

新版・機能材料便覧

新平和 印刷

PDG

新版・機能材料便覧

≡k567/23



新版・機能材料便覧

発行 1985年1月31日 定価 50,000円

発行者 樽 垣 寅 雄

発行所 株式会社 シーエムシー
東京都千代田区内神田1-5-4
(ミヤコビル) 電話03(293)2065

発売元 株式会社 ジ ス ク
東京都千代田区内神田1-5-4
(ミヤコビル) 電話03(293)2061
大阪市北区西天満4-7-10
(昭和ビル) 電話06(364)7571

[印 刷 佳印刷株式会社]

©1985

盗刷・乱用は厳正に取締いたします。

はじめに

新材料開発は、21世紀のハイテク時代をリードする基幹技術である。

マイクロエレクトロニクス、ニューメディア、バイオテクノロジー、さらにはスペーステクノロジーなど、21世紀に花開くであろう先端技術はいずれも、画期的な材料の開発なしには、成功はおぼつかない。

本書は、時代をリードする新材料を120の機能に分類し、ニューセラミックス・機能性高分子・複合材料・機能性金属材料などすべての材料分野をカバーした。応用分野も、ニューメディア、マイクロエレクトロニクスから、バイオテクノロジー、医療産業分野までを網羅した、文字通り材料開発の指針となる様に企画した。

120の機能ごとに、機能の概要、現在使用・開発されている材料の現状、材料間の競合、ユーザー側からのニーズ、ユーザーニーズに対する新材料開発の動向と方向性をコンパクトにまとめてある。

弊社では、57年に『機能材料便覧』を発刊し、幸いにして好評を博したが、今回は前書の全面的な増補版である。

この4年間に新材料開発も急速な進歩を示し、次世代、次々世代の産業基幹技術として、材料開発はいよいよ重要な位置を占め、そのターゲットも変化してきている。

今回の改訂では、生体機能、センサ機能、分離機能などの項目を全面的に改訂し、それ以外の項目も大幅に追加し、まったく新しい内容の新版としてまとめた。

新材料開発担当者、材料評価担当者の座右の書となることを確信する。

1985年1月

シーエムジー編集部

—— 各項目の共通アイテム ——

- ①機能の概要：材料の機能と応用についてまとめた。
- ②材料とその機能：現在開発、応用されている材料（高分子・金属・セラミックス・複合材料）の物性・問題点をまとめた。
- ③材料間の適合：それぞれの材料間で機能性・物性・加工性・経済性などの観点からみた適合状況をまとめた。
- ④ニーズ：材料がデバイス・システムに現在使用されているなかでどの様な点（機能性・物性・加工性・経済性）で改善の要望があるかをまとめた。
- ⑤開発状況：ユーザーニーズに対応してどの様な新材料開発が行われているかをまとめた。

1. 電気・電子機能材料

目 次

1. 電気・電子機能材料

1.1	光電変換機能材料	1	1.10	超伝導性(超電導性)機能材料	4
1.2	熱電性機能材料	8	1.11	半導体機能材料	5
1.3	熱電変換機能材料	12	1.12	絶縁・圧熱性機能材料	5
1.4	圧電変換機能材料	17	1.13	絶縁・耐食性機能材料	6
1.5	熱電子放射機能材料	25	1.14	絶縁・走熱性機能材料	7
1.6	導電・耐アーク性機能材料	32	1.15	圧電による抵抗変化機能材料	8
1.7	電導・潤滑性機能材料	35	1.16	圧力による抵抗変化機能材料	11
1.8	電導・耐食性機能材料	39	1.17	圧誘電性機能材料	79
1.9	電導・耐摩耗性機能材料	42	1.18	スイッチング機能材料	41

2. 磁気機能材料

2.1	強磁性機能材料	95	2.6	高透磁率・磁歪率機能材料	123
2.2	高透磁率機能材料	103	2.7	磁気バブル機能材料	124
2.3	高磁束密度機能材料	110	2.8	磁気抵抗効果機能材料	135
2.4	高透磁率・ヒステリシス損失機能材料	116	2.9	磁気電気変換機能材料	135
2.5	高透磁率・角形B-H機能材料	118	2.10	ホール効果機能材料	142
			2.11	ファラデー効果機能材料	146

3. 光学機能材料

3.1	発光(ルミネッセンス)機能材料	143	3.6	感電子線機能材料	178
3.2	レーザー発振機能材料	154	3.7	フォトクロミック機能材料	185
3.3	蛍光機能材料	162	3.8	エレクトロクロミック機能材料	193
3.4	感光機能材料	167	3.9	透光機能材料	198
3.5	感X線機能材料	175	3.10	透光・導光機能材料	203

3.11 透光・電導機能材料……………211	3.18 光導電機能材料……………247
3.12 透光・耐熱機能材料……………219	3.19 電致光学効果機能材料……………252
3.13 光選択透過機能材料……………221	3.20 磁致光学効果機能材料……………258
3.14 偏光機能材料……………229	3.21 音響光学効果機能材料……………265
3.15 光学の異方性機能材料……………234	3.22 光反射機能材料……………267
3.16 光変形機能材料……………241	3.23 非線形光学機能材料……………272
3.17 二次電子放出機能材料……………243	

4. 制振・吸音機能材料

4.1 制振・防振機能材料……………281	4.2 吸音・遮音機能材料……………284
-----------------------	-----------------------

5. 機械的機能材料

5.1 高強度・耐熱機能材料……………297	5.7 潤滑機能材料……………336
5.2 高強度・耐食機能材料……………307	5.8 耐摩耗機能材料……………341
5.3 高強度・軽量機能材料……………316	5.9 摩滅機能材料……………344
5.3.1 高張力鋼……………316	5.10 超塑性機能材料……………349
5.3.2 超強力鋼……………319	5.11 機械加工性機能材料（快削鋼， 超・超々快削鋼）……………350
5.4 高剛性・軽量機能材料……………324	5.12 接着・接合・粘着機能材料……………353
5.5 高硬度機能材料……………326	
5.6 高弾性機能材料……………333	

6. 熱的機能材料

6.1 高温耐熱性機能材料……………361	6.5 熱媒体機能材料……………393
6.2 低温耐熱性機能材料……………366	6.7 冷媒機能材料……………398
6.3 発熱機能材料……………371	6.8 形状記憶機能材料……………403
6.4 蓄熱機能材料……………376	6.9 サーモクロミック機能材料……………410
6.5 断熱機能材料……………386	6.10 紫外線放射機能材料……………415

7. 生体機能材料

7.1 生体適合・高強度機能材料(人工骨・人工関節).....	419	7.5 生体適合・ガス透過機能材料(人工肺).....	438
7.2 生体適合・高強度機能材料(人工歯科材料).....	426	7.6 抗血栓・生体内機能材料(人工心臓・血管).....	443
7.3 生体適合・ガス透過機能材料(人工レンズ).....	432	7.7 抗血栓・生体外機能材料(人工腎臓・人工肝など).....	453
7.4 生体適合・ガス透過機能材料(人工皮膚).....	436	7.8 生体内分解機能材料.....	460

8. 放射線機能材料

8.1 耐放射線・絶縁機能材料.....	465	8.4 中性子減速機能材料.....	475
8.2 耐放射線・耐熱性機能材料.....	469	8.5 中性子吸収機能材料.....	482
8.3 放射線シンチレーション機能材料.....	475		

9. センサ機能材料

9.1 ガスセンサ機能材料.....	485	9.7 光センサ機能材料.....	518
9.2 湿度センサ機能材料.....	497	9.8 磁気センサ機能材料.....	523
9.3 圧力センサ機能材料.....	505	9.9 イメージセンサ機能材料.....	526
9.4 近接センサ機能材料.....	508	9.10 加速度センサ機能材料.....	528
9.5 温度センサ機能材料.....	510	9.11 イオンセンサ機能材料.....	552
9.6 音(超音波)センサ機能材料.....	516	9.12 バイオセンサ機能材料.....	557

10. 化学的機能材料

10.1 防食機能材料.....	545	10.5 光電気化学機能材料.....	568
10.2 ガス吸・脱着機能材料.....	553	10.6 触媒機能材料.....	571
10.3 イオン交換機能材料.....	557	10.7 メカノケミカル機能材料.....	582
10.4 キャレート機能材料.....	563		

11. 分離機能材料

11.1	UF膜材料（限外圧過膜）	585	11.8	血漿分離膜材料	625
11.2	逆浸透膜（RO膜）材料	591	11.9	吸水機能材料	629
11.3	精密圧過膜（MF膜）材料	595	11.10	吸油機能材料	637
11.4	イオン交換膜材料	599	11.11	高速液体クロマトグラフィー用担体機能材料	641
11.5	気体分離膜材料	605	11.12	固体電解質材料	647
11.6	気体不透過機能材料	611			
11.7	液体選択透過機能材料	619			

1.1 光電変換機能材料

(1) 機能の概要

光を電気に変換する機能には、光エネルギーを直接電気エネルギーに変えることと、光信号と電気信号との相互変換がある。

前者はエネルギーを得ることが目的であるので、外部電源を接続したり、増幅することはできない。代表的な用途は太陽電池である。また、後者はエネルギーを得るのが目的でないで、外部電源を接続したり、増幅できる。

また、受光素子は光導電効果（半導体を直流バイアスすると、エネルギー帯構造に傾斜を生ずる。この状態で光を照射すると電子・正孔対が形成され、外部回路に光量に比例した電流が流れる）と光起電力効果（光を吸収すると外部回路を接続しなくても電子レベルが高くなり起電力を発生する。電子を放出して元に戻る時電流となる）に大別され、光検出器や光センサ、光電池などの用途がある¹⁾。

逆に、電気を光に変換する機能には、次の3通りがあるが、詳細は、発光機能の項を参照されたい。

- a. ジュール熱による発光素子（白熱電球などWフィラメントの発光）
- b. ガス放電による発光素子（ネオン管やガスレーザー）
- c. LED、ホトトランジスタ、電子線や固有電場、注入形電場発光などエレクトロルミネッセンス

(2) 材料とその機能

太陽電池に用いられる材料には、Si, Ge, Se（単結晶、多結晶、非晶質）、Ⅲ族のSiC、Ⅲ-V族GaAs, AlAs, $Al_{1-x}Ga_xAs$ 、Ⅱ~Ⅲ化合物半導体CdS, CdTe, CdSe, PbS, PbSe, Cu_2S , $CuInSe_2$, $CuGaSe_2$ などがあり、赤外線など長波長域の検出器には $Hg_{1-x}Cd_xTe$, $Pb_{1-x}Sn_xTe$ など、光伝導効果による光センサには Sb_2S_3 , PbO , 赤外線センサにはPbS, PbSe, InSb, Ge: AuまたはCuなどがある²⁾。

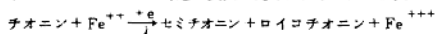
太陽電池用材料はSiが主体で研究が進み、それを変換効率の大きいGa-As系が追っている形である。一方、有機太陽電池は電極-ネサガラス基板上に真空蒸着装置を用いてニッケルフタロシアニン錯体（半導体）；ポリエチレン（絶縁層）、アルミ（金属電極）を順次蒸着積層したもので、製造コストが安いうえ、大面積化が可能なので、まだ、検討課題は多いが、次代の太陽電池として注目されていて、目下、変換効率1%前後と低く、2%程度を目標に検討されている。

また、高分子半導体であるポリアセチレンは五フッ化リンやBr, As, Iのような電子受容体のドーピングによりp型に、Na, Li, Kのような電子供給体のドーピングによりn型にできて、この2

種を結合すると整流作用が認められる。この素子は光スペクトルから太陽光線の半分以上の光を利用できるので、太陽電池として使用できる可能性がある。

また、光起電力効果を示すものには、次の有機物がある。チオニン・第一鉄イオン系、トリサフランニ・EDTA系などがあるが光電流の変換効率は0.2%の段階である。

高分子チオニンは600 nm付近の波長の光を吸収して次の物質ができる。



このうち活性なのはセミチオニンだけで、ロイコチオニンは不活性である。そこで、吸収可能な波長領域を広げられる色素を開発してこれを混合すること、たとえばローズベンガル(450~550 nm吸収)、ローダミン(500~600 nm吸収)、フェノチアジン、フェノジン系などの色素をチオニン・ポリアミン系(たとえばトリエチルアミン)に混入することが検討されている。また、薄層化による出力向上が検討されている。

本機能のうち、太陽電池材料が最も有用なので、下表に、主な材料の製法と変換効率をまとめた。

太陽電池材料

材	料	作 製 法	効 率 (%)	備 考
Si	単 結 晶	拡 散	15	間接遷移
		リボン・拡散	10	"
	アモルファス	スパッタリング グロー放電	5.5~8	"
n-AlAs/p-GaAs	単結晶(多結晶)	気相成長	18.5	直接遷移
p-Al ₂ Ga _{1-x} As/p-nGaAs	単 結 晶	液相成長	18~20	"
n-Al _{0.5} Ga _{0.5} As/p-GaAs	単 結 晶	剝離法	14	"
p-Cu ₁ S/n-CdS	多 結 晶	蒸着法	8	"
p-Cu ₁ STe/n-CdS	多 結 晶	"	12	"
n-CdS/p-InP	結 晶	気相成長	15	"
n-CdS/p-CdTe	多結晶/結晶	スプレ法	5~6	"
n-CdS/n-pCdTe	焼結体	印刷・焼結	8	"
p-CuInSe ₂ /n-CdS	単 結 晶	蒸着法	12	"
	多結晶薄膜	蒸着法	6.2	"

これらの材料のうち、原料面で豊富であり、開発が進められているシリコン太陽電池の製造方法にふれておこう²⁾。

＜単結晶シリコン太陽電池の製法＞

チョクラスキー法またはフローティングゾーン法で直径50 mm程度の単結晶棒を作製し、これを数百 μmの厚さに切ってウエハとする。次に表面の加工変質層をエッチングで取り除く。太陽電

池は受光面に格子欠陥があると、変換効率が著しく低下するので、表面を特に念入りに研磨して仕上げる。P、Sbなどを拡散してp-n接合を作り、電極を蒸着法で形成して素子を作る。このプロセスは簡単のように見えるが、非常に複雑であり、かつ材料原価も高いので、当然発電コストも高くなる。

そこで、この方法の改良法として次の2つの方法が検討されている。

1) EFG (Edge defined Film Fed Growth) 法

熔融したSiを黒鉛のダイスを使って厚さ1~2mm以下の薄いSi板として引上げる方法である。この方法はウエハにしたり、エピタキシャル成長させる必要がなく製造原価の低減効果がある。

2) ベンシルバニア大考案の方法

ルツボに熔融したSiを満たし、長方形のノズルから Si_3N_4 をコーティングしたMo薄板上に連続的に流し出す。ベルトコンベア式に流し、数百 μm の厚さで凝固させる。コンベア上でイオンを折込み連続的にp-n接合を形成しコストダウンを図る。この方法はまだアイディアの段階である。

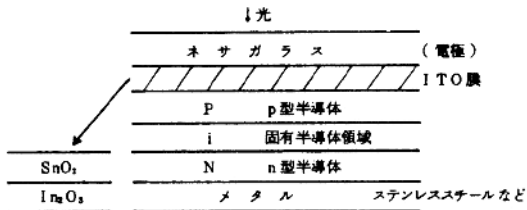
<アモルファス太陽電池の製法>

低真空にした反応室に基板を設置し、 SiH_4 (シラン) または SiF_4 ガスを導入し、電極間で高周波プラズマ放電またはグロー放電を行う。高周波や放電で励起された高エネルギーの電子が材料ガ스에衝突し、ガス材料の分解や活性化されたガス間の反応によって非晶質Siが基板に析出する。

原料の SiH_4 に不純物として B_2H_6 (ジボラン) と PH_3 (ファスフィン) を添加することにより、それぞれp、n型に変えることができる。これをp-n接合して電池とする。²⁾

アモルファスシリコン太陽電池の断面構造は下図のとおりである。

ITO膜中の SnO_2 膜は耐プラズマ性、 In_2O_3 膜は低抵抗性を付与する⁵⁾。



(3) 材料間の競合

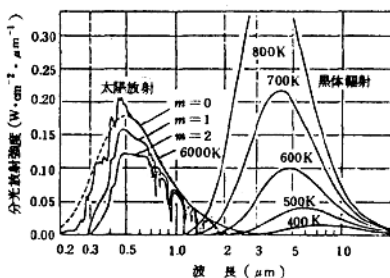
太陽電池の材料として、エネルギー効率の理論限界としては、Cd-Te、GaAsが最適だが、材料資源の豊富さ、価格、製造技術、電極形成および加工技術などから考えると、Si (シリコン) の方が有望である。したがって材料間の競合は結晶シリコンとアモルファスシリコンになる。結晶Siは

変換効率が高く安定しているが、製造法が複雑で高価になるきらいがある。

一方、非晶質Siは結晶Siに比し、光の吸収係数がほぼ1桁大きく、太陽電池としての必要な膜厚は1 μm でよい(結晶Siの場合は約300 μm)ので、所要シリコン量が少なくすみ低コスト化できる。だが、欠点として安定して高い変換効率を得ることがむずかしいことや、セル面積を大きくすると変換効率が低下するという問題点がある。しかし、大幅低減の可能性が強く、最近の研究で、小面積で6~7%, 大面積で4%以上の変換効率のものが実現している。

(4) ニーズ

太陽光の波長分布は、下図のように太陽光の大部分が含まれる波長領域1.5 μm 以下の光に対して



$m=0$: 大気圏外, $m=1$: 太陽が真上にある場合 (海上), $m=2$: 平均太陽高度 30° の場合

太陽スペクトルと黒体放射スペクトル

有利な吸収を示す材料(量子効率が最もよい)は1.0 eV位の禁制帯幅 E_g の値を持つ半導体が、効率 $\approx 45\%$ で最適である。

実際は動作温度が室温であるとか、電子・正孔対が再結合して消滅するための損失などがあり、それらを考慮して理想的な太陽電池の最大効率と E_g の関係を求めると、次頁の図のようになる。地上で使用する場合、 E_g が1.4 eV前後の半導体が最も有効であり、そのような材料として考えられる材料を表にしたのが、前述の表である。

実用材料としては、SiおよびCdS-CdTe系があげられる。

Siは資源的に豊富でかつSiデバイスの開発における経験や技術的蓄積が豊富である点が有利だが、今のところCdSに比べて価格の点で問題である。この点を解決するには、①製造プロセスの効率化、②出力当りの材料使用量を少なくすること、③エネルギー変換効率をあげることである。

入射光の80~90%を吸収するのに、Siなどの間接遷移型半導体では少なくとも100 μm 、GaAs, AlSb, CdS, CdTeなどの直接遷移型半導体では、1~10 μm 程度の厚みがあればよい。現在、最も注力しているのが、薄膜化の問題である。

通産省では、向こう10年間わが国のエネルギー消費量の約1% (石油換算約700万kl)を太陽エネルギーで供給する計画で、施策を推進中だが、この1%の80%を太陽熱によるソーラハウスなどの省エネで、20%を太陽熱発電でまかなう計画である。

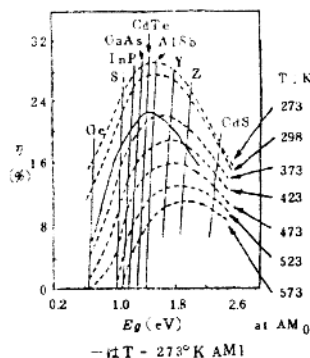


図1はT = 273°K AM1
理想的に作られた太陽電池最 効
率の温度依存性

一方、太陽光発電は現在、先進各国でしのぎを削っている技術開発分野であり、わが国では「サンシャイン計画」を中心に開発に取り組んでいる。この実用化は技術的見通しを得ており、1990年までに発電能力約300万kWを予定し、太陽電池パネル1W当たり50～100円を目標としている。サンシャイン計画は、①太陽電池用低コストSi原料の大量生産方式、②太陽電池セルの大量生産システム、③太陽電池パネル製造技術などの確立から成っている³⁾。

目下、太陽電池の利用は商用の電気料金2.0円/kWh程度に比し、屋根上に取り付けた場合の電気代90円/kWh（非晶形Si太陽電池モジュールの価格1,800円/Wp程度として）と高価なため用途は次の分野に限られている⁴⁾。

民生機器用としては電卓、腕時計、屋外大型時計が多く、ラジオ、TV、テーブルレコーダ、玩具、など小電力容量を主体に浸透しつつある。

一方、産業用は無人灯台、雨量測定器、防流警報装置、地震テレメータ、無線機中継所、人工衛星などの電源に用いられている。そして、低コスト化とともに中程度の必要電力の通信電源、揚水ポンプ、ビル照明などから大電力の必要な学校やアパートの電源システム、中規模発電、工場用電源システム、太陽光発電へと拡大が予想される。

太陽電池の種類と用途を調べてみると、民生用は多結晶型やアモルファス型が主で、単結晶型は全般にわたって使用されている。また、人工衛星だけは高価だが、変換効率と安定性の高いGaAsが使われている。

宇宙開発関係では、人工衛星の地上送信用電源の開発の他、NASAでは、地球軌道衛星を用い、そこで太陽電池で直流電池にかえ、さらにマイクロウェーブエネルギーに変えて地球に送り、地上の受電所でマイクロ波を電流に戻し、送電するという大構想を進めている。

今後、非晶質Siを用いた太陽電池など低コスト化、や理論的に変換効率もSiより高い化合物半導体（例えばGaAs）を用いた太陽電池の開発が期待されている。

センサとしては、SiやSeを用いた光電池など可視光領域では広く実用化されている。

紫外線領域では、波長により種々の材料が実用化されれば、将来はUV光など短波長領域でのセンサ材料にも要求が出てくる。

(5) 開発状況

もともとは単結晶Siが主流ということで、サンシャイン計画の中では、リボン状結晶や多結晶系、化合物半導体系を用い、東芝、日本シリコン、日立、日本電気、シャープ、松下各社が、1W1万円クラスのコストを1/100にする研究に挑戦中である。

生産コスト面では、多結晶系で2200~2300円/W(昭和57年)、1750円/W(昭和58年)、1500円/W(昭和59年見込み)となり、非晶質系では、昭和60年までに100~200円/Wが期待されている。技術面について述べると、シリコン単結晶系では、厚さ数百 μm のリボン結晶の作製に努力が払われ、リボンの引き方に注力して、変換効率10.9%のものも得られている。

また、化合物半導体の単結晶薄膜では、膜の結晶性に問題がある。三菱電機では、Ga-Asを使った変換効率21.6%という太陽電池の開発を発表している。

一方、非晶質Siは結晶系Siに比し、1/10~1/100の薄さでも太陽光を吸収できるので、低コスト化ができ、問題点はあるものの大きな魅力となっていて、三洋電機、シャープ、富士電機などが注力しているし、米国でもECD、RCA、エクソン社が注力していて国際競争となっている。

多結晶または非晶質薄膜の開発では、安定で効率の大きい素子の作製に問題がある。

現在、PVD(physical vapor deposition)、CVD(chemical vapor deposition)、プラズマの利用が検討されている。

CdS多結晶膜の作製の実用化は早くから進み、価格、製造技術面では問題ないが、寿命の改善に努力が払われている。

次に最近の主な開発動向をまとめてみよう。

- a. 大阪大学基礎工学部では、非晶質Si(nip)とn型非晶質Siとp型多結晶Siを結合したものを重ね合わせたヘテロ接合の新太陽電池を開発した。この電池は利用できる光の波長が異なる両者を生かし、小面積(0.44 cm^2)ながら変換効率12.53%を得ている。このようなヘテロ接合積層方式の考え方は、現存する $\text{Cu}_2\text{S}/\text{Si}$ 、 InP/CdS 、 CdTe/Cd などのヘテロ接合や上述の多結晶Siの代わりにGaAsやGeなどとの組み合わせも考えられる⁵⁾。
- b. TDKでは、シリコン層中の酸素、窒素などの不純物が半導体Siと結合することで、 SiO_2 などの絶縁物に変化し、導電性を失うことから、プラズマCVD装置で使用するシランガス内の不純物を除去する方法を考案し、変換効率が1 cm^2 角の面積で10.5%という世界最高レベルの太陽電池を開発している⁵⁾。
- c. 筑波大学物質工学系では、太陽光をポリアセチレンに電気エネルギーとして蓄えられる現象を世界で初めて発見した。実験では、 AsF_5 や過塩素酸イオンの電解質を溶かした有機溶媒に半導体・ポリアセチレンを浸し、フィルムに白色光を数分間照射、光源を除いた後負荷をかけると、数 μA の電気が取り出せた。この導電性高分子だと、同デバイスで太陽光の変換と貯蔵の両方が実施でき、光蓄電池になりうるとみられる⁶⁾。

d. 理化学研究所でも、太陽光を電気に変え、蓄電できる新高分子膜を開発している⁷⁾。この高分子は白金膜を結合したネサカラスにピロールと過塩素酸テトラエチルアンモニウム、さらにアセトニトリル溶液に溶解して、これに電気を通して電解重合で作られる。500Wのキセノンランプ光をこの膜に当てると、50 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ の蓄電 50 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の電流を生ずることがわかり、光センサ、バッテリーの応用がある。

e. 横浜国大では、安価で高効率な太陽電池として期待される InSe の薄膜を簡単に形成する方法を開発した⁸⁾。この方法は容易に得られる In_2Se_3 粉末を真空中で基板に InSe を蒸着させるもので、この電池は普通の太陽電池では使えない比較的に波長の長い光（可視光）も電気に変えることができる特徴がある。

f. 三洋電機は 1cm^2 の小面積型アモルファスシリコン太陽電池として世界最高の 11.5% という光電変換効率を達成した。この技術開発のポイントは電池の多層構造のうち、透明電導膜に凹凸を持たせて反射型にする一方、金属層のアルミに換えて銀を使い、長波長の太陽光の反射特性を向上させたこと、Si 薄膜のうち、電気的に中立な層の部分の不純物を減らし、電気特性を向上させたことである⁹⁾。

今後の課題として、①資源および製造プロセスの面で問題が少ないこと、②変換効率の高い材料を多結晶、非晶質の形で、効率が高く高寿命、低コストの電池にどのように組み込めるかなどがある。また単結晶基板を用いる手法はエネルギー利用（材料作製に要する熱量消費、材料消費など）の立場からは問題が多いように思われる。

文 献

- 1) 電子科学, 21(5)(1971)
- 2) 機械産業の施策に関する調査研究
- 3) イノベーションと新材料, シーエムシー
- 4) 電子材料, 23(2)38(1984)
- 5) 1984 年版, 機能材料市場年鑑, シーエムシー
- 6) 日刊工業新聞 (59.8.31)
- 7) 日刊工業新聞 (59.9.27)
- 8) 日経産業新聞 (59.10.1)
- 9) 日経産業新聞 (59.10.22)