金-GaSb-金多層薄膜構造を有する熱光起電力電池の設計

Design of thermophotovoltaic cell with gold-GaSb-gold thin-multilayered structure

○正 磯部 和真 (東工大) 沖野 亮太 (東工大)

正 花村 克悟 (東工大)

Kazuma Isobe¹, Ryota Okino¹, and Katsunori Hanamura¹

¹ Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan

Key Words: Thermophotovoltaic cell, Gold-GaSb-gold thin-multilayer, cavity resonance, LC circuit resonance.

1. 緒言

鉄鋼業における圧延鉄鋼の放熱時における排熱をはじめとする、千°C近くにもなる高温の熱源から活用されずに散逸してしまう熱ふく射を電気エネルギーとして回収する手法として、熱光起電力(Thermophotovoltaic: TPV)発電がある。TPV 発電の発電出力を向上させる方法としては光発電半導体素子(TPV 電池, 主に GaSb)へふく射を集光することが有効であるが、TPV 電池の開回路電圧は電池の温度上昇に従って低下する⁽¹⁾ため、電池の冷却に幾分かの動力を割く必要が生じる。TPV 電池の発電性能を高く維持したまま冷却にかかる負荷を低減させるためには、電池の量子効率が 1 に近い波長域のふく射のみを選択的に吸収し、それ以外の波長のふく射を反射する、といった TPV 電池の吸収率スペクトルの制御が必要となる。本研究では、波長選択のために金-GaSb-金多層膜(metal-semiconductor-metal: MSM)構造を有する TPV 電池構造を製作し、吸収率の測定結果を数値解析結果と比較することで波長選択型 TPV 電池の設計指針の検討を行った。

2. MSM 多層膜の製作

MSM 多層膜構造の製作は次の手順で行った。(1) InAs 基板上へ *p* 型 GaSb 薄膜のエピタキシャル成長。(2) *p*-GaSb 薄膜表面への支持ワックス層の付与。(3) 塩酸ウェットエッチングによる InAs 基板の除去。(4) *p*-GaSb 表面裏面への金及び基板層のファンデルワールス接合。(5) トリクロロエチレンによる支持ワックス層の除去。(6) 電子線リソグラフィーを用いた *p*-GaSb 表面へのフォトマスク製作とナノスケールの矩形網状金層の蒸着。以上の工程により MSM 多層膜構造試料を製作し、その垂直吸収率スペクトルを分光光度計により測定した。

3. 結果と考察

製作した MSM 多層膜の吸収率スペクトルを測定した結果、吸収率のピーク波長は 1.6 μm 付近、すなわち GaSb の内部量子効率が高い波長範囲、に存在し、一方でそれよりも長波長のふく射に対する反射率が総じて 0.9 以上となっているため、発電性能の向上と冷却負荷の低減が両立されている。この結果は有限時間領域差分(Finite difference time domain: FDTD)法による数値解析の結果とおおよそ一致するものであった。更に追加の解析より、矩形網状金層と基板金層の間に生じる、等価キャパシティ共鳴⁽²⁾及び等価 LC 回路共鳴⁽³⁾がピーク波長を決定する上で支配的であることが示唆され、設計の指針となり得る物理モデルを解明することが出来た。

4. 結言

本研究を通し、MSM 多層膜構造を有する TPV 電池の吸収率スペクトルに関わる物理モデルを明らかにした。今後、物理モデルにより示される設計指針を基に、GaSb 層内部に *p-n* 接合を形成しつつ構造を最適化した MSM 多層膜を製作し、発電性能の評価へと展開していくことが求められる。

参考文献

- (1) L. G. Ferguson and L. M. Fraas, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **39**, 11 (1995).
- (2) K. Isobe and K. Hanamura, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **134**, 807 (2019).
- (3) A. Sakurai, B. Zhao, and Z. M. Zhang, *J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, **149**, 33 (2014).