

多結晶シリコン太陽電池の水素パッシベーション促進プロセス

齋藤 洋司^{*1}, 門馬 正^{*2}, 佐野 英之^{*3}

A Study on Enhanced Hydrogenation Process for Multi-crystalline Silicon Solar Cells

Yoji SAITO^{*1}, Tadashi MOMMA^{*2}, Hideyuki SANO^{*3}

ABSTRACT : Most of commercial solar cells are based on polycrystalline silicon substrates. Lattice defects, however, are included in polycrystalline silicon substrates, and degrade the electrical characteristics of the solar cells. Hydrogen passivation process is usually performed to reduce the electrically active defect levels at temperatures between 250C and 300C for hours. In this study, we found that the electrical characteristics of the solar cells with polycrystalline silicon substrates would largely depend on a bias voltage during the hydrogenation process. With increase of the value of the negative bias voltage, short circuit current, I_{sc} , and the efficiency increase. The electrical characteristics of the solar cells are apparently improved at a reverse bias voltage near 0.6V during the hydrogenation process. The increase of I_{sc} and the efficiency is considered to be induced by the passivation of the defect levels located near the pn junction with the diffused hydrogen. The phenomena are likely due to the existence of positively-ionized hydrogen, H^+ . The H^+ ions can be accelerated from the surface into the bulk by the electric field with the negative bias. The possibility of the H^+ ions in the bulk silicon has been predicted in the previous reports.

Keywords : multi-crystalline silicon, hydrogen diffusion, defect passivation, hydrogen plasma

(Received September 29, 2009)

1. 緒 論

現在、太陽電池の大部分には比較的安価で、安定した変換効率が得られる多結晶シリコン太陽電池が利用されている。しかし、多結晶基板においては、粒界のみならず粒内にも格子欠陥が存在し、単結晶太陽電池と比較して性能が低い原因となっている。格子欠陥はシリコン未結合手であり、禁制帯に準位を形成するため、粒界付近ではポテンシャルバリアを形成して電流経路を狭くし、粒内ではキャリアの再結合により発電した電流を電池内部で消費してしまい、結果として変換効率が低下する。格子欠陥を完全になくすことは技術的に困難なため、実際には、水素原子を欠陥部分に付着させ、未結合手をなくし、結果として欠陥準位を働かなくする方法が用いられる。これをパッシベーションと呼ぶ。

多結晶シリコン太陽電池の水素パッシベーション工程は、現在、水素を含むシリコン窒化膜を堆積後、熱処理で分解する際に放出される水素の基板への拡散により行われている。しかし、その膜の分解条件の範囲は限られており、水素パッシベーションの観点から見ると、導入水素量や深さ分布に関して十分な処理ではないと考えられる。

ところで文献によると、基板中の水素がある一定の確率で H^+ となり存在することが推定されている¹⁾。本研究では、太陽電池に逆バイアスを印加しながら水素化処理を行うことにより、表面から内部に向けて効率良く水素を深く拡散させることができるのではないかと考えた。バイアス電圧が、電気的特性や水素拡散へ及ぼす影響を調べた。

2. 実験方法

30mm×23mmにカットした抵抗率1.9Ωcmのp型多結

*1 成蹊大学理工学部エレクトロメカニクス学科教授
yoji@st.seikei.ac.jp, Professor,
Department of Mechanical and Electrical Engineering
*2 成蹊大学理工学部エレクトロメカニクス学科助手
*3 成蹊大学大学院工学研究科電気電子工学専攻

晶 Si 基板を用いた。1000°C, 3h 水蒸気酸化し、酸化膜を形成後、フォトリソ工程でパターンニングを行った。リンを 1000°C, 40 分間熱拡散し、表面及び裏面に Al 電極を形成し、太陽電池試料を作製した。

スパッタ装置を改造した装置に太陽電池試料を導入して、200°C~300°Cの範囲でプラズマ水素化処理を行った。この時、太陽電池にバイアス電圧を印加した。水素化処理前後で I-V 特性、分光感度測定、FTIR (赤外吸収) スペクトルを測定した。

3. 実験結果および検討²⁾

基板温度 300°Cで水素化処理を行った太陽電池における処理効果のバイアス電圧依存性を、処理前後の短絡電流 I_{sc} 比および発電効率比で、図 1 に示す。ここで、測定時の光強度は 15mWcm⁻²であった。また、処理前の効率は 2~4%と低く、またばらつきがあった。図 1 において、バイアス電圧が -0.6V~-0.4V の範囲で I_{sc} および効率が大幅に増加することがわかった。これは H⁺イオンとして存在する水素の拡散が促進され、欠陥パッシベーションがなされたためと考えられる。

一方、順バイアス電圧においては、逆に特性が悪化することがわかった。これは、表面付近に高濃度の水素が留まり、逆に欠陥を生じるためと思われる³⁾。

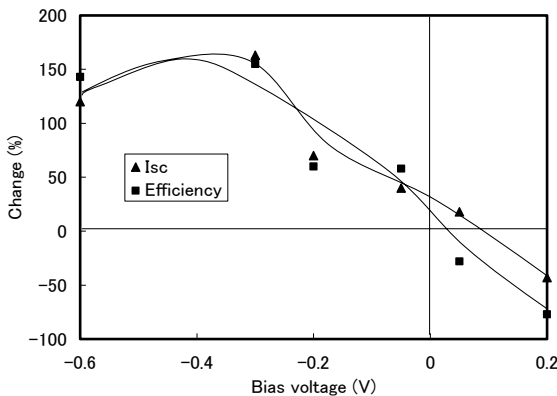


図 1 短絡電流、効率の増加率のバイアス電圧依存性

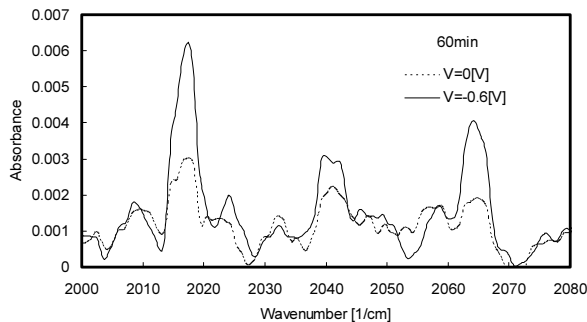


図 2 水素化処理による赤外吸収スペクトル変化

水素化により水素濃度がどのように変化しているか調べるため、水素化前後で FTIR 測定を行った。水素化による吸収の増加分をスペクトルとして図 2 に示す。2017cm⁻¹付近に Si-H 結合による吸収ピークが観測され、逆バイアス印加により、Si-H 濃度の増大が確認できた。

さらに、分光感度特性を調べた。シリコン基板では、測定波長範囲において波長が長いほど光が深く侵入するため、電流の波長依存性からどの部分の欠陥がパッシベーションされたか推定できる。図 3 に逆バイアスを印加しながら水素化処理を行った試料および処理前の分光感度スペクトルを示す。水素化処理により、光吸収係数の小さい赤外領域において電流が大きく増加している。これらから、逆バイアス電圧を印加しながら水素化することにより、より多くの水素をより深く拡散させ、効率的な欠陥パッシベーション効果を得ることができたと考えられる。

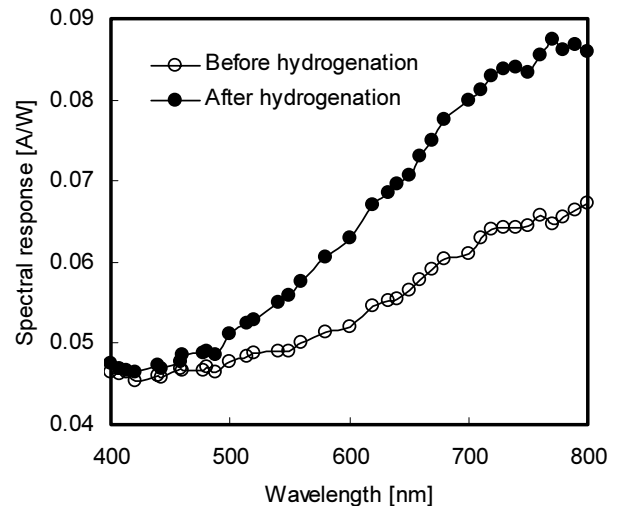


図 3 水素化前後の分光感度スペクトル (V=-0.6V)

4. 結論

多結晶シリコン太陽電池に逆バイアスを印加しながら水素化処理を行うことにより、効率的な欠陥パッシベーションを行うことができた。赤外吸収スペクトルや分光感度測定から、バイアス電圧印加により表面から内部へ水素をより多くかつ深く拡散されていることを確認した。バイアス電圧による効果は基板内部に存在する水素イオンによるものと考えている。

参考文献

- 1) S. Darwiche, M. Nikravech, D. Morvan, J. Amouroux and D. Ballutaud, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, Issues 2-3, 23, p.195 (2007).
- 2) Y. Saito and Y. Sano, *Proc. 2009MRS*, 1153, A18-01 (2009)
- 3) S. Martinuzzi and I. Perichaud, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 72, p.343 (2003)