

# RF プラズマ CVD による アモルファスカーボン薄膜の作製

清水秀己\* 伊貝 明<sup>1</sup>

\*技術教育講座

## Formation of Amorphous Carbon Films by RF Plasma CVD

Hideki Shimizu\* and Akira Ikai<sup>1</sup>

\*Department of Technology, Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448-8542 Japan

### 1 はじめに

現在では、化学燃料の代替エネルギーとしてさまざまな方法が研究されている。その一つとして宇宙開発などにも応用が期待されている太陽光発電が存在する。太陽光発電の技術は、ここ数年のうちに目覚ましい進歩を遂げてきている。太陽光発電の技術革新によって、大幅に低コスト化も図られてきた。太陽光発電の特徴としては以下の利点があげられる。

- (1) 可動部がなく静かでクリーン。
- (2) 維持が簡単で、自動化、無人化が容易。
- (3) 量産性に富みスケールメリットが大きい。
- (4) 規模の大小にかかわらず一定効率で発電。
- (5) 拡散光によっても発電する。
- (6) 光発電は放棄エネルギーの有効利用。

しかし、太陽光発電がとてもクリーンであり、上記のような利点をもち注目されているにもかかわらず、一般にそれほど普及していないのは発電コストが高いと言われているからである。さらに、資料によると年間に100万kWの太陽電池を製造したとすると(発電効率10%)これに必要となってくる太陽電池の面積は10km<sup>2</sup>となる。Si 太陽電池に換算すると、10億枚(Siの総重量2万トン)が必要になってくる。現在の生産量が数千トンであるから、太陽電池用Siの量の需要は膨大である。現実として、この数字はかなり厳しい数字である。したがって、近いうちにもSiに代わる大量に使用できるような太陽電池の開発が望まれている<sup>1)</sup>。

さて、現在までの研究により多くの太陽電池材料が開発されている。そこで、我々は多くの利点を持ち合わせている炭素系材料に注目した。単結晶Siの変換効率は約24.4%を実現している。しかしながら、その材料は高価である。アモルファスシリコンは安価であるが、

効率が悪く、劣化に問題を残している。一方、CdTeを基板とした太陽電池は環境に悪影響を与えてしまう。またCuInSe<sub>2</sub>の堆積では、とても高価になってしまう。

そこで、カーボン太陽電池半導体材料として考えた場合、カーボンは自然界に多く存在し、利用しやすく、原子番号も小さく軽元素である。すなわち、究極の半導体材料と考えることができる。現在のところ、6.54%がカーボンを用いた太陽電池の最も優れた効率である。Ion Beam Sputtering (IBS) 法では、2.07%という変換効率も報告されている<sup>2)</sup>。しかし、薄膜の大面積化に有効であるCVD法による太陽電池材料としてのカーボン薄膜の研究報告はない。そこで、高効率アモルファスカーボン薄膜太陽電池の作製を究極の目標として、我々はRFプラズマCVD法を用いてアモルファスカーボン薄膜の作製を試みた。今回は、作製したアモルファスカーボン薄膜の光学定数を偏光解析により精確に求めたことを中心に光学的諸特性について報告する。

### 2 実験方法

#### 2-1 試料作成

Fig. 1にRFプラズマCVD装置の概略を示す。システム構成は、ガス供給系(ガスボンベ、減圧弁、バルブ、パーシライン、ガス流量制御装置)、プラズマ発生系(真空容器、プラズマ電極、高周波電源、整合装置)、真空排気系(真空計、バリアブルリークバルブ、ロータリーポンプ)から成り立っている。プラズマを発生させるために、透明石英管上に帯状の銅リングを巻いたものを図のように配置した。高周波電力とは容量性結合になっている。図中には電気炉が示されているが、これは基板温度に関する研究を今後行うために設けてあり、今回は室温での試料作製である。

正方形のSi基板(20mm×20mm)を、超音波洗浄器を使用しアセトンで15分間洗浄し、その後同様に純水で15分間洗浄を行った。その後、HF溶液(12%)に2分

1 愛知教育大学学生(Student, Aichi University of Education)

現在、稲沢市立治郎丸中学校(Junior High School)

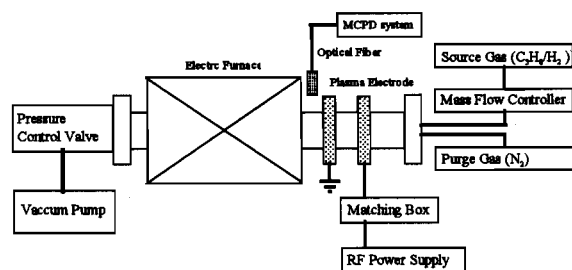


Fig. 1 Schematic diagram of RF-CVD system.

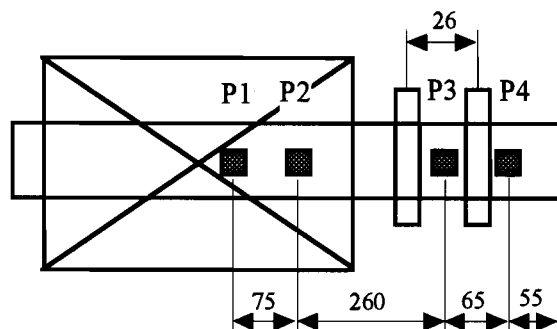


Fig. 2 Substrate position in the quartz pipe.

間浸して基板表面の自然酸化膜をエッチングさせた。洗浄終了次第、石英管内の所定の位置に設置した。Si基板は、あらかじめ基板と同様に超音波洗浄器によって洗浄しておいたスライドガラス (38mm×26mm) の上に配置する。Fig. 2 に石英管内に配置した基板の位置の詳細を示す。

ロータリーポンプにより、石英管内を1 mTorrまで排気し、水素希釈5%のプロパンガスをカーボン源として1 sccm~2 sccm マスフローコントローラを通して導入した。石英管内の圧力をバリアブルリークバルブにより所定の圧力に調整した後、高周波電力を投入しプラズマを発生させた。投入電力は高周波電源とプラズマ電極との間に挿入された整合装置により調整した。今回の投入電力は100Wとした。

プラズマ発生時間は66分間で、プラズマ発生中はレンズを備えたオプティカルファイバをプラズマ発光上部に設置し、発光分光分析装置(大塚電子株式会社製, MCPD-110)により、プラズマ発光をモニターした。

## 2-2 偏光解析

試料に光を照射したとき、反射した際の光の偏光状態の変化を測定し、試料の光学定数や膜厚を求める方法を偏光解析法と呼ぶ。その偏光状態の変化を測定する装置がエリプソメータであり、自動エリプソメータ(日本分光社製, MEL-30)を使用した。偏光解析ならびにエリプソメータに関する詳細は過去の報告に示してある<sup>3,4)</sup>。

光源として、波長分光測定のためのキセノンランプとHe-Neレーザが装備されている。光源には波長632.8nmのHe-Neレーザを用い、照射ビーム径1mm、

入射角を45°に設定した。試料を測定する際は、3mm×3mmの範囲で9ポイントのマッピング測定を行った。

偏光解析のための試料は、光学定数の詳細が明確になっている基板材料上に作製することが一般的である。特に今回の試料のように、全く光学定数が推定できない試料に対しては、偏光解析の未知数をできるだけ減らすために、既知の光学定数をもったシリコン基板を用いた。

## 2-3 光吸収特性

発光分光分析装置(大塚電子株式会社製, MCPD-110)とスライドプロジェクタ用のタングステンランプを光源として用いてアモルファスカーボン薄膜の光吸収特性を測定した。試料が堆積していないスライドガラスにタングステン光を照射し、その透過光をオプティカルファイバに通して発光分光分析装置に取込む。次に、アモルファスカーボン薄膜を堆積したスライドガラスに同様にタングステン光を照射し、その透過光を発光分光分析装置に取込み、その2つの透過光の強度比から以下の式を用いて、光吸収係数を算出した。

一般的に、入射光強度 $I_1$ の光が吸収係数 $\alpha$ の媒質中を距離 $x$ 移動したときの光強度 $I_T$ は以下の式で与えられる<sup>5)</sup>。

$$I_T = I_1 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

この式を用いるとスライドガラスの透過光強度は

$$I_g = I_1 e^{-\alpha_g x_g} \quad (2)$$

アモルファスカーボン薄膜を堆積したスライドガラスの透過光強度は

$$I_T = I_1 e^{-(\alpha_g x_g + \alpha_c x_c)} \quad (3)$$

(2)式と(3)式より、

$$\ln I_T - \ln I_g = -\alpha_c x_c \quad (4)$$

これより、アモルファスカーボン薄膜の吸収係数を求めることができる。ここで、 $I_g$ はスライドガラスを透過した光の強度、 $I_1$ は測定物表面に入射する光の強度、 $I_T$ はアモルファスカーボンを堆積したスライドガラスを透過した光の強度をそれぞれ示す。また $\alpha_g$ 、 $\alpha_c$ はスライドガラスとアモルファスカーボンの吸収係数、 $x_g$ 、 $x_c$ はスライドガラスとアモルファスカーボンの厚さをそれぞれ表す。尚、試料の膜厚は、偏光解析より求めた値を用いた。

## 3 実験結果および検討

### 3-1 $\Delta$ - $\Psi$ 測定結果

Fig. 3 に100mTorrから1000mTorrの石英管内圧力で作製された試料をエリプソメータによって測定された $\Delta$ - $\Psi$ 分布図を示す。尚、データが広範囲に分布するのは、異なった基板の位置(Fig. 2) P1からP4のデータを全て分布図に示したためである。

### 3-2 Δ-Ψ シミュレーション

エリプソメータによって測定された Δ-Ψ 分布図をもとに Δ-Ψ シミュレーションを行い、アモルファスカーボン薄膜の光学定数と膜厚を決定した。シミュレーションを行う前提条件として、各石英管内圧力で作製された試料は各々固有の光学定数を持ち、必ずしも同じ値をもつ必要はないと仮定した。この仮定は、プラズマを利用して作製された薄膜の諸特性が作製時圧力に著しい依存性を示したという過去の経験より妥当であると考えられる。しかし、同じ石英管内圧力であれば、基板の設置場所に依らず、光学定数は全て同じで、膜厚だけが異なると仮定した。よって、Δ-Ψ 分布図におけるデータの広範囲な分布は、膜厚の分布と考えることができ、各石英管内圧力に対してシミュレーションを実行した。

光学定数としては全く未知の試料であるためどこからシミュレーションを行うかをよく吟味する必要がある。そこで、先ず過去のアモルファスカーボンの光学定数の報告を調べた結果、製作条件、測定条件等によって光学定数が広範囲に異なり、文献だけによる絞り込みは不可能に思われた。しかし、試料がアモルファスであること、カーボンで構成されていること、水素化されている可能性があることなどを考慮すると、高密度でないことが想像され、ポリエチレン等の高分子フィルム程度の屈折率を持つものと考えた。

そこで、先ず屈折率  $n$  を固定し ( $n=1.5$ )、消衰係数  $k$  の変化による Δ-Ψ の変化をシミュレーションした結果を Fig. 4-1 に示す。図中に Fig. 3 で示された測定値を全て挿入した。Δ-Ψ 測定値がおおよそ Δ は 130、Ψ は 30 以上の数値を示していることと比較すると、屈折率  $n$  を 1.5 とすると、消衰係数  $k$  は  $0 \leq k \leq 0.205$  の範囲に存在することになる。

次に屈折率  $n$  を 1.7 に固定し、消衰係数  $k$  の変化による Δ-Ψ の変化をシミュレーションした結果を Fig. 4-2 に示す。これより屈折率  $n$  を 1.7 とすると、消衰係数  $k$  は  $0 \leq k \leq 0.1.05$  の範囲に存在することになる。これらの結果より屈折率  $n$  が若干増加すると、消衰係数  $k$  が減少する傾向がみられた。

次に、消衰係数  $k$  を固定し ( $k=0.005$ )、屈折率  $n$  の変化による Δ-Ψ の変化をシミュレーションした結果を Fig. 4-3 に示す。図中 Δ-Ψ 測定値の範囲を考慮すると、消衰係数  $k=0.005$  に対して、屈折率  $n$  は  $1.5 \leq n \leq 2.0$  の範囲に存在することになる。

これらの大雑把なシミュレーションの結果において、かなり絞り込みが可能になったことより、各データのベストフィティングを行った。Fig. 4 より、基板の Δ-Ψ 値 (基板の光学定数) でもある膜厚が 0 近傍 (原点近傍) は、シミュレーション結果である理論曲線が密集しており、この付近の測定値は結果的に誤差をかなり含むことになる。換言すれば、エリプソメータ

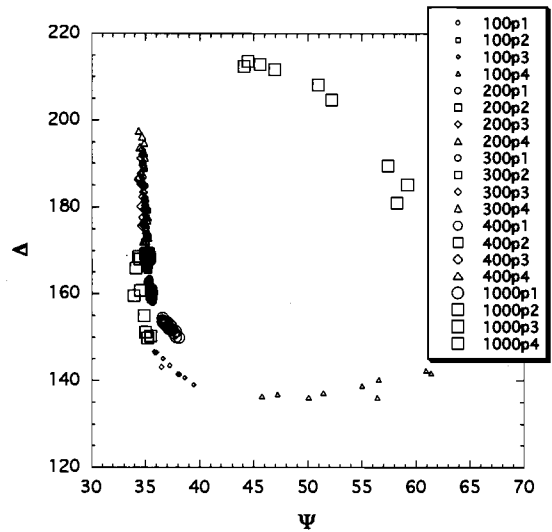


Fig. 3 Δ-Ψ mapping of measured value for the whole samples in this work.

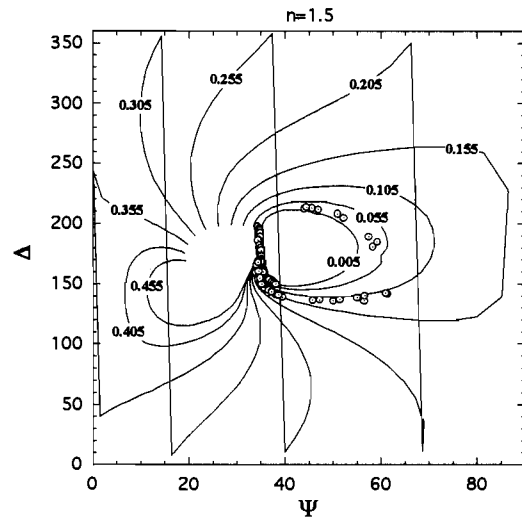


Fig. 4-1 Δ-Ψ chart of the carbon film on the Silicon substrate with changing the thickness and the extinction coefficient  $k$  (0.005-0.455), and keeping the refractive index  $n$  constant ( $n=1.5$ ). Circular markers in the figure show the measured value of the whole sample

の測定感度が悪い領域になる。よって、ベストフィティングする場合、この付近から充分外れた領域の測定値を用いて、ベストフィティングを行う必要がある。以上のことを充分考慮して石英管内圧力が 100mTorr から 1000mTorr で作製された膜の Δ-Ψ 測定値を用いてベストフィティングを実行した結果を Fig. 5 から Fig. 9 に示す。これらの図より P1 および P2 における試料の測定値はほとんどが原点付近に分布しており、如何なる光学定数であっても膜厚が薄いことが明らかである。さらにこれを裏付けるように、これらの試料を肉眼で観察した場合、シリコン基板上にあるときは、干渉色が見えないぐらいで、またスライドガラス上にあるときは、ほとんど透明であり、膜厚分布に

よって膜の存在が確認できる程度の薄い膜であった。一方、P 3 および P 4 における試料はシリコン基板上にあるときは、干渉色が見え、スライドガラス上にあるときは、ほとんど淡い茶色を示して膜の存在が確認でき、ある程度の膜厚があることを意味している。よって、フィティングを解釈する場合、P 1 および P 2 における試料の測定値は薄く、P 3 および P 4 における試料の測定値はたとえ原点付近に存在しても相当の厚さがあると解釈すべきである。

石英管内圧力 100mTorr で作製された試料における測定値のベストフィティングの様子を Fig. 5 に示す。消衰係数  $k=0.005$  として (a) は理論曲線の全体を示した図で、(b) は試料の測定値付近を拡大した図である。先に述べたように P 1 および P 2 における試料の測定値は屈折率  $n=1.5$ ,  $n=1.7$  の両方の理論曲線にフィットし、これだけではどちらも判定できない。一方、P 3, および P 4 における試料の測定値は明らかに  $n=1.69$ ,  $n=1.70$  にフィットしており、理論曲線の感度を考慮すればこの膜の屈折率は  $n=1.69$  であると決定することができる。

石英管内圧力 200mTorr で作製された試料における測定値のベストフィティングの様子を Fig. 6 に示す。消衰係数  $k=0.005$  として (a) は理論曲線の全体を示した図で、(b) は測定値付近を拡大した図である。この場合全ての測定値が原点付近に分布しており決定がきわめて困難であるが、P 3 および P 4 における試料の測定値が、 $n=1.70$  にフィットしているため、この膜の屈折率は  $n=1.70$  であると、敢えて決定した。

石英管内圧力 300mTorr で作製された試料における測定値のベストフィティングの様子を Fig. 7 に示す。消衰係数  $k=0.005$  として (a) は理論曲線の全体を示した図で、(b) は測定値付近を拡大した図である。200mTorr で作製された試料と同様、全ての測定値が原点付近に分布しており決定が困難であるが、P 3 および P 4 における試料の測定値が原点に分布し、P 1 および P 2 における試料の測定値が  $n=1.50$  にフィットしているため、この膜の屈折率は  $n=1.50$  であると敢えて決定した。

石英管内圧力 400mTorr で作製された試料における測定値のベストフィティングの様子を Fig. 8 に示す。消衰係数  $k=0.005$  として (a) は理論曲線の全体を示した図で、(b) は測定点付近を拡大した図である。300mTorr で作製された試料と同様、全ての測定値が原点付近に分布しているが、P 1, P 2 および P 3 における試料の測定値が  $n=1.50$  にフィットしているため、この膜の屈折率は  $n=1.50$  であると決定した。

石英管内圧力 1000mTorr で作製された試料における測定値のベストフィティングの様子を Fig. 9 に示す。消衰係数  $k=0.005$  として (a) は理論曲線の全体を示した図で、(b), (c) は測定値付近を拡大した図

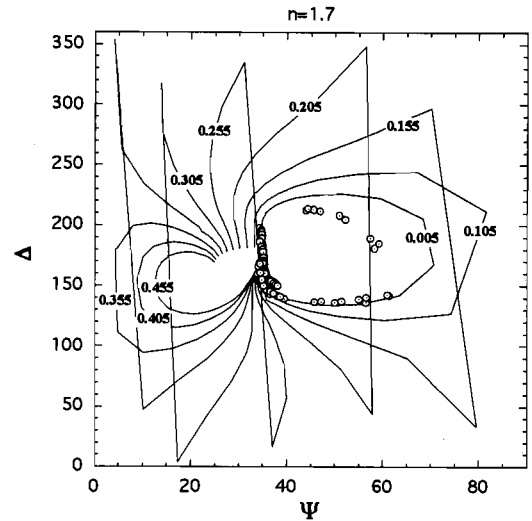


Fig. 4-2  $\Delta-\Psi$  chart of the carbon film on the Silicon substrate with changing the thickness and the extinction coefficient  $k$  (0.005-0.455), and keeping the refractive index  $n$  constant ( $n=1.7$ ). Circular markers in the figure show the measured value of the whole sample.

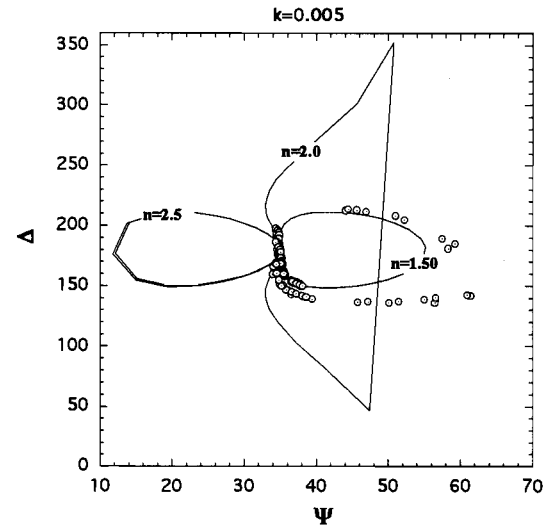


Fig. 4-3  $\Delta-\Psi$  chart of the carbon film on the Silicon substrate with changing the thickness and the refractive index  $n$  (1.50-2.5), and keeping the extinction coefficient  $k$  constant ( $k=0.005$ ). Circular markers in the figure show the measured value of the whole sample.

である。100mTorr で作製された試料と同様、測定値が広く分布しているため、高精度が期待できる。特に図 (c) において明らかなように、P 4 における試料の測定値がかなりの範囲で  $n=1.54$  と  $n=1.55$  の理論曲線にフィットしているため、この膜の屈折率は  $n=1.54$  であると決定した。

以上の偏光解析による理論曲線と測定値のベストフィティングより導出した結果を Table 1 に示す。表中の精度より、100mTorr と 1000mTorr でのフィティングの精度が高く、これらの中間の石英管内圧力

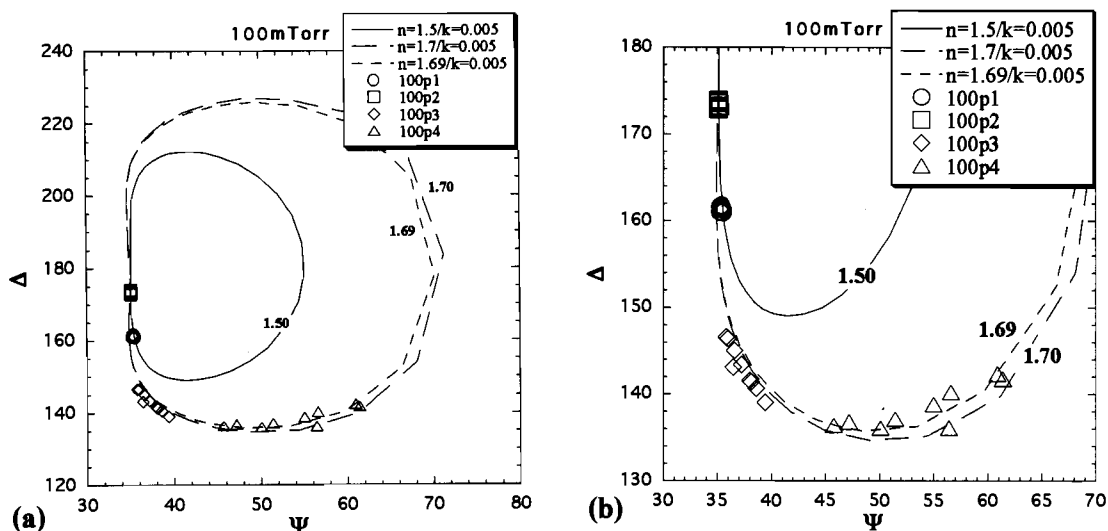


Fig. 5  $\Delta$ - $\Psi$  chart of the film deposited at 100 mTorr, with changing the thickness and the refractive index  $n$  (1.50-1.7), and keeping the extinction coefficient  $k$  constant ( $k = 0.005$ ). (b) is the expanded figure around the measured value in the figure (a).

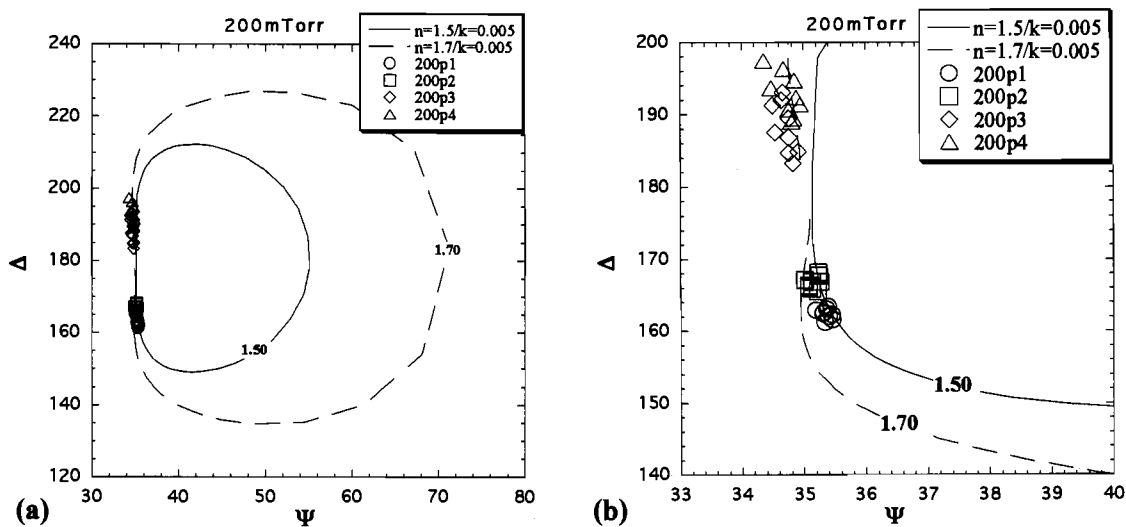


Fig. 6  $\Delta$ - $\Psi$  chart of the film deposited at 200 mTorr, with changing the thickness and the refractive index  $n$  (1.50-1.7), and keeping the extinction coefficient  $k$  constant ( $k = 0.005$ ). (b) is the expanded figure around the measured value in the figure (a).

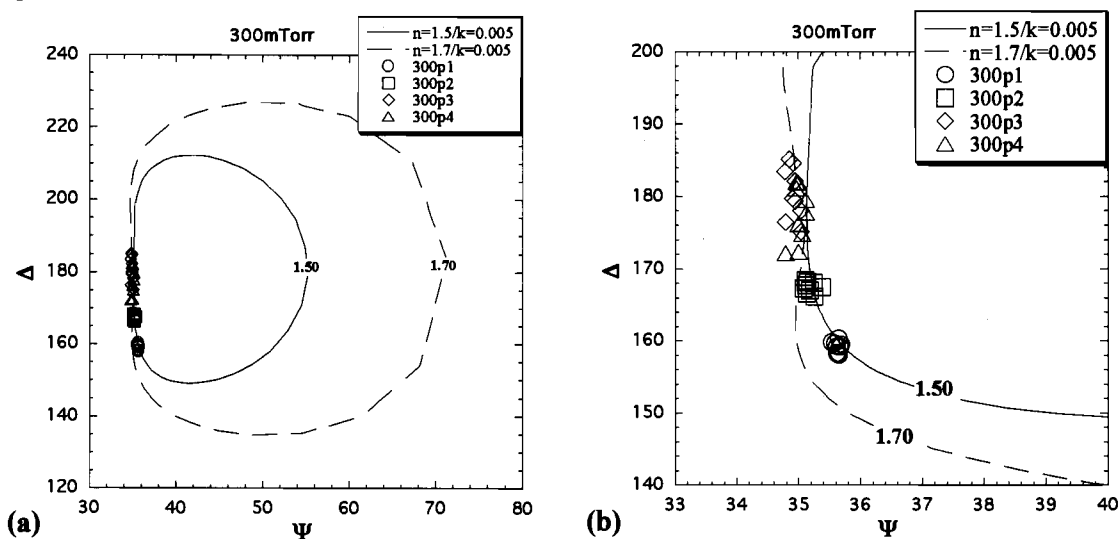


Fig. 7  $\Delta$ - $\Psi$  chart of the film deposited at 300 mTorr, with changing the thickness and the refractive index  $n$  (1.50-1.7), and keeping the extinction coefficient  $k$  constant ( $k = 0.005$ ). (b) is the expanded figure around the measured value in the figure (a).

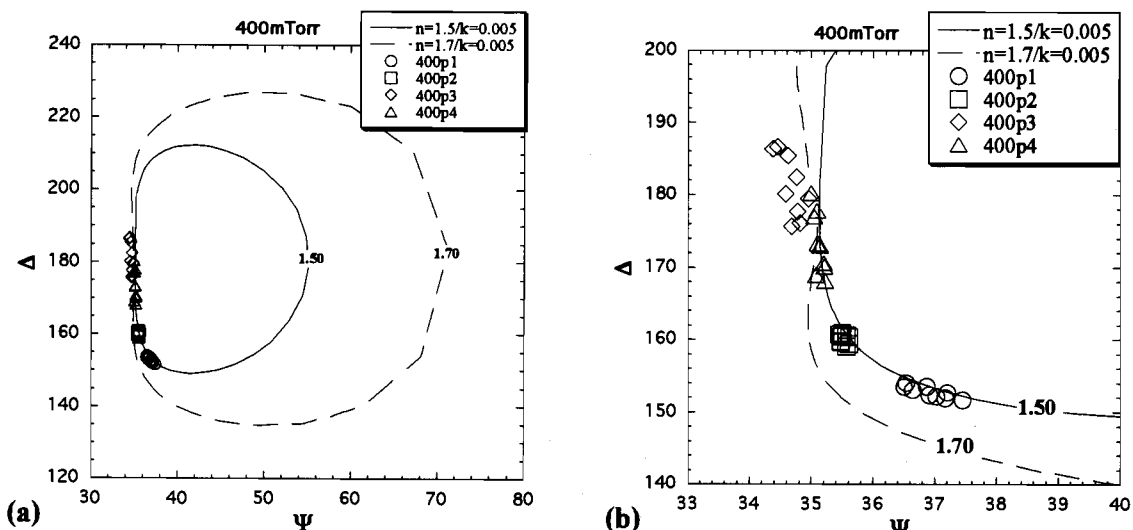


Fig. 8  $\Delta$ - $\Psi$  chart of the film deposited at 400 mTorr, with changing the thickness and the refractive index  $n$  (1.50-1.7), and keeping the extinction coefficient  $k$  constant ( $k = 0.005$ ). (b) is the expanded figure around the measured value in the figure (a).

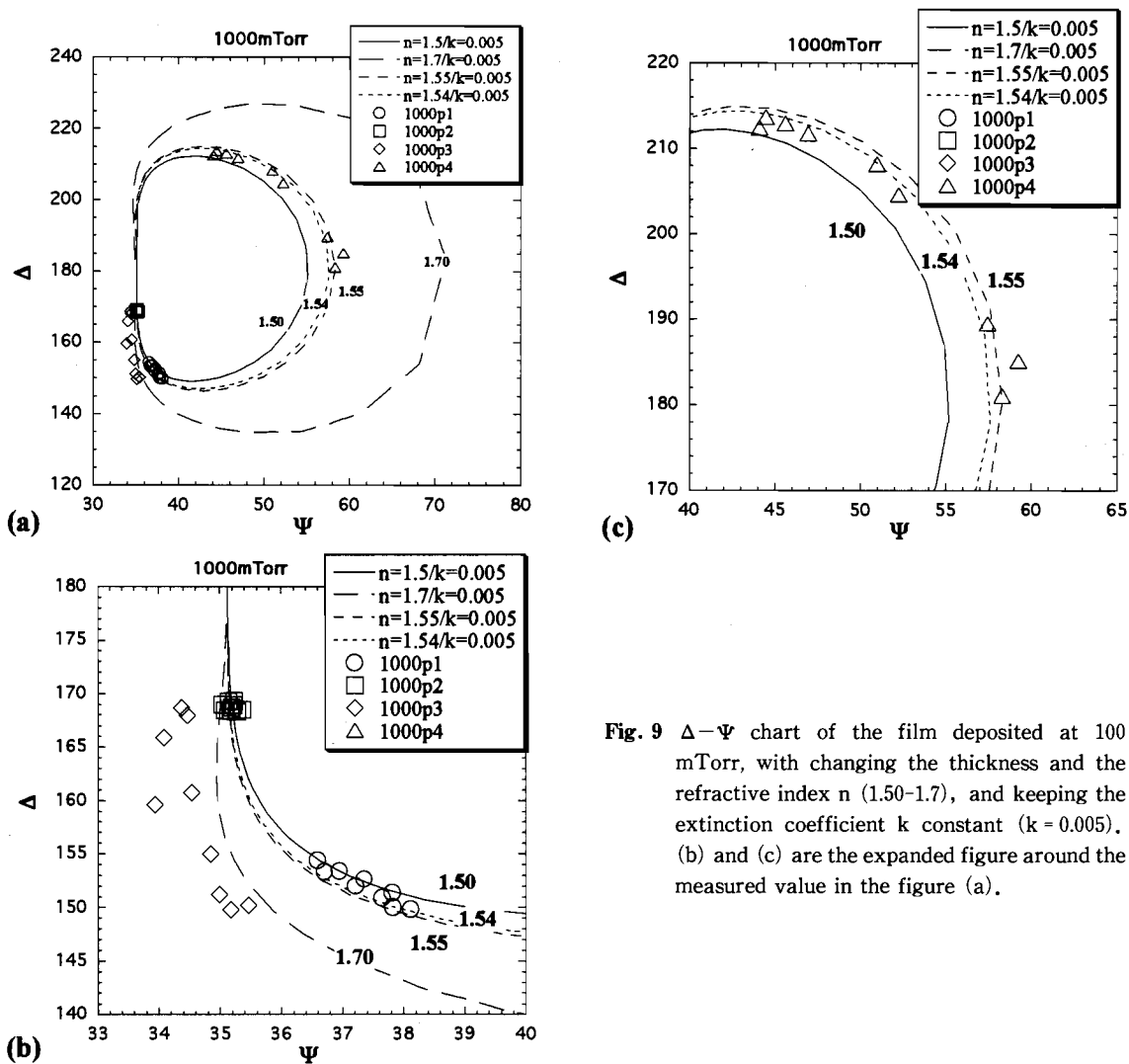
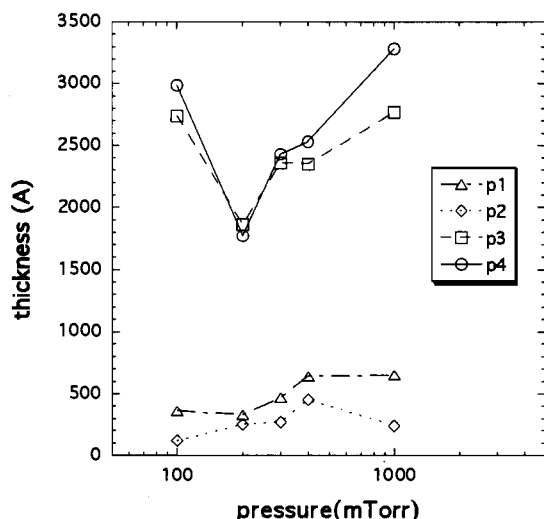


Fig. 9  $\Delta$ - $\Psi$  chart of the film deposited at 1000 mTorr, with changing the thickness and the refractive index  $n$  (1.50-1.7), and keeping the extinction coefficient  $k$  constant ( $k = 0.005$ ). (b) and (c) are the expanded figure around the measured value in the figure (a).

**Table 1** Optical constants of the film deposited in this work.

pressure (mTorr)	n	k	accuracy
100	1.69	0.005	◎
200	1.70	0.005	△
300	1.50	0.005	△
400	1.50	0.005	○
1000	1.54	0.005	◎

**Fig. 10** The Film thickness evaluated by the ellipsometry as a function of the pressure.

では精度が落ちる。しかし、光学定数が 100mTorr と 1000mTorr での試料の範囲内にあり、ほぼ満足できる結果と考えることができる。さらに精度をあげるためには、同一石英管内圧力で、試料の作製時間を広範囲にとり、各種の膜厚をもつ試料を作製し、理論曲線を一周するほどの測定値を準備する必要がある。

各試料に対する光学定数ならびに、 $\Delta-\Psi$  理論曲線も決定されたことにより、各試料の測定値における膜厚を理論曲線上より読取れる。ここでは、各試料の 9 ポイントの平均値を石英管内圧力に対してプロットしたものを Fig. 10 に示す。

### 3-3 光吸収特性

試料の膜厚に関して、基板の設置位置によって著しく膜厚が異なることが Fig. 10 より示される。特に、プラズマ電極から遠く離れた位置 P 1, P 2 における試料の膜厚は、P 3, P 4 位置の試料の膜厚の 5 分の 1 程度と薄い。よって、算出した吸収係数に相当の誤差が含まれていることが予想される。よって吸収係数に関しては、P 3, P 4 における試料について検討する。

一般的に光吸収係数の高い領域 ( $10^3 \sim 10^5 \text{cm}^{-1}$ ) においては  $(\alpha h\nu)^{1/2} = B(h\nu - E_g)$  を満足する<sup>6,7)</sup>。よって光学エネルギーギャップを求めるために波長に対する光吸収係数の関係を光のエネルギー  $h\nu$  と

$(\alpha h\nu)^{1/2}$  の関係で表現したものを Fig. 11 (a), (b) に示す。(a) は P 3 における試料に対する結果を、(b) は P 4 における試料に対する結果をそれぞれ示す。両者とも光エネルギーの増加とともに 1.5eV から 3.5eV の可視光領域で単調に増加していることが示されている。尚、基板にスライドガラスを用いているため、可視光領域以外での測定データは不確かさを多く含んでいるため今回の検討から除いた。P 3 における試料の光エネルギーに対する吸収係数の変化は、石英管内圧力による差異はあまり見られない。一方、P 4 における試料の光エネルギーに対する吸収係数の変化は、石英管内圧力による差異が見られる。しかし、以下に示すような定量的な評価をすると P 3 と P 4 における試料の光学的な特性は、石英管内圧力に対して同様な傾向を示すことが明らかになった。

Fig. 11 の各試料の測定値の回帰直線を求め、その直線を延長し  $\alpha = 0$  すなわち図の横軸との交点より求めた光学エネルギーギャップ (a) と光学エネルギーギャップ中の局在状態密度と extended state の状態密度に関する直線の傾きである B 値 (b) を石英管内圧力に対してプロットしたものを Fig. 12 に示す。光学エネルギーギャップに関しては、1000mTorr, P 4 における試料の値 0.4eV を除けば、1.0eV から 1.7eV の範囲にあり、200mTorr から 300mTorr で最大を示す。また、B 値に関しては、やはり 1000mTorr, P 4 における試料の値  $20\text{eV}^{-1/2}\text{cm}^{-1/2}$  を除けば、 $50\text{eV}^{-1/2}\text{cm}^{-1/2}$  から  $170\text{eV}^{-1/2}\text{cm}^{-1/2}$  の範囲にあり、やはり 200mTorr から 300mTorr で最大を示す。しかし、アモルファス太陽電池として実用化されている a-Si:H 薄膜は、この B 値が  $900\text{eV}^{-1/2}\text{cm}^{-1/2}$  程度あると言われており、今回作製したカーボン薄膜は 5 分の 1 から 10 分の 1 程度の値であり、アモルファス太陽電池材料としてはまだまだの領域である。

## 4 まとめ

高効率アモルファスカーボン薄膜太陽電池の作製を究極の目標として、我々は RF プラズマ CVD 法を用いてアモルファスカーボン薄膜の作製を試みた。今回は、作製したアモルファスカーボン薄膜の光学定数を偏光解析により精確に求め、かつ太陽電池の性能に重要である光学的特性の一つである光吸収特性を求め、検討した結果、以下の知見を得た。

水素希釈 5% のプロパンガスをカーボン源として 1sccm  $\sim$  2sccm の流量で、石英管内圧力を 100mTorr から 1000mTorr に保った状態で、高周波電力 100W の投入電力でプロパンガスをプラズマ分解し、温度が室温であるガラス基板とシリコン基板上に約 1 時間堆積したカーボン薄膜の光学定数を偏光解析により求めた結果、

- (1) 今回の条件で作製したカーボン膜の光学定数

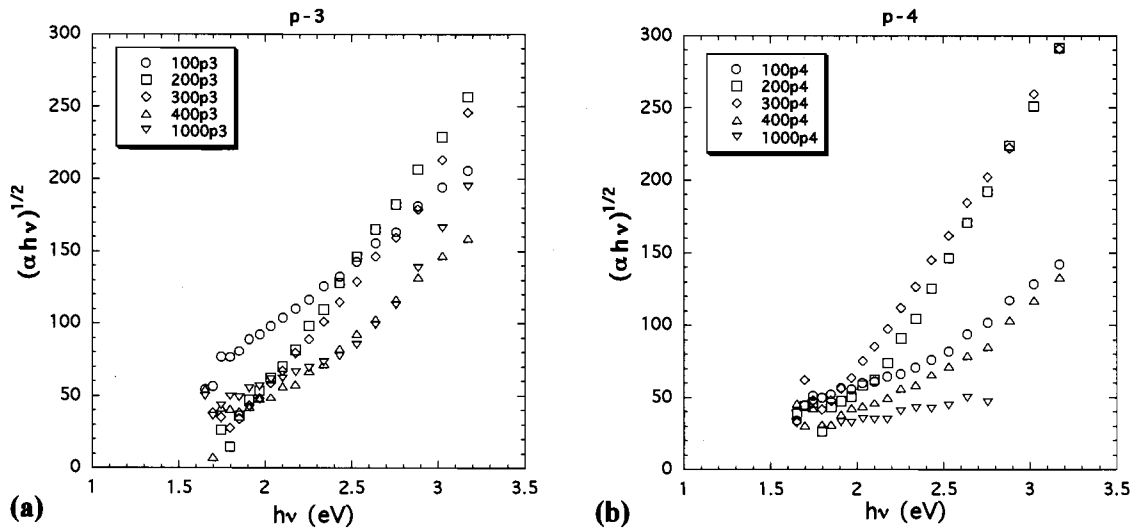


Fig. 11 Optical absorption characteristics of the films at different pressure. (a) and (b) shows optical absorption characteristics of the film deposited at the substrate position of P3 and P4 respectively.

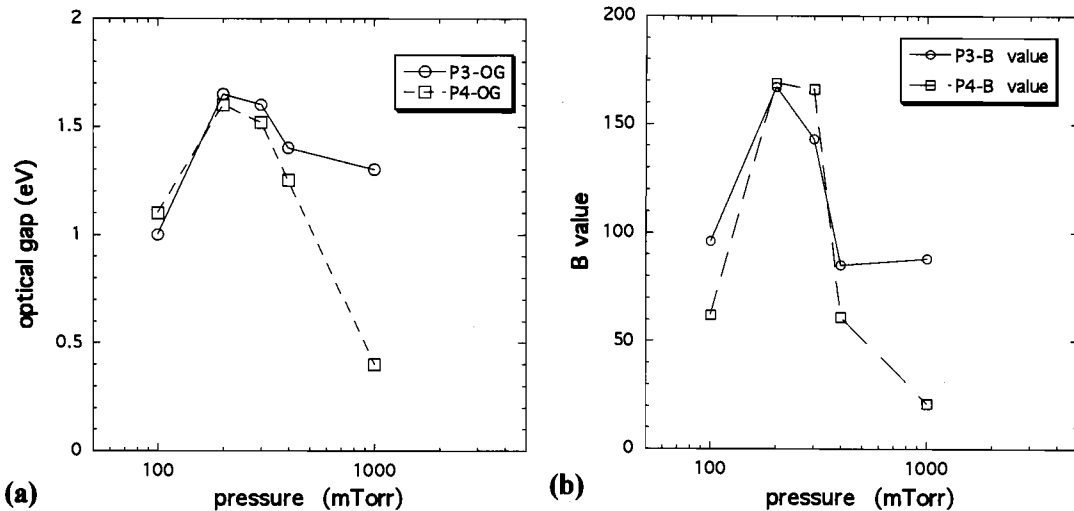


Fig. 12 Optical band gap (a) and B value (b) of the films derived from figure 11 as a function of the pressure.

は、屈折率  $n$  は 1.50 から 1.70 の範囲にあり、精度の高い値としては、石英管内圧力 100mTorr で作製されたカーボン膜は、 $n = 1.69$ 、石英管内圧力 1000mTorr で作製されたカーボン膜は、 $n = 1.54$  の値を示した。これらの膜の消衰係数  $k$  は、0.005 であった。

- (2) 偏光解析より求めたカーボン薄膜の膜厚は、プラズマ電極からの距離に著しく依存した。このことより、均一化ならびに大面積化を考えると、基板の設置場所ならびにガスフローに対する基板の向き等を充分考慮する必要がある。
- (3) 光吸収特性より、可視光領域において光エネルギーに対して単調に光吸収係数が増加する。また、光学的エネルギーギャップは 1.0eV から 1.7eV の範囲にあり、石英管内圧力 200mTorr から 300mTorr の付近で最大値を示す。光学的エネルギーギャップとしては、太陽電池用材料として適当な値である。しかし、光学的エネルギーギャップ

中の局在状態密度と extended state の状態密度に関する直線の傾きである B 値は、最大値でも  $170\text{eV}^{-1/2}\text{cm}^{-1/2}$  程度で実用されているアモルファスシリコン太陽電池薄膜の 5 分の 1 程度である。

以上のような結果を得たが、高周波数プラズマ CVD によるカーボン薄膜の作製は、今回途に就いたばかりであり、太陽電池用カーボン薄膜としてはまだまだの域であるが、今回偏光解析により、かなり高精度でカーボン薄膜の光学定数が決定できたことは、カーボン薄膜が作製条件に対する依存性が著しく強いことならびに多様な構造を持つことを考慮すると今後の研究に大いに役立つと考える。

参 考 文 献

- 1) 浜川圭弘：「太陽光発電とその意義」, 電気学会誌, 115巻, 4号, pp. 214-219, (1995)
- 2) 神保孝志：「太陽電池用カーボン薄膜の研究」, 名古屋工業



- 大学極微構造デバイスセンター報告, pp. 93-108, (2000)
- 3) 清水秀己, 村瀬圭二: 「HF 洗浄後の Si 基板表面の偏光解析」, 愛知教育大学研究報告, 第45輯, pp. 31-37, (1996)
  - 4) 清水秀己: 「偏光解析によるシリコン基板表面粗さの評価」, 愛知教育大学研究報告, 第41輯, pp. 45-52, (2002)
  - 5) 針生尚: 光エレクトロニクス, 培風館 (1190)
  - 6) 清水秀己, 野田三喜男: 「高周波マグネトロンスパッタリングにより作成した a-Si:H 薄膜の微細構造と電気的・光学的特性」, 愛知教育大学研究報告, 第36輯, pp. 107-113, (1987)
  - 7) 清水秀己, 野田三喜男: 「高周波スパッタリングにより作成した a-Si:H 薄膜の微細構造と電気的・光学的特性」, 愛知教育大学研究報告, 第37輯, pp. 113-118, (1988)
- (平成14年 9 月11日受理)