量子井戸構造を有する半導体固体電池の作製と充放電特性の評価

Fabrication of semiconductor solid state battery with quantum well structure and

evaluation of charge/discharge characteristics

東芝マテリアル(株)¹,ジオマテック(株)²

^O佐々木 敦也¹,佐々木 亮人¹,片岡 好則¹,伊東 孝洋²,平林 英明¹

Toshiba Materials Co., Ltd.¹, Geomatec Co., Ltd.²

°Atsuya Sasaki¹, Akito Sasaki¹, Yoshinori Kataoka¹, Takahiro Ito², Hideaki Hirabayashi¹

E-mail: atsuya.sasaki@toshiba.co.jp

【背景と目的】 我々はより安全性の高い全固体電池として,「TiO_x/SiN_x/NiO_x」構造の Li イオン を用いない半導体固体電池を試作し,充放電動作を実証した[1]。しかし容量密度は Li イオン電池 に比べて低い。そこで,ポテンシャルの井戸(量子井戸)へ多量のキャリア蓄積の可能性が考え られる量子井戸構造に着目している。本研究では,量子井戸を有する半導体膜(量子井戸膜)を 用いた電池の動作実証を目的に試作を行った。

【実験方法】 スパッタ法で「NiO_x (300 nm)/SiN_x (300 nm)/量子井戸膜 (300 nm)」構造を有する半 導体固体電池を試作した (Fig. 1)。量子井戸膜は, バンドギャップが大きい amorphous Si (a-Si)に バンドギャップが小さいナノ結晶 β-FeSi₂を含有した複合膜である。同膜は, 文献を参考に Fe/a-Si 共スパッタ膜を Ar, 550℃, 5h で熱処理し得た[2, 3]。膜分析は量子井戸膜の断面 TEM 観察を行っ た。また充放電試験として, 定電流充電 (3.9×10⁻³ mA, 65 s) と定電流放電 (-3.7×10⁴ mA, 0 V 終 止)を連続して実施した。

【実験結果と考察】 Fig. 2 に断面 TEM 像を示す。文献値[4]とおおよそ等価の β -FeSi₂格子間隔を 有する格子縞が観察され、ナノ結晶 β -FeSi₂の形成・分散が確認された。Fig. 3 に定電流放電曲線 を示す。放電時の電池電圧が一定時間維持され、キャリア蓄積が確認された。また SiN_xの比誘電 率 7.3 (実測値)から算出した、金属/SiN_x (300 nm)/金属の並行平板キャパシタ(面積 500 nm²)の 理論放電曲線 (Fig. 3 赤点線)と比べてもより長い放電時間を得ている。これより、量子井戸膜を 用いた半導体固体電池において、並行平板キャパシタ構造を超える蓄電動作を確認できた。



Fig. 1: Film structure of the fabricated semiconductor battery (side view).



Fig. 2: A cross-sectional TEM image of the formed quantum well film (β -FeSi₂ in a-Si).



Fig. 3: Dependence of battery voltage on time during discharge with constant current.

【参考文献】

[1] Sasaki, A. et al. Jpn. J. Appl. Phys. 57, 041201 (2018).

[2] Okajima, K. et al. denki kagaku 67(3), 248-252 (1999).

[3] Sawata, M. et al. 62th Jpn. Soc. Appl. Phys. spring meeting 13a-A25-9 (2015).

[4] β-FeSi₂ ICSD Ref. code: 98-000-9119, Orthorhombic, Space group: *Cmca*, *a*=9.8630Å, *b*=7.7910Å, *c*=7.8330Å.

【謝辞】 本研究は,防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度の支援を受けたものである。