



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | VALENCY CONTROL OF AMORPHOUS SILICON CARBIDE AND ITS APPLICATION TO HETEROJUNCTION SOLAR CELL |
| Author(s)    | 太和田, 善久   |
| Citation     | 大阪大学, 1983, 博士論文  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/2651">https://hdl.handle.net/11094/2651</a>             |
| rights       |   |
| Note         |   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|         |   |
|---------|---|
| 氏名・(本籍) | 太和田 善久  |
| 学位の種類   | 工学博士  |
| 学位記番号   | 第 5952 号  |
| 学位授与の日付 | 昭和 58 年 3 月 17 日  |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 5 条第 2 項該当  |
| 学位論文題目  | アモルファスシリコンカーバイドの価電子制御とそのヘテロ接合太陽電池への応用                       |
| 論文審査委員  | (主査) 教授 浜川 一圭弘<br>(副査) 教授 難波 進 教授 末田 正 教授 桜井 良文<br>教授 成田信一郎 |

### 論文内容の要旨

本論文はアモルファスシリコンカーバイド (a-SiC: H) の価電子制御と a-SiC: H の光学的禁止帯巾の大きい事を利用して p-i-n a-Si 太陽電池の p 層に用いた a-SiC: H/a-Si: H ヘテロ接合太陽電池に関する一連の研究成果をまとめたもので、以下の 7 章と謝辞から構成されている。

第 1 章は序論であり、W. E. Spear による a-Si: H の価電子制御の成功と D. E. Carlson による a-Si 太陽電池の開発に始まる a-Si のこれまでの研究を概観すると共に、a-Si 太陽電池の効率を改善する為の問題点を明らかにする。p-i-n 型では p 層で吸収された光が有効なキャリヤーにならない点が問題で、浜川教授は理論的及び実験的に最適化を行い、1978 年に 4.5% の当時世界最高の効率を達成した。著者はこの考え方を一步進め、吸収ロスの少ない a-SiC: H の価電子制御に成功し、a-SiC: H/a-Si: H ヘテロ接合太陽電池を開発した。その過程を概説する。

第 2 章は p-i-n a-Si 太陽電池製膜条件の最適化に関するもので、a-Si 太陽電池の効率を改善するための基本的要件であるグロー放電分解法による製膜条件の最適化について述べる。a-Si の膜質ならびに太陽電池特性はグロー放電分解で生じる H ラジカルに影響され、H ラジカルを少なくする事が特性向上のポイントである事を明らかにする。p-i-n 各層の製膜条件の最適化により 4.5 から 5.7% の変換効率に改善した。

第 3 章は a-SiC: H の製膜とその価電子制御に関する研究をまとめたものである。a-SiC: H の価電子制御は著者によって初めて成功したもので、従来炭素源として SP<sup>2</sup> 混成のエチレンが用いられてきたのに対し、SP<sup>3</sup> 混成のメタンを用いた点にポイントがあった事を明らかにする。<sup>15</sup>N の核反応により炭素に結合した水素量を正確に求める方法を開発し、メタン (CH<sub>4</sub>) とエチレン (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) を炭素

源にしたa-SiC:Hの膜中の炭素と水素の挙動を調べ、膜質との関連を考察する。CH<sub>4</sub>を炭素源にしたa-SiC:Hは不純物ドープする事で光電導度が2~4桁も増加し、a-Si:Hと同様に価電子制御ができるが、これは炭素に結合した水素が少なくほとんど四配位形成している事によるものである事を明らかにする。また光学的、電気的、光電子的性質についても詳述し、光学的禁止帯幅の大きいa-SiC:Hがp-i-n太陽電池の窓材料として最適である事を明らかにする。

第4章はp-i-na-Si太陽電池におけるa-SiC:Hの窓効果を具体的に示したもので、CH<sub>4</sub>を炭素源にしたp型a-SiC:Hをp層に用いたa-SiC:H/a-Si:Hヘテロ接合太陽電池でのa-SiC:Hの太陽電池特性改良効果（窓効果）について述べる。このa-SiC:H/a-Si:Hヘテロ接合太陽電池は短絡電流（J<sub>sc</sub>）だけでなく、開放電圧（V<sub>oc</sub>）も大巾に改善されている。J<sub>sc</sub>の増加は透明なa-SiC:Hによるp層中の光吸収ロスの減少と内部電界の増加によるドリフト電流の増加によるものであり、V<sub>oc</sub>の増加はp-i-n接合の拡散電位の増加によるものである事を明らかにする。その結果、ホモ接合の5.7%に対してヘテロ接合で7.55%の効率に改善できた。

第5章は高効率a-Si太陽電池にするためのa-SiC:Hの物性と化学構造を考察したもので、CH<sub>4</sub>系とC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>系a-SiC:Hの化学構造の違いを明らかにし、ヘテロ接合太陽電池の窓効果との関係について述べる。C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>系a-SiC:Hでは炭素は-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>基として取り込まれ、CH<sub>4</sub>系a-SiC:Hでは四配位で炭素が取り込まれている。こうした構造の違いはp-i-n接合のバンドプロファイルに明瞭に現われ、炭素に結合した水素の量を減じる事がヘテロ接合太陽電池の効率改善とポイントである事を明らかにする。また電圧因子はこうした化学構造に影響されない事も示す。

第6章はa-SiC:H/a-Si:Hヘテロ接合太陽電池の最適化について研究したもので、a-SiC:H製膜条件最適化とセルデザイン最適化について述べる。効率を改善するには、プラズマ中の活性水素による透明電極の還元が大きな問題である事を電子分光法を別いて明らかにする。太陽電池特性におよぼすITOとSnO<sub>2</sub>の還元の影響を考察し、無反射化あるいは大面積化に適したITO/SnO<sub>2</sub>複合基板も開発した。その結果、太陽電池の効率は小面積で8.8%、大面積でも7.8%に改善した。本章ではa-SiC:H/a-Si:Hヘテロ接合太陽電池の理論限界（12.5%）についても考察し、実験的にも11.2%の効率の得られる可能性を示す。

第7章では上記各章で得られた研究成果をまとめ、本研究の結論を述べる。

## 論文の審査結果の要旨

シリコンカーバイドは機械的にも強靭で、化学的にも安定な材料として工学的に広く利用されてきている。一般にこの材料は多結晶状で産出されるが、もしもこれを大面積で薄膜化できればさらに広い用途が開けるものと考えられる。本論文は、モノシリコンとメタンなどの混合ガスのプラズマ分解によって、アモルファスシリコンカーバイド（a-SiCと書く）薄膜の製造法ならびにその価電子制御とそのヘテロ接合太陽電池への応用に関する一連の研究成果をまとめたものである。

本論文ではまずシリコンカーバイドのアモルファス化について、炭素源としてメタン ( $\text{CH}_4$ )、エチレン ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) などの有機ガスとモノシラン ( $\text{SiH}_4$ ) との混合ガスの組合せについて、プラズマ分解反応の過程とその基板温度などの製作条件と、できた膜の組成、電気的・光学的物性との関連をしらべ、アモルファス組織内における局在電子状態と混入水素の役割りを明らかにした。ついで、こうしてできた  $\text{a-Si}_{(1-x)}\text{C}_x$  に不純物ドープを試み、水素化した  $\text{a-Si}_{(1-x)}\text{C}_x$  には価電子制御が可能で、しかもボロンのドープによって著しく光伝導度が増すことを見出し、その基礎物性について考察した。また、 $\text{Si}_{(1-x)}\text{C}_x$  が組成  $x$  によって光学的禁止帯幅が自由に制御できること、ならびに価電子制御が効くことを巧みに利用して、 $\text{a-SiC}/\text{a-Si}$  ヘテロ接合太陽電池を開発し、そのデバイス物性を研究し、 $\text{a-SiC}$  のワイドギャップ窓作用とキャリア閉じ込め効果を利用して、アモルファス太陽電池の効率が一挙に 3割程度も改善できることを明らかにした。因に、アモルファス太陽電池の電力応用への採算効率と云われてきた 8 %の壁を世界で初めて破ったのはこの新型太陽電池で、現在は全世界的に高効率化技術として普及している。

以上、本研究はアモルファス半導体の価電子制御と基礎電子物性の分野の進歩に寄与するところ大きく、また新エネルギー技術として期待されているアモルファス太陽電池の実用化技術に貢献するところ大きい。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。