

# ワイドギャップシリコン添加アモルファスカーボン半導体を用いた太陽電池の創製及び出力特性と化学結合状態の相関の解明

## Fabrication of High Efficiency Wide Bandgap Silicon-added Amorphous Carbon Based Solar Cells and Investigation of Output Characteristic of Solar Cell Correlates Chemical Bonding Condition

山口大理<sup>1</sup>, 山口大院創成科学<sup>2</sup> ○(B)清水 優太<sup>1</sup>, 檜木野 宏<sup>2</sup>, 本多 謙介<sup>2</sup>  
 Fac. Sci., Yamaguchi Univ.<sup>1</sup>, Grad. Sch. Sci. Tech. Innov., Yamaguchi Univ.<sup>2</sup>,  
 ○Yuta Shimizu<sup>1</sup>, Hiroshi Naragino<sup>2</sup>, and Kensuke Honda<sup>2\*</sup>  
 \*E-mail: khonda@yamaguchi-u.ac.jp

### 1. 研究背景

太陽光発電は温室効果ガスである CO<sub>2</sub> の排出量を削減可能な発電法として期待されている。CO<sub>2</sub> 排出量の削減の為に太陽電池の大規模な普及が必要である。そのためには、変換効率 40 % 以上の高効率かつ製造コストの低い太陽電池が求められている。しかし、現在主流である Si 結晶系太陽電池の理論限界効率は 29 % であり<sup>1)</sup>、単セルで変換効率 40% 以上の高効率な太陽電池の作製は困難である。そのため、太陽電池の高効率化の手法としてタンデム化があげられる。タンデム化は光学ギャップが異なるセルを積層させ、広い波長の光を吸収することで変換効率を高める手法である。このタンデム型太陽電池に利用できる材料として、本研究では、プラズマ化学気相成長法 (PECVD) によって作製される Si 添加 a-C 膜に着目した。Si 添加 a-C 膜はアモルファス Si-C ネットワーク、Si クラスタ、sp<sup>2</sup> 炭素クラスタの混在する材料である。<sup>2)</sup> この材料は成膜時に添加する Si 量を制御し薄膜内の化学結合状態を変化させることで、1.25 ~ 2.76 eV の範囲で光学ギャップを制御可能である。従って Si 添加 a-C 膜を用いて作製した光学ギャップの異なるセルを多数積層させるこ

とで、高効率な太陽電池の創製が期待できる。本研究では Si 添加 a-C 膜の化学結合状態を最適化し高効率な n 型 Si 添加 a-C/p 型 c-Si 太陽電池の作製を目的として Si 添加 a-C 膜の化学結合状態と太陽電池の出力特性の相関を調査した。

### 2. 実験方法

n 型 Si 添加 a-C 膜と p 型 Si 基板から成るヘテロ接合太陽電池はテトラメチルシラン (TMS) とヘキサメチルジシラザン (HMDS) を原料として PECVD により作製した。p 型 Si 基板は成膜前に RCA 洗浄を行い基板表面の有機不純物及び、金属不純物を除去した後に成膜を行った。

成膜した Si 添加 a-C 膜の構造は Raman 散乱分光測定を使用して評価した。作製した n 型 Si 添加 a-C/p-c-Si ヘテロ接合太陽電池の出力特性は AM 1.5 の太陽光照射下での電流電圧測定により評価した。

### 3. 結果と考察

Fig. 1 に出力 75 W で作製した n 型 Si 添加 a-C/p 型 c-Si ヘテロ接合太陽電池の測定結果を示した。開放電圧は 0.083 V、短絡電流は  $-2.7 \times 10^{-8}$  A 変換効率は  $2.23 \times 10^{-6}$  % であり、作製した n 型 Si 添加 a-C/p 型 c-Si ヘテロ接合太陽電池が電池として機能していることが確認できた。Table 1 に 25 W, 75 W, 150 W で作製した n 型 Si 添加 a-C/p 型 c-Si ヘテロ接合太陽電池の出力特性を示した。Table 1 より太陽電池の変換効率は出力 75 W で最大となった。Table 2 に出力を 25 W, 75 W, 150 W で作製した n 型 Si 添加 a-C のホール効果測定結果を示す。ホール効果測定の結果、成膜時の出力の上昇に伴いキャリア密度が上昇、移動度が低下する傾向が得られた。

EDX 測定を用いた組成分析を行った結果、各出力で作製した Si 添加 a-C 膜に含まれる C と Si の原子数比 (atomic %) は C 38 % Si 53% と全ての a-C でほぼ同一の化学組成であった。セル性能・半導体特性の違いを明らかにするため、Raman 散乱分光測定により化学結合状態を調べた。Table 2 に G-peak, D-peak, Si-C peak の強度と sp<sup>2</sup> クラスタサイズをまた、G-peak と D-peak の強度比 I<sub>G</sub>/I<sub>D</sub> を Table 1 に示した。出力の上昇に伴い Gpeak, Dpeak, Si-C の強度が上昇していくことがわかる。この結果は、Si 添加 a-C 中のサイズは減少するが、Si 添加 a-C 中の sp<sup>2</sup> クラスタの量は増加し、SiC ネットワークは拡大するように構造変化することを示唆している。Si-C ネットワークの拡大は n 型キャリアの増加を促進する。したがって、出力増加によりキャリア密度が増加するものと推測される。一方で、sp<sup>2</sup> クラスタは移動度を下げる要因となる。そのため、成膜出力の増加により移動度の低下をまねいたものと推測される。75 W で作製した n 型 Si 添加 a-C/p 型 c-Si ヘテロ接合太陽電池の性能が性能最高値となったのは、移動度低下を起こす sp<sup>2</sup> クラスタを抑制しつつ、SiC ネットワークを拡大しキャリア密度を高めたことによるものと推測されたからである。

今後は、sp<sup>2</sup> クラスタ量を低限し、アモルファスネットワークを増大させることにより、移動度とキャリア密度が共に高い Si 添加 a-C 膜を創製し、より高性能の n 型 Si 添加 a-C/p 型 c-Si ヘテロ接合太陽電池の具現化を図る。

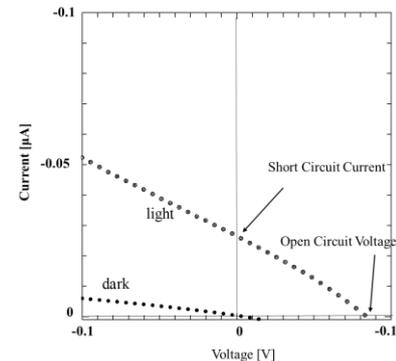


Fig. 1 IV characteristics of n-type Si-added a-C/p-type c-Si solar cell under AM 1.5 illumination.

Table 1 Output characteristic of n-type Si added a-C/p-type Si solar cell.

RF power [W]	Voc [V]	Isc [A]	FF	efficiency [%]	I <sub>G</sub> /I <sub>D</sub>
25	0.060172	-7E-09	0.233885	2.35E-07	0.339
75	0.083	-2.7E-08	0.276	2.23E-06	0.283
150	0.04298	-1E-09	0.188458	2.01E-08	0.262

Table 2 Raman peak intensity and Hall effect measurement parameter.

RF power [W]	D-peak intensity	G-peak intensity	Si-C intensity	I <sub>G</sub> /I <sub>D</sub>	sp <sup>2</sup> cluster size [nm]	Carrier concentration [ $\times 10^{12}$ cm <sup>-3</sup> ]	Carrier mobility [cm <sup>2</sup> /Vs]
25	17.86	6.05	11.66	0.338983	1.679	4.99	11.9
75	292.5	82.7	182.4	0.283286	1.402	6.48	7.73
150	504.8	132.5	307.2	0.262467	1.297	15.7	3.33