高温アニールおよび熱酸化処理を施した 高純度半絶縁性 4H-SiC 基板の電気的性質の評価

Electrical Properties of High-Purity Semi-Insulating 4H-SiC Substrates Annealed at High Temperature or Thermally Oxidized

京大院工　°具 燦淳，金子 光顕，木本 恒暢

Kyoto Univ. °Chansoon Koo, Mitsuaki Kaneko, and Tsunenobu Kimoto

E-mail: koo@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

はじめに 高純度半絶縁性（HPSI）SiC 基板は非常に高い抵抗率を有し、イオン注入によって n 型層と p 型層を容易に作製できることから、高温動作集積回路の材料として注目を集めている[1]。HPSI SiC 基板の高い抵抗率は深い準位を形成する真性点欠陥に由来する[2]。高温アニールや熱酸化処理によってこれらの真性点欠陥が減少し、その結果として抵抗率が低下することが考えられるが[2 - 4]、報告が少なく、十分に理解されていないのが現状である。そこで本研究では、アニールまたは熱酸化処理を行った HPSI SiC 基板の抵抗率の温度依存性を測定し、アニール温度や熱酸化の有無による抵抗率の変化を調べた。

実験手法 HPSI 4H-SiC (0001)基板から Fig.1 のような四端子試料を作製した。アニールと熱酸化の条件は、1500, 1700, 1800℃の各温度で 20 min の Ar アニールをした試料、1400℃で 24 h 熱酸化を施した後、1500℃で 20 min の Ar アニールをした試料の計 4 種類を用意した。また、基板のフェルミ準位の位置が不明であることから、オーミックコンタクトは n 型（Ni 電極と P イオン（8×10^{18} cm^{-3}）注入層）、p 型（Ti/Al 電極と Al イオン（3×10^{19} cm^{-3}）注入層）の 2 種類を用意した。van der Pauw 法を用いて各試料の抵抗率の温度依存性を測定した。700 K 以下では抵抗率が高く測定が困難であったため、760 – 910 K の温度範囲において測定を行った。

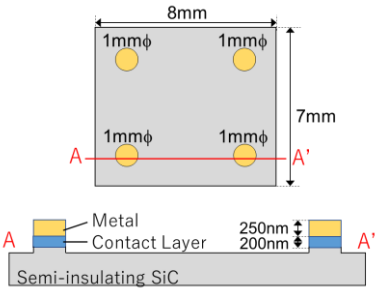

Fig.1: Schematic structure of a sample.

結果 Fig. 2 に、n 型コンタクトを持つ各試料の抵抗率の温度依存性を示す。抵抗率は$\exp(E_a/kT)$ (E_a: 活性化エネルギー)に比例している。E_aの値は 1.4 - 1.6 eV となっており、フェルミ準位がバンドギャップ中央付近に存在することが示唆される。Fig. 3 は、760 K における抵抗率とアニール温度の関係を示している。アニール温度の上昇に従って抵抗率は小さくなり、1800℃アニールでは 1500℃アニールの場合と比べて抵抗率が約 1 桁小さくなっている。また、酸化した試料の抵抗率は、酸化せずに 1500℃でアニールした場合と比べてやや小さくなっている。これらの傾向は測定温度範囲の全体にわたってみられる（Fig. 2）。p 型コンタクトを持つ試料においても、n 型コンタクトの場合と全く同様の傾向がみられた。以上のことから、高温熱処理により抵抗率は若干低下するものの、その活性化エネルギーはほぼ不変で、ミッドギャップ準位が半絶縁性を支配していることが明らかになった。

[1] M. Kaneko and T. Kimoto, *IEEE Electron Device Lett.*, **39**, 723 (2018).
[2] N. T. Son *et al.*, *Phys. Rev. B*, **75**, 155204 (2007).
[3] N. Iwamoto *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **118**, 045705 (2015).
[4] K. Kawahara *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **111**, 053710 (2012).

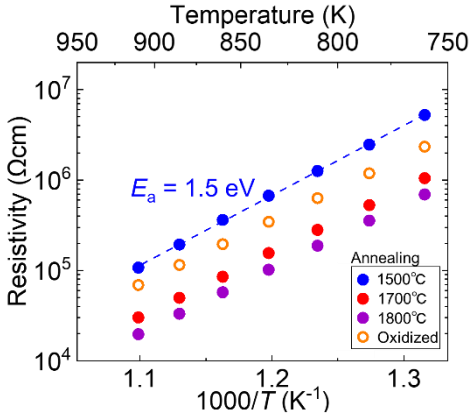

Fig. 2. Temperature dependence of resistivity in HPSI SiC substrates with n-type contacts, annealed at different temperature of 1500 - 1800℃ or oxidized at 1400℃.

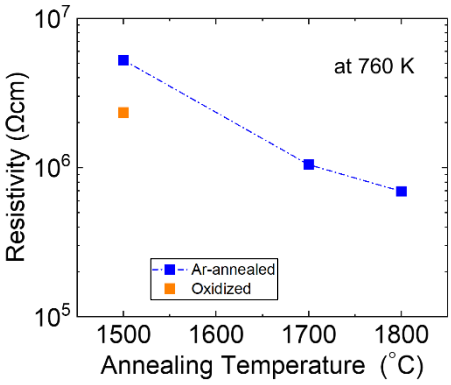

Fig. 3. Annealing-temperature dependence of resistivity at 760 K in HPSI SiC substrates with n-type contacts.