プレーナ型 Si 熱電発電デバイスの金属導熱路構造が発電性能に与える影響

Effect of Metal Heat Guide Structure on the Performance of Planar Si Thermoelectric Generator

早大理工[1], 産総研[2]　○柏崎 翼[1], 富田 基裕[1], 平尾 修平[1], 田邉 咲華[1], 片山 和明[1], 松木 武雄[1,2], 渡邉 孝信[1]
Waseda Univ. [1], AIST[2], ○T. Kashizaki[1], M. Tomita[1], S. Hirao[1], S. Tanabe[1], K. Katayama[1], T. Matsuki[1, 2] and T. Watanabe[1]
E-mail:kashizaki_283@fuji.waseda.jp

【はじめに】Siナノワイヤが優れた熱電発電性能を有することが明らかにされ[1]、CMOSプロセスで製造可能なSi製微小熱電発電デバイス(Micro Thermoelectric Generator: μ-TEG)の研究開発が活発に行われている[2,3]。我々は、基板表面に熱流を局所注入した際に、注入口付近の表面に沿って形成される急峻な温度勾配を利用した、キャビティを設けないプレーナ型のμ-TEGの開発を進めている。デバイス内の所望の箇所に熱を局所注入するため、μ-TEG上に適切な導熱路（Heat Guide; HG）構造を形成する必要がある。これまで、層間絶縁膜の有無やHGの厚さの影響を、シミュレーションを用いて検討してきた[4]。本研究では、これまでの検討結果を実験的に検証するため、HGの厚さを変化させたμ-TEGを作製し、熱電発電性能を評価した。

【実験方法】作製したμ-TEGの概略図をFig.1に示す。SOI基板をEBリソグラフィとドライエッチングで加工しSiワイヤとパッドを形成した。Siワイヤは長さ100μm、幅100nmで、1つのμ-TEGに400本含まれる。次に20nmの酸化膜で全体を被覆したのち、P^+イオンを注入し(1.0×10^{15}cm^{-2}, 25keV)活性化アニールを行った。次にSiパッド上の酸化膜を選択的に剥離し、そこにAl/TiN/Ti（400nm/30nm/10nm）をスパッタリングで堆積させて電極を形成した。その後、プラズマCVDで0.3, 0.5μmの層間SiO_2膜を堆積させ、コンタクトホールをドライエッチングで形成後、HGとなるAlをスパッタリングで堆積させ、表面の余分なAlをエッチングで除去した。AlのHGの厚さは0.3μm, 0.5μmの2種類のサンプルを用意した。これらの試料をグループAとする。これらとは別に、層間SiO_2膜を堆積せずに、Al/TiN/Ti電極上に直接HG形成した試料群（グループB）も用意した。グループBについてはHG厚さが0.3μm, 0.5μm, 1μmの3種類の試料を用意した。作製した試料の顕微鏡像と断面SEM像をFig.2に示す。断面SEM像は幅3μmのHG形状確認用パターンの断面構造を示している。HG部の厚いAl層は隙間の多い構造となっている。デバイスの熱電発電性能の評価の際は、微小熱源を試料表面に接触させ、試料ステージをペルチェ冷却で温度を制御して温度差20Kを表面と裏面の間に印加した。

【実験結果】Fig.3に開放電圧V_{OC}の測定値を示す。層間SiO_2膜のないグループAと比べて層間SiO_2膜のあるグループBのV_{OC}が大きく、またHGが厚くなるにつれV_{OC}が顕著に増大する傾向がみられた。この結果は先行研究のシミュレーション結果と一致する[4]。グループAのSiO_2層厚0.3μmのμ-TEGではV_{OC}が負に逆転しているが、導熱路であるHGよりも、周りの層間絶縁膜を通して基板に伝わる熱が大きくなっている可能性を示している。Fig.2の断面SEM像を見てもわかるように、今回スパッタリングで成膜したAl層は隙間の多い構造となっており、HG自体の熱抵抗が上昇していること、また、熱源との接触熱抵抗の増加によって、所望の場所に熱流を局所注入できなかった可能性が考えられる。今回の実験結果から、層間絶縁膜のあるμ-TEGでは、HG部の金属層の稠密度、厚さの制御が極めて重要であることが判明した。

【謝辞】本研究はJST-CREST(JPMJCR19Q5)の支援により実施された。また、デバイス作製は文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業(NIMS微細加工プラットフォーム)を利用して実施した。

【参考文献】[1] A. Hochbaum et.al., Nature, 451, 163 (2008). [2] M. Totaro et al., Microelectronic Engineering, 97, 157 (2012). [3] G. Penneli, Beilstein J. Nanotechnol, 5, 1268 (2014). [4] S. Hirao, et al., PS-6-16_C000514 SSDM, (2019).

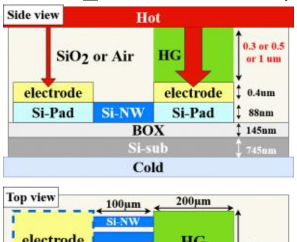

Fig.1: Schematic of μ-TEG

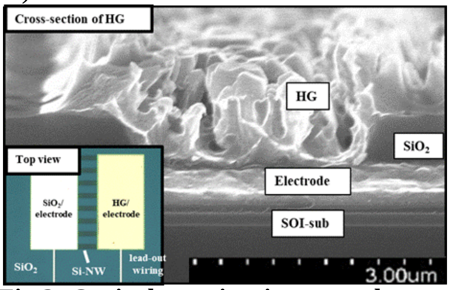

Fig.2: Optical top view image and cross-sectional SEM image of HG structure

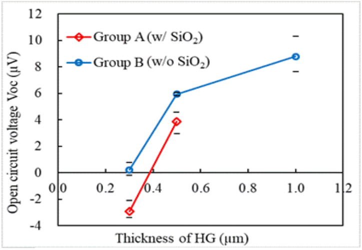

Fig.3: Thickness dependence of TE power of μ-TEG

© 2021年 応用物理学会