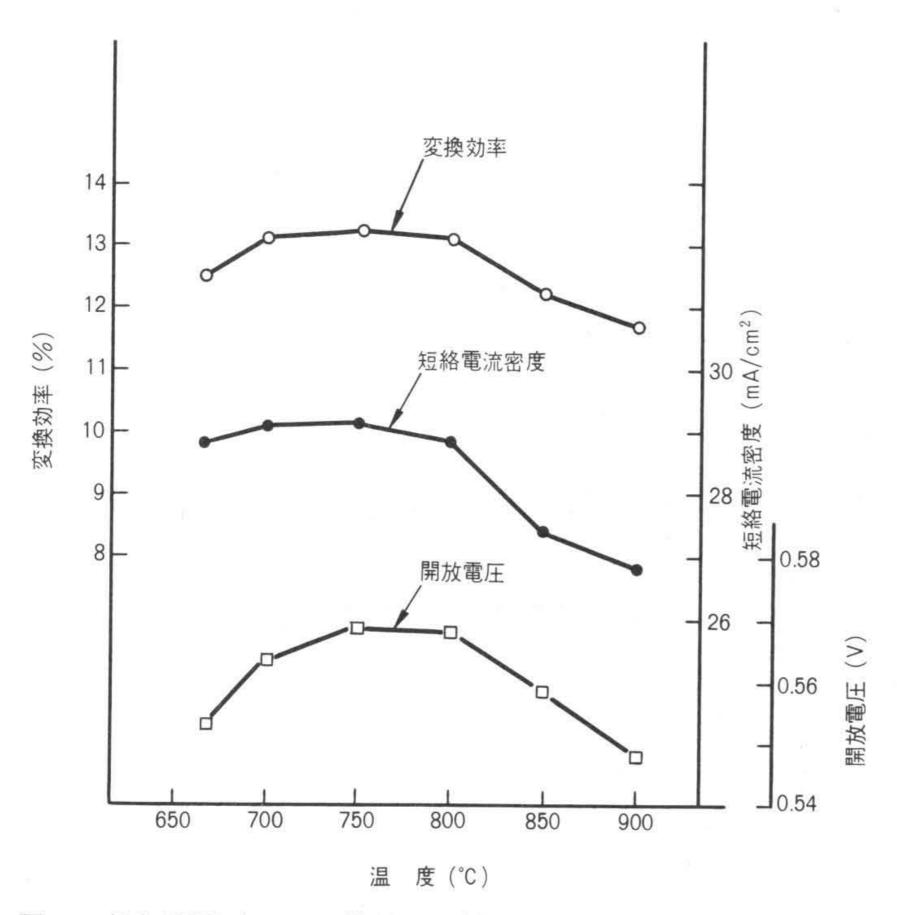


図 5 熱処理温度とセル特性の関係 変換効率は750℃辺りで最大値を示す。これは高温側ではライフタイム低下,低温側では裏面p+層効果のため変換効率が低下すると考えられる。

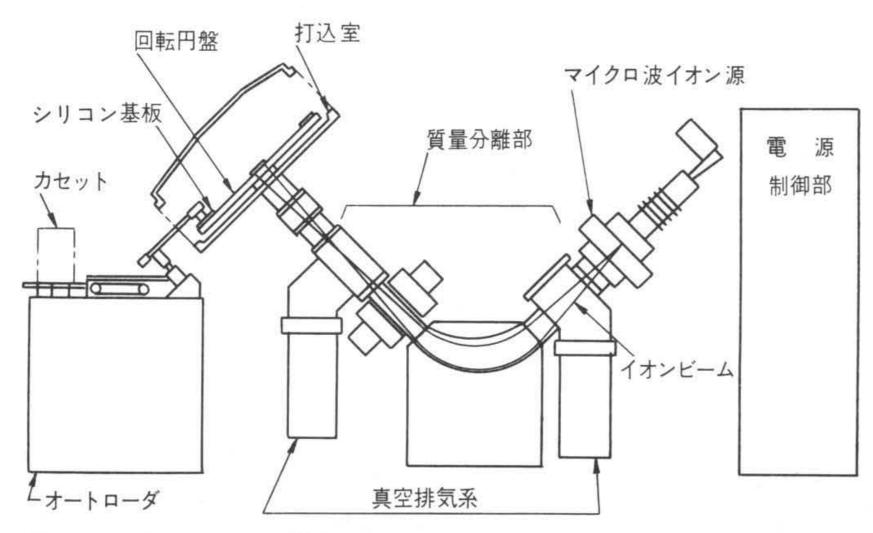


図 6 イオン打込み装置の概念図(側面) イオン源部,分離部及び打 込室部から成る本体機構部と電源制御部,基板のオートローダを示す。

率の膜を形成するが、受光面電極がこの膜を貫通して形成できる技術を開発した。これは反射防止膜材としてTi/Sn系の金属錯体を塗布乾燥して、重合反応により形成した膜上にAgペーストを印刷乾燥し、これらを同時焼成することによりAg印刷電極を膜貫通形成する(Fired Through)もので、従来、連続自動生産のあい路であった受光面電極形成のための反射防止膜の窓開けと窓開け部への、精密なアライメント作業が不要となった。

高効率・高信頼度の太陽電池の製作には、直列抵抗が小さく、リード線との接着性を考慮して電極を形成することが重要である。本工程の電極は、Ag印刷電極層、Niめっき層とはんだ層から構成されている。Ag印刷電極は、前述のように、反射防止膜と同時焼成した一体構造となっている。コンタクト抵抗を低減するためAgペースト材料と製造条件の検討を行なった。ペースト材料としてはコンタクト抵抗に対するメタル添加効果を検討した結果、シリサイド形成メタルの有効性

を見いだした。また、焼成雰囲気についても最適化を図ることにより、高いセル変換効率を得ることができた。

受光面電極パターンについては,直列抵抗と光影損失に関する最適化計算を行ない,ハニカム形構造が面内電界分布の均一化に寄与することを見いだし,その最適化設計を行なった。以上の電極形成工程は,次の特長をもっている。

- (1) 反射防止膜の窓開けとアライメントが不要である。
- (2) 反射防止膜と電極の同時焼成で、工程数が低減できる。
- (3) 電極部での接合破壊が起きにくい。

4 連続自動生産ラインの開発

以上開発を進めてきた各要素となるセル製造技術を基に、図7に示した太陽電池製造連続プロセスを開発した。当初のプロセスに比べると、昭和56、57両年度の研究により大幅な工程数の低減及び連続自動化のあい路になっていたプロセスの省略が図られたので、製造設備の連続自動化が可能となった。このプロセスでは熱処理が2回だけとなり、パターンのアラインメント工程が不要となっている。この製造プロセスを実現する連続自動生産設備を図8に示す。現在、本設備は据付調整を終了し、運転研究を行なっている。同図中のAはウェーハの投入箇所で、矢印は工程の流れを示す。各工程は連続接続されており、セルの連続自動生産が可能となっている。運転研究でのSOG(Solar Grade)多結晶キャスト基板を用いたセル試作結果では、94mm角の大きさで変換効率10%の値が得られている(図9)。その外観を図10に示す。

以上述べた開発により,本工程は下記の優れた特長をもつ 製造方式である見通しが得られた。

- (1) セルを高効率、低ばらつきで生産できる。
- (2) セルを低温度熱処理で生産できる。
- (3) セルを連続自動生産できる。

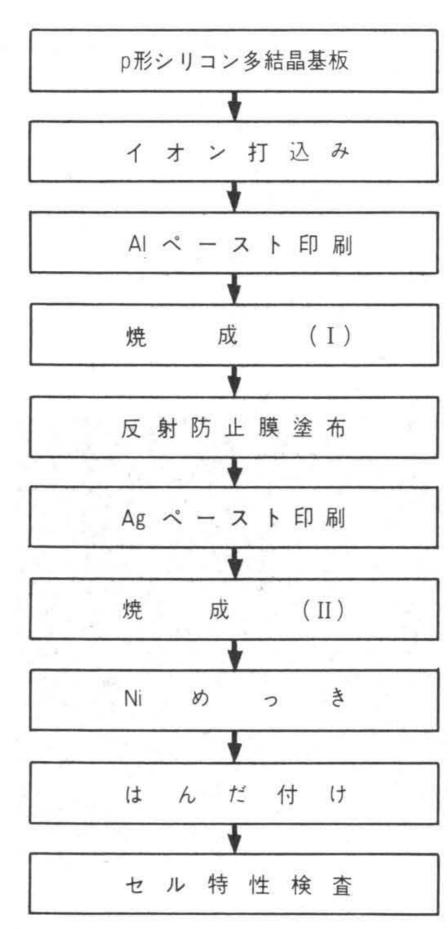
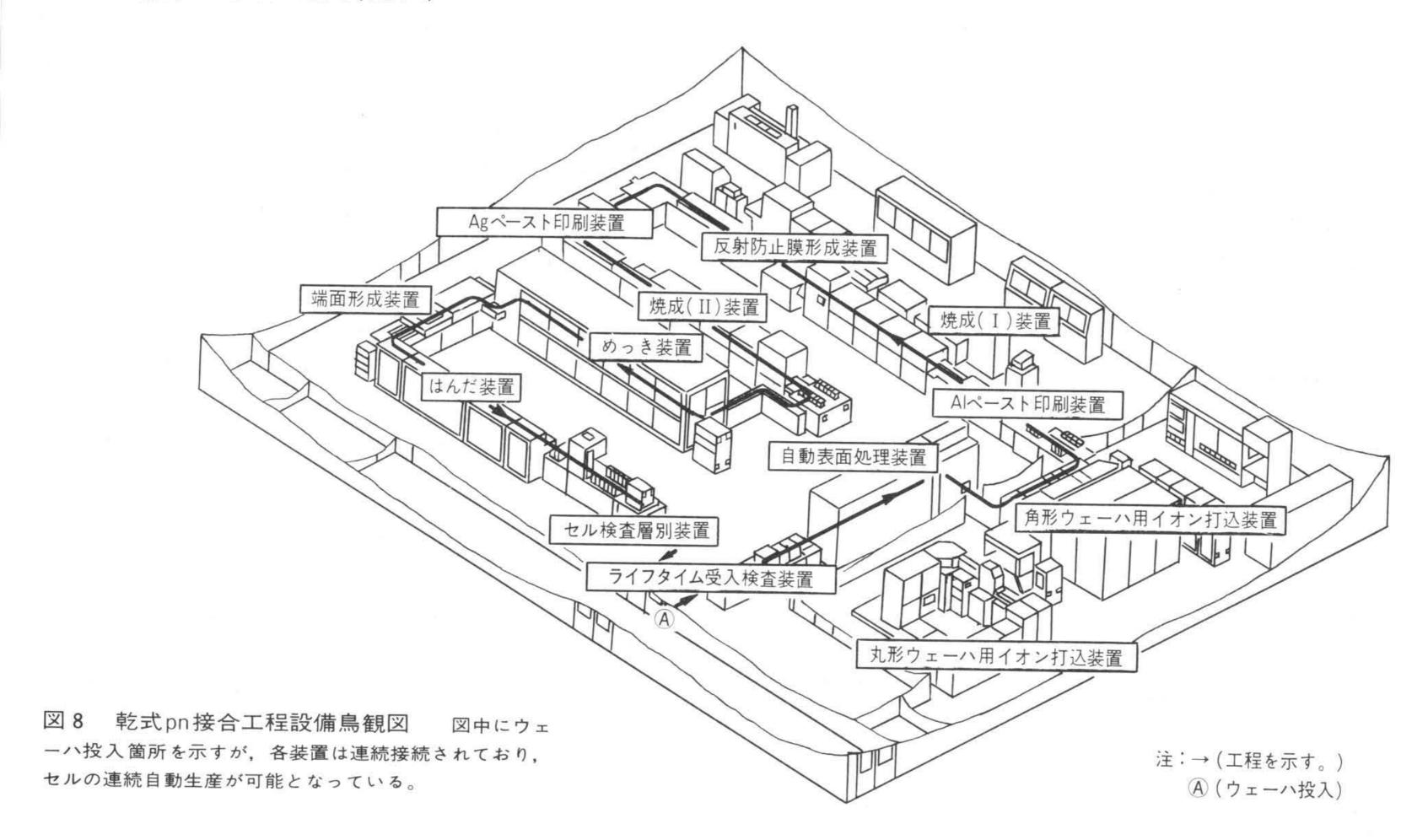
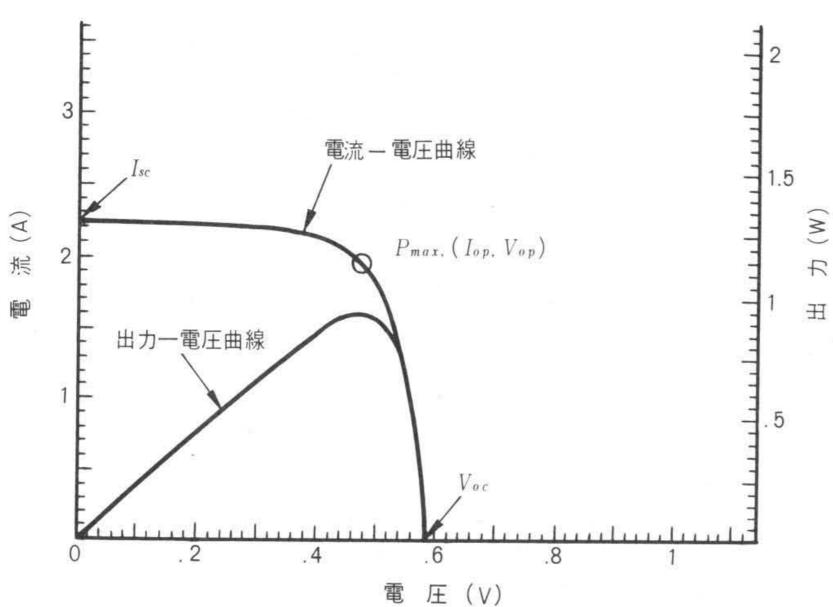


図7 太陽電池製造プロセス工程図(概要) 熱処理が2回だけでよく,パターンのアライメントが不要となったことなど,工程数が大幅に低減されたので連続自動生産が可能となった。





注:略語説明 I_{sc} (短絡電流), P_{max} (最大出力), V_{op} (最適動作電圧) V_{oc} (関放電圧), I_{op} (最適動作電流)

図 9 試作セルの光照射時の電流-電圧特性 測定条件は光照射AM 1.5, 100mW/cm², セル温度28℃である。

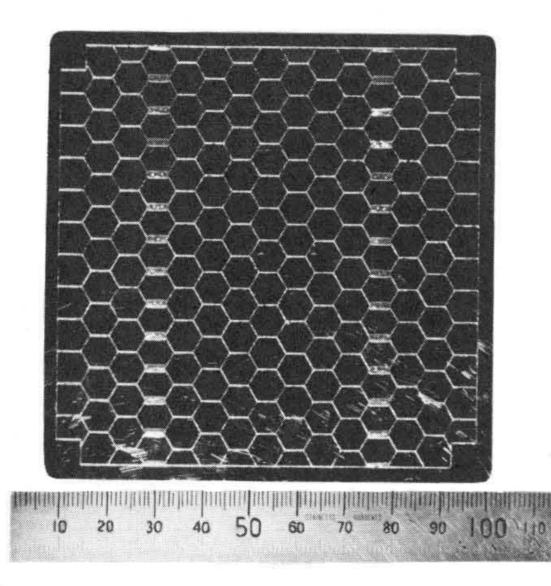


図10 試作太陽電池セルの外観 94mm角形, SOG多結晶キャスト基板を用いた試作セルを示す。セルの下部にみえる白い模様は結晶粒界である。

5 結 言

本工程に関しては、基本生産技術の開発及び設備の設計・製作・据付・調整を完了し、現在運転研究中である。前述のように、本工程は500kW/年の太陽電池製造ラインの一部であり、今後量産試作を通じて開発した技術の向上を図り、また、他の工程との調整を図りながら試作目標を検証する計画である。本工程の技術開発は、通商産業省工業技術院「サンシャイン計画」の一環として新エネルギー総合開発機構からの委託により行なわれたものであり、関係各位の御指導・御協力に対し深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 広野:太陽光発電システムの研究開発, NEDO光発電シンポジウム'83, 1~4(昭58-6)
- S. Minagawa, et al.: Fabrication and Characterization of Solar Cells Using Dendritic Silicon Thin Films Grown on Aluminaceramic, 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 77~81(1976)
- T. Saitoh, et al.: Impurity Gettering of Polycrystalline from Refined Metallurgical-Grade Silicon, IEEE Trans. Electron Devices, ED27, 4, 671~677(1980)
- 4) S. Matsubara et al.: Fabrication and Properties of Diffused Solar Cells Using Solar Grade Silicon Prepared by a Fluidized-bed Reactor, Proceed. 12th Conference on Solidstate Devices Tokyo 1980, J.J.A.P., 20, Suppl. 20-1, 297~303(1981)
- 5) H. Itoh et al.: Characteristics of Silicon Solar Cells Fabricated by Non-Mass-Analyzed Ion Implantation, Proceed. of 3rd Photovoltaic Specialists Conference and Engineering Conference in Japan 1982, J.J.A.P., 21, Suppl. 21-2, 7~11(1982)
- 6) 黒川, 外: II, 結晶形太陽電池, 電気学会雑誌, 102, 12, 16~20(昭57-12)
- 7) 中谷,外:低コストプロセスSi太陽電池(II),第30回応用物理学関係連合講演会予稿集,6-P-O-11(昭58-4)