大気暴露時間および a-Si キャップ層の膜厚が p-BaSi₂/n-Si ヘテロ太陽電池 性能に与える効果

Effect of air exposure duration and a-Si capping layer thickness on the performance of p-BaSi₂/n-Si heterojunction solar cells

筑波大学 ⁰髙部 涼太, 谷内 卓, 都甲 薫, 末益 崇

Univ. Tsukuba, °Ryota Takabe, Suguru Yachi, Kaoru Toko, and Takashi Suemasu

E-mail: bk200911087@s.bk.tsukuba.ac.jp

【背景・目的】

我々は薄膜太陽電池の新材料として BaSi2 に 注目している。BaSi2 は光吸収係数(3×10⁴ cm⁻¹ @1.5 eV)と少数キャリア拡散長(10 µm)がどちら も大きいユニークな材料であり 1.2)、禁制帯幅(1.3 eV)も太陽電池に適している¹⁾。過去の研究で、 BaSi2表面を自然酸化膜あるいは非晶質Si(a-Si)で 覆うことで、少数キャリア寿命 τ が再現性良く約 10 µs に向上した³⁾。また、硬 X 線光電子分光法 を用いた価電子帯バンドアライメント測定によ り、n-BaSi2のホールに対する自然酸化膜の障壁 高さは 3.9 eV であるのに対し、a-Si の障壁高さは -0.2 eV であると明らかにした^{4,5)}。これらの結果 から、a-Si は表面不活性層としてだけでなく、ホ ール輸送層としても機能することが分かった。こ の結果を裏付けるように、p-BaSi2/n-Si ヘテロ太 陽電池に a-Si をキャップすることで、変換効率 が 0.2%から 9.0%まで飛躍的に向上した ⁶。本研 究では、太陽電池の変換効率ηに大きな影響を与 えると考えられる BaSi2太陽電池作製後の大気暴 露時間 tair と、a-Si キャップ層の膜厚 da-Si に注目 し、それらが p-BaSi2/n-Si ヘテロ太陽電池特性に 与える影響を調べた。

【実験】

MBE 装置を用いて n-Si(111)基板(n ~ 10¹⁵ cm⁻³) 上に B-doped p-BaSi₂ エピタキシャル膜(p ~ 10¹⁸ cm⁻³)を 20 nm 堆積した後、*in situ* で a-Si を堆積し た。初めに、大気暴露時間が与える影響を調べる ため、 $d_{a-Si} = 2$ nm に固定して、 t_{air} を 12, 150 h と 変えた。次に、a-Si の膜厚が与える影響を調べる ため、 η が向上した $t_{air} = 150$ h に固定して、 d_{a-Si} を 0.7,2,3,5 nm と変えた。それぞれの試料表面に直 径 1 mm、厚さ 70 nm の ITO 電極、裏面に 100 nm の Al 電極をスパッタ堆積した。また、太陽電池 特性を評価するために、AM1.5, 100 mW/cm² 照射 下で電流密度-電圧(*J-V*)特性を測定した。

【結果・考察】

はじめに $d_{a-Si} = 2 \text{ nm}$ に固定し、 t_{air} を 12, 150 h に変えて *J-V* 測定を行った(Fig. 1)。 t_{air} を増やすこ とで開放電圧 V_{OC} が向上し、結果として η が 5.3% から 6.6%に改善した。また、これらの試料の逆 方向飽和電流密度を比較した結果、 t_{air} が増えるこ とで $1.0 \times 10^2 \text{ mA/cm}^2$ から $2.4 \times 10^4 \text{ mA/cm}^2$ まで 2 桁程度減少した。これは、 $BaSi_2$ 表面での再結合 が少なくなっていることを意味している。過去の 研究で、 $BaSi_2$ 表面で酸素濃度が上昇した時に τ が向上した³⁾。そのため、 t_{air} を増やすことで a-Si/BaSi₂界面の酸素濃度が上昇したために、界面再結合が抑制できたと予想している。

次に、 t_{air} =150hで固定し、 d_{a-Si} を変えて効率を 測定した(Fig. 2)。 d_{a-Si} を変えることで η が大きく 変化し、 d_{a-Si} =3 nmで最大変換効率9.0%を達成 した。この理由を調べるために、各試料の直列抵 抗 R_S を比較したところ、 d_{a-Si} =3 nmの試料で最 小値を取っていた。そのため、 d_{a-Si} <3 nmでは、 d_{a-Si} が厚くなる毎に BaSi₂の酸化膜形成が抑制さ れたため、 R_S が下がったと考えた。一方、 d_{a-Si} > 3 nmでは、a-Si層自体の抵抗が増加したために、 R_S が大きくなったと考えている。よって、a-Si層 の最適な膜厚は3 nmであることが判明した。

- 1) K. Toh et al., Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 068001.
- 2) M. Baba et al., J. Cryst. Growth **348** (2012) 75.
- 3) R. Takabe et al., J. Appl. Phys. 115 (2014) 193510.
- 4) R. Takabe et al., J. Appl. Phys. 119 (2016) 025306.
- 5) R. Takabe et al., J. Appl. Phys. 119 (2016) 165304.
- 6) D. Tsukahara et al., Appl. Phys. Lett. 108 (2016) 152101.



Fig. 1 *J-V* characteristics under AM 1.5 illumination measured for samples with $d_{a-Si} = 2 \text{ nm}$. t_{air} was varied as 12 h or 150 h.



Fig. 2 Dependence of d_{a-Si} on η and $R_{S.}$ t_{air} was fixed at 150 h.