アモルファスシリコン太陽電池の開発動向

大 西 三千年[†], 桑 野 幸 徳[†]

アモルファスシリコン太陽電池の性能改善が最近著しい。3年前に実用化が始まった電卓向けなどの民生用分野では、単結晶シリコン太陽電池を、性能面でもコスト面でもしのぎ、ほぼ駆逐するに至っている。この民生用向けのマーケットを確保するなかで、本命の電力用太陽電池としての開発が進められ、実用化にむけての精力的な取り組みがなされている。

1. ま え が き

太陽光から直接電気を取り出す太陽電池は、新しいエネルギー源として大きな関心を集めている。とりわけアモルファスシリコン（以下 a-Si）太陽電池は、低コスト太陽電池の最有力候補として期待が高まっている。これは a-Si 太陽電池が、

- (1) 製造工程が簡単。
- (2) 製造エネルギーが少ない。
- (3) 使用材料が厚さ $1\mu\text{m}$ ときわめて少ない。
- (4) 大面積化、連続自動化が容易で量産性に富む。
- (5) ガラスやステンレスなど安価な基板を使用できる。
- (6) 集積形などセル構造の工夫により1枚の基板から実用的な高い電圧を取り出せる。

など、従来の単結晶 Si 太陽電池にはない、低コスト太陽電池としてすぐれた特徴を有しているためである。

a-Si が太陽電池用材料として注目を集め始めたのは、1975 年ダンディ大学 Spear らによる、シラン中のグロー放電で形成した a-Si では価電子制御が可能であるとの発表¹⁾を契機としている。そして翌 1976 年、RCA の Carlson らは a-Si を用いた太陽電池の最初の発表²⁾を行い、ガラス基板上の pin 形セルで 2.4% の変換効率を報告した。

我が国では、大阪大学の浜川らがステンレス基板上

の pin 形セルを開発し、1978 年に効率 4.5% の a-Si 太陽電池の発表³⁾を行った。

さらに a-Si 太陽電池の実用性に着目して、三洋電機の桑野らは 1979 年、アモルファスの特徴を生かした集積形 a-Si 太陽電池を開発⁴⁾し、翌 1980 年、この集積形 a-Si 太陽電池を搭載した電卓を世界で初めて商品化した⁵⁾。そして現在まで 2 年半の間に、この電卓を中心とする民生用分野では、従来の単結晶 Si 太陽電池をほぼ駆逐するまでに成長している。

一方、電力用については、民生用での成功も刺激となり活発な開発が進められている。通産省のサンシャイン計画でも昭和 55 年度より a-Si 太陽電池が取り上げられ、計画が進んだ昭和 58 年度からは基礎的な開発研究から工業化をめざした実用化研究へと重点を移しつつある。

本稿では、a-Si 太陽電池の製造法と特性等について述べたあと、民生用および電力用への応用の現状について述べる。

2. a-Si 太陽電池の製造法と特性

2.1 a-Si 太陽電池の製造法

従来の太陽電池は、Si, CdTe, GaAs などの単結晶あるいは多結晶を中心に開発されている。その代表である単結晶 Si および多結晶 Si, リボン結晶 Si を用いた太陽電池の製造工程を図 1(a), (b) に示す。これらの方法で形成した太陽電池は、(1)製造工程が複雑、(2)製造エネルギーが大きい (1000°C 以上の工程が 3 回)、(3)必要材料が大 (厚さ $300\mu\text{m}$ 以上必要かつ材料ロス大) などのため、その価格は $2300\sim 5000$ 円/W と高い。そのため用途も人工衛星や、無人燈台など狭い範囲に限られており、太陽電池の広範な実用

[†] 三洋電機株式会社 中央研究所

"Recent Trends of Amorphous Silicon Solar Cells" by Michitoshi Ohnishi and Yukinori Kuwano (Research Center, SANYO Electric Co., Ltd., Osaka)

図 1 各種太陽電池の製造方法

表 1 基本的反応条件

基板温度	200~400℃
高周波周波数	13.56 MHz
高周波電力	10~200 mW/cm ²
ガス圧	0.2~1 Torr
ガス流量速度	20~100 cc/min
膜成長速度	0.2~1 μm/hr

化が困難な状況にある。これに対し、a-Si 太陽電池は 1 章で述べたように、低コスト太陽電池の条件を兼ね備えており、身近になりつつある太陽電池時代の担い手として注目されている。

a-Si 太陽電池を構成する基本材料である a-Si 膜の形成には、図 1(c) に示すような、シラン (SiH₄) ガスのグロー放電分解法が用いられる。SiH₄ ガスを真空反応炉中に導入し、電界を印加してグロー放電を行うことにより a-Si は形成される。この時、ジボラン (B₂H₆) あるいはフォスヒン (PH₃) を不純物ガスとして添加すると、p タイプ a-Si、n タイプ a-Si をそれぞれ形成できる。すなわち、バルブの切替えによって a-Si 太陽電池の基本構成である pin 接合を形成できる。一般に用いられている基本的反応条件を表 1 に示す。

2.2 グロー放電 a-Si 膜の性質

アモルファスは、非晶質、非結晶、無定形とも呼ばれ、原子の配列の仕方に結晶のような周期性、対称性を持たない。さらに正確に言えば、短距離秩序は有するが長距離秩序が欠落している。従来の蒸着法やスパッタ法で形成した a-Si 膜中には、図 2(a) に示す単語晶 Si の場合と異なり、図 2(b) に示すように、3 次元的なランダムネットワークを組むために多数の切

れた結合手が存在する。この未結合手 (ダングリグ bonds) はバンドギャップ中に 10^{20} 個/cm³eV 以上の多数の局在準位をつくり、そのため B や P をドーピングしても p 形や n 形電導に変化させることができない。

これに対し、グロー放電で形成した a-Si (GD a-Si) 膜には水素が 10~30% 程度含まれており、この水素が図 2(c) に示すように、Si ネットワークの未結合手を終端し、a-Si の局在準位を 10^{15} ~ 10^{17} 個/cm³eV にまで減少させる。このため GD a-Si 膜は p 形や n 形に自由に価電子制御ができ、a-Si の太陽電池への応用の道が開けた。

さらに a-Si 膜は、太陽光に対する光吸収係数が大きいという特徴をもつ。すなわち、太陽光のエネルギー分布のピーク付近の波長に対する a-Si の光吸収係数は、単結晶 Si のそれと比較して 1 桁以上大きい³⁾。このことは太陽電池として必要な膜厚が薄くてよいことを示している。

2.3 a-Si 太陽電池の構造

代表的な a-Si 太陽電池の素子構造を図 3 に示す。基板としてガラスあるいはステンレスを用いるのが一般的であるが、最近ではさらにプラスチックやアルミ基板なども検討されている。透明電極には ITO (Indium Tin Oxide) や酸化すず (SnO₂) が用いられる。現在最も多く研究されている素子構造は、pin 構造を基本とするもので、p 層、i 層、n 層の膜厚はそれぞれ 100~300 Å, 5000~10000 Å, 200~500 Å と極めて

図 2 単結晶 Si およびアモルファス Si における結合状態モデルとバンドモデル

図 3 各種 a-Si 太陽電池の構造

図 4 連続分離形成方式による a-Si 太陽電池製造装置

薄い。

2.4 太陽電池特性向上の取り組み

a-Si 太陽電池は、開発当初、単結晶 Si 太陽電池に比べて効率がかかなり低かったことから、研究の力点も効率向上におかれ現在に至っている。以下に a-Si 太陽電池特性向上の取り組みについていくつか述べる。

(1) 連続分離形成方式

pin 形太陽電池を図 1(c) に示すような 1 つの反応室でガスの切替えによって形成する場合、前の反応による残留不純物がセル特性を低下させる。これを避けるため、図 4 に示すような *p*、*i*、*n* 各層を分離した反応室で形成する連続分離形成方式が筆者らにより開発された⁶⁾。この方式により、B や P などの異なったタイプの不純物の相互混入を避けるとともに、不純物のドーピング量を精密にコントロールすることが可能となり、a-SiC/a-Si ヘテロ接合セルで効率が 6.1% から 8.82% に向上した。

(2) ワイドバンドギャップ *n* 層および微結晶化膜

Carlson らは、*pin* 形セルの窓側材料である *p* タイプ a-Si 膜の光吸収が大きく、主要なキャリア発生領域である *i* 層に到達する光の量が減少するのを改善するため、*p* 層に比べ光吸収の少ないワイドバンドギャップの *n* 層を窓側に用いた図 3(b) に示す逆 *pin* セルを開発し、効率を初めて 6% 以上に向上させた⁷⁾。

一方、電総研⁸⁾ および広島大⁹⁾ グループから、水素濃度を高くして不純物添加した SiH₄ 中で高電力で放電を行うことにより微結晶化膜が得られ、電気伝導度が向上するとともに吸収係数が減少することが報告され、これを窓材に使用した図 3(f) に示すセルが試作され、7.8% の効率が得られている¹⁰⁾。

(3) *p* 形 a-SiC/a-Si ヘテロ接合素子

大阪大浜川らは、SiH₄ と CH₄ の混合ガスに B₂H₆ を添加してグロー放電で形成した *p* 形 a-SiC 膜が、すぐれた光導電性を有するワイドバンドギャップ材料であることを見出し、これを窓側材料に用いた図 3(e) に示す a-SiC/a-Si ヘテロ接合素子を開発した¹¹⁾。これにより効率が従来の 5.71% から 8.84% へと向上した。さらに最近 RCA は、この *p* 形 a-SiC を用いたセル構造において、*i* 層の膜質を改善しキャリア拡散長を 1.6 μm と大きくするとともに、裏面電極に Ag を使って長波長側の反射光を有効に利用することにより、10.1% の効率を得ている¹²⁾。

図 5 マルチバンドギャップセル構造とバンドプロファイル

(4) 多層構造セル

アモルファス材料が、その組成を広い範囲で変えられ、しかも格子整合の制約が少ないという特徴を生かした多層構造セルが開発された。これは、図5に示すように、バンドギャップの異なるセルをそのバンドギャップの大きい順に積み重ねて形成することにより、フロント側のセルを透過してくる主に長波長領域の光をバック側のセルに吸収させ、太陽光全波長成分を有効に利用するものである。図3(g)に示す a-SiGe を用いた 3 層構造セルで効率 8.5%¹³⁾, a-SiN/a-Si 2 層構造で 7.01%¹⁴⁾ が得られている。その他、図5に示す a-SiN/a-Si/a-SiSn の 3 層構造も提案されている¹⁵⁾。

2.5 太陽電池特性と今後の予測

これまで報告されている a-Si 太陽電池の光起電力特性の主なものを表2に示す。また図6には、a-Si 太陽電池の変換効率向上の推移と今後の予測を示す。小面積では RCA により 10.1%¹²⁾, 大面積では筆者ら

図6 アモルファス太陽電池変換効率の変遷と向上の見通し

により 10 cm 角で 7.36%¹⁶⁾ が得られている。

今後の予測として、筆者らの理論変換効率の計算手法¹⁷⁾によると、単層の pin セルで 12~14%, 多層構造セルで 14~24% の高い変換効率が予想され、単結晶 Si 太陽電池を特性面でも追い越す可能性が出てきている。

3. a-Si 太陽電池の新しい構造

——集積形太陽電池——

3.1 集積形 a-Si 太陽電池

1 個の太陽電池から得られる電圧は 1 V 以下であ

(a) タイプ-I

(b) タイプ-II

(c) 製造プロセス

図7 集積形 a-Si 太陽電池

表2 各種 a-Si 太陽電池の光起電力特性

Cell Structure	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA/cm ²)	F.F.* (%)	η (%)	P_{in}^{**} (mW/cm ²)	Area (cm)
SnO ₂ /p(SiC)·in/Ag	840	17.8	67.6	10.1	100	1.09
SnO ₂ /p(SiC)·i·n(μc-Si)/Al	880	15.01	67.0	8.84	100	0.033
SnO ₂ /p(SiC)·in/Al	890	15.04	65.9	8.82	100	0.04
SnO ₂ /pin/Al	820	11.1	63.1	7.19	80	0.046
ITO/pin/Al	850	11.9	62.5	6.3	100	0.16
ITO/nip/S.S.	875	13.0	62.0	6.91	100	0.04
ITO/SnO ₂ /p(SiC)·in	880	14.06	62.38	7.72	100	1.00
ITO/n(μc-Si)·ip/S.S.	860	13.9	65.5	7.8	100	1.2
SnO ₂ /p(SiC)·in/Me	7220	13.83	66.4	7.36	100	100.0
ITO/SnO ₂ /p(SiC)·in/Me	860	13.5	62.5	7.25	100	100.0
ITO/pin/S.S.	850	12.6	60.1	6.4	100	100.0
pin	836	16.7	66.0	9.2	100	0.05
ITO/n(μc-Si:F:H)·ip	840	9.78	62.1	5.1	100	0.04
ITO/nip/nip /ni(SiGe)p/S.S.	2200	6.74	57	8.5	100	0.09

* Fill Factor ($V_m \cdot I_m$) / ($V_{oc} \cdot I_{sc}$), ただし V_m , I_m はそれぞれ最適動作電圧, 最適動作電流

** 入射光強度

写真1 各種集積形 a-Si 太陽電池モジュール

り、実用の面から従来の単結晶 Si 太陽電池などではリード線で接続して高い電圧を得ている。これに対し、筆者らは、a-Si がガス反応で形成され薄膜であるという特徴を生かして、1枚の基板上に多数のセルをカスケード接続して高い電圧を取り出せるようにした集積形 a-Si 太陽電池を開発した⁴⁾。その構造を図7(a), (b)に示す。1枚の絶縁基板上に形成された各セルは、図7(c)に示すように、金属マスクなどを用いたパターンニングによって受光面電極および裏面電極を通じて隣接するセルとそれぞれ直列に接続されている。集積形太陽電池は以下のような特徴をもっている。

- (1) 1枚の基板から実用的な高い電圧を取り出せる。
- (2) 受光面電極がいくつか分割されているため、その抵抗による電力損失を小さくできるので、大面積にしても効率の低下を少なくでき、セルの大面積化にも適している。
- (3) モジュールの組立工程を簡単化できる。
- (4) 局所的なピンホールの影響が太陽電池全体に

図8 レーザー加工方式による a-Si 膜のパターンニング

図9 レーザー加工方式による集積形 a-Si 太陽電池連続一貫製造プロセス

及ぶのを避けることができ、歩留りが向上する。
写真1に各種集積形 a-Si 太陽電池を示す。

3.2 集積形 a-Si 太陽電池の製造法

集積形 a-Si 太陽電池の製造技術として、a-Si 膜などのパターンニング技術が特性改善、歩留り向上のため重要である。これらのパターンニングは、比較的小面積の場合には、図7(c)に示すような金属マスクを用いる方式や、あるいはウェットエッチ法やドライエッチ法により行われる。このように集積形 a-Si 太陽電池は、ちょうど IC の製造工程と同じようにパターンで形成できることから、量産に適している。一方、新しいパターンニングの方法として、図8に示すレーザー加工方式が筆者らにより検討されている¹⁸⁾。このレーザー加工方式によると、精度良く高密度のパターンニングが可能であり、とくに大面積の場合に有効である。さらに、このレーザー加工方式を用いると、図9に示すように、透明電極の形成から裏面電極のパターンニングまで、集積形 a-Si 太陽電池の連続一貫生産が可能となり、a-Si 太陽電池の工業化の観点から注目される。

4. a-Si 太陽電池の大面積化

電力用への応用をめざして a-Si 太陽電池の大面積化の研究が進んでいる。a-Si はガス反応で形成されること、結晶のようにグレイバウンダリーがないことなどから、単結晶 Si の場合に比べ、セルの大面積化が比較的容易である。しかし通常 a-Si 太陽電池は、大面積になると受光面電極の直列抵抗による電力損失などのため効率の低下が見られる。これに対し集積形太陽電池構造とすることにより、3章で述べたように、大面積にしても効率の低下を少なくできる。この集積形太陽電池を用い、10 cm 角で 7.36%、20 cm 角

(a) ガラスパッケージ形単結晶 Si 太陽電池モジュール

(b) 単一ガラス基板集積形 a-Si 太陽電池モジュール

図10 太陽電池モジュール構造

で6.14%の効率が筆者らにより得られている。

一方、図3(b)(f)に示すステンレス基板を用いた大面積a-Si太陽電池も報告されており、10 cm角で6%を越す効率が得られている。

さらに、モジュール化の点でいえば、従来の単結晶Si太陽電池モジュールは、図10(a)に示すような構造をとるが、集積形a-Si太陽電池では、太陽電池用のガラス基板をそのままモジュールのカバーガラスとして用いることができる。すなわち、図10(b)に示すような単一ガラス基板モジュールとすることが可能であり、モジュール構造を大幅に簡素化し、低コスト化できる。

5. a-Si太陽電池の信頼性

アモルファスは結晶とは異なり熱的に準安定状態にあるため、a-Si太陽電池の開発当初にはその信頼性が懸念されていた。しかし、電卓や時計などの民生用太陽電池としては、適当な裏面樹脂コートを行えば実用上問題ないことが実証された。

一方、強い直射日光を受け、かつ10～20年以上の長時間の性能保証が必要な電力用太陽電池の信頼性についても、最近いくつかのデータが報告されてきている¹⁹⁾。図11に、筆者らによるa-Si太陽電池パネルの屋外の曝露試験結果を示す。初期の1カ月以内に約10%の変換効率の低下が見られるが、以後安定することがわかる。この初期の特性劣化は、高温テストや恒温恒湿テスト等の結果から、温度や湿度の影響ではなく太陽光照射によると考えられる。この光照射効果については最近研究が進み、その成果のひとつとして、

図11 a-Si太陽電池パネル出力特性の経時変化

i層への微小ボロン添加が特性劣化の抑止に効果があるとのデータが出されており¹⁴⁾²⁰⁾、今後改善が期待できる。

6. a-Si太陽電池の応用

6.1 a-Si太陽電池の工業化

太陽電池の実用化を促進するためには、コストの低減が重要なポイントであるが、太陽電池のコストが下がり、本格的な電力用としての需要が生じ、それによりまたコストが下がるといった、いわゆる正帰還が生じるためには、各段階に応じたマーケットの創出が必要である。

このような観点から、太陽電池のマーケットの構築を行うと図12のようになる。

(1) 第1ステップ：民生用を中心としたマーケット

電卓、時計、ゲーム用、ラジオ、充電器など、日本における民生機器の10%に太陽電池が搭載されたとすると、約20～30 MW/年に相当するマーケットが存在する。

(2) 第2ステップ：スタンドアローン電源を中心としたマーケット

街路灯、ハイウェイ道路標識、ポンプシステム、無線中継所、気象観測所など100 Wから数10 kW程度の独立電源で数10 MW/年以上が見込まれる。

(3) 第3ステップ：中規模発電システムとしてのマーケット

100 kWから数100 kWにわたる中規模発電システムで数100 MW/年以上のマーケットが予想される。

図12 太陽電池のマーケットサイズ（全世界）

写真 2 集積形 a-Si 太陽電池内蔵の各種応用機器

写真 3 a-Si 太陽電池を用いた各種パワーステーションとヘッドホンラジオ

(4) 第 4 ステップ：大規模発電システムとしてのマーケット

数 MW 以上の大規模集中発電システムおよび 3~5 kW 程度の個人住宅用発電システムで 1000 MW/年以上のマーケットサイズが見込まれる。

6.2 民生用への応用

前述のように、民生用太陽電池のマーケットは、20~30 MW/年と予測され、1981 年の世界の全太陽電池生産量が約 6 MW/年であることを考えると、きわめて重要なマーケットである。

a-Si 太陽電池の実用化は 1980 年筆者らにより民生用分野で始まったが、現在この分野では単結晶 Si 太陽電池をほぼ駆逐しつつある。これは集積形太陽電池が開発されたこと、感度波長特性が蛍光灯のスペクトル分布ほぼ一致し蛍光灯下ですぐれた特性を示す²¹⁾など、性能的にもコスト的にも勝っているためである。

写真 1 に示した集積形太陽電池を用いた電卓、ウォッチ、ラジオ、テープレコーダー、白黒テレビ、太陽光充電器等の各種応用機器を写真 2 に示す。これらの

写真 4 a-Si 太陽電池を用いた時計塔

写真 5 a-Si 太陽電池を用いた街路灯

写真 6 a-Si 太陽電池を用いた世界最初の実用化モデル住宅 (2 kW, 1981 年)

中で、電卓、ウォッチに続いて太陽光充電器が 1983 年春に商品化が予定されている。

また写真 3 には、筆者らが開発した a-Si 太陽電池内蔵のヘッドホンラジオと a-Si 太陽電池を用いた各種パワーステーションを示す。最も大きいビッグパワーステーションは、20 cm 角集積形 a-Si 太陽電池モ

写真 7 a-Si 太陽電池を用いた 2.5 kW 太陽光発電システム (1982 年, 東京工業大学)

ジュール内蔵で 40 W の出力をもっている。これらのパワーステーションは民生用から電力用へのつなぎ目の役目を果すものとして注目されている。

6.3 電力用への応用

民生用分野での成功にも刺激され、a-Si 太陽電池の電力用への応用も急ピッチの進展を見せている。写真 2 には、45 cm×60 cm の電力用 a-Si 太陽電池パネルが示されている。10 cm 角集積形 a-Si 太陽電池 20 枚からなり、約 11 W の出力が得られる。

写真 4、写真 5 には、a-Si 太陽電池を電源とする時計塔および街路灯を示す。これらは 6.1 節に示した第 2 ステップのスタンドアローンシステムに相当し、電力用太陽電池の実用化はまずこの分野で進められるものと思われる。

写真 6 には、1981 年筆者らによる a-Si 太陽電池を用いた世界で最初の実用化モデル住宅を示す。最大発電能力はおおよそ 2 kW で、現在まで約 2 年のデータの蓄積がなされている。

また写真 7 に、東京工業大学に 1982 年に設置された 2.5 kW 太陽光発電システムに用いられている a-Si 太陽電池パネルを示す。

7. む す び

a-Si 太陽電池は、電卓やウォッチなどの民生用向けにはすでに大量生産の時代に入っており、開発の主眼は電力用にむけられている。変換効率も 10 cm 角

で 7% を越え、実用レベルといわれる 8~10% に迫っている。今後は民生用向けの生産量を確保する中で、効率の改善、信頼性の確認を行い、電力用としての実用化が進められるであろう。

本研究の一部は、サンシャイン計画の一環として行われたもので、関係各位に感謝する。

(昭和 58 年 2 月 3 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) W. E. Spear: Solid State Comm., **17**, p. 1193 (1975)
- 2) D. E. Carlson: Appl. Phys. Lett., **28**, p. 671 (1976)
- 3) H. Okamoto, Y. Nitta, T. Adachi and Y. Hamakawa: Proc. Int. Conf. Solid Films & Surfaces, Tokyo, S 1-6, B-52 (July, 1978)
- 4) Y. Kuwano, et al.: 1st Photovol. Sci. & Eng. Conf. in Japan, p. 55 (1979)
- 5) Y. Kuwano and M. Ohnishi: 9th Inter. Conf. Amorphous and Liquid Semiconductors, Grenoble (1981)
- 6) Y. Kuwano, et al.: 15th IEEE Photovol. Speci. Conf., Florida, pp. 698-703 (May, 1981)
- 7) D. E. Carlson: Amorphous Si Materials Subcontractor's Review Meeting, Golclem, Colorado (1981)
- 8) A. Matsuda, S. Yamasaki, K. Nakagawa, H. Okushi, K. Tanaka, S. Iijima, M. Matsumura and H. Yamamoto: Japan J. Appl. Phys., **19**, 6, p. 305 (June, 1980)
- 9) T. Hamasaki, H. Kurata, M. Hirose and Y. Osaka: Appl. Phys. Lett., p. 475 (Dec., 1980)
- 10) 内田ほか: 応用物理学会 (秋季) 予稿集, p. 438 (1981)
- 11) Y. Tawada, Y. Hamakawa, et al.: Japan J. Appl. Phys., Supplement, **20**, 2, p. 219 (1981)
- 12) A. Catalano, et al.: 16th IEEE Photovol. Spec. Conf., San Diego (Sep., 1982)
- 13) 中村, 佐藤, 行本: 応用物理学会 (春季) 予稿集, p. 519 (1982)
- 14) 大西, 中野, 津田, 酒井, 桑野: 信学技報, **82**, 154, pp. 49-56 (Oct., 1982)
- 15) 津田, 中村, 中嶋, 高浜, 樽井, 西脇, 大西, 桑野: 応用物理学会 (春季) 予稿集, p. 516 (1982)
- 16) 大西, 桑野: サンシャインジャーナル, **3**, 6, pp. 13-19 (Nov., 1982)
- 17) Y. Kuwano, S. Tsuda and M. Ohnishi: Japan J. Appl. Phys., **21**, p. 235 (1982)
- 18) 河田, 中野, 桑野ほか: 応用物理学会 (春季) 予稿集, (Apr., 1983)
- 19) Y. Kuwano, S. Nakano, T. Yokoo, H. Shibuya and K. Tsukamoto: 3rd. Photovol. Sci & Eng. Conf. in Japan, pp. 65-66 (May, 1982)
- 20) 内田: 第 9 回アモルファス物質の物性と応用セミナー, pp. 59-61 (Dec., 1982)
- 21) 桑野ほか: 応用電子物性分科会, p. 3 (1979)