多結晶 GeSn のキャリア輸送特性と熱伝導率

Carrier transport properties and thermal conductance of polycrystalline GeSn

産総研ナノエレ部門 [1], 阪大院 [2], 九工大 [3], KU Leuven[4],
○内田 紀行 [1], 宮崎 吉宣 [1], 前田 辰郎 [1], 福田 浩一 [1], 服部 淳一 [1], 大石 佑治 [2], 石丸 学 [3],
R. R. Lieten [4], Jean-Pierre Locquet[4]
NERI-AIST. [1], Osaka univ. [2], Kyutech[3], KU Leuven[4], ○N. Uchida[1], Y. Miyazaki[1], T. Maeda[1], K. Fukuda[1],
J. Hattori[1], Y. Ohishi[2], M. Ishimaru[3], R. R. Lieten [4], and Jean-Pierre Locquet[4]
E-mail: nori-uchida@aist.go.jp

多結晶 GeSn 薄膜は、多結晶 Si 薄膜に比べると低い温度で結晶化(<450℃)し、高い移動度を持つことから、低温プロセスで形成できるトランジスタのチャネル材料として注目されている。しかし、多結晶 GeSn の熱伝導率は 5－9W/mK[1]で、多結晶グレイン界面でのフォノン散乱や、合金化の効果により、バルクの Ge に比べると (30-60 W/mK [2]) 大幅に低下するためトランジスタを設計する上で、Sn 添加による熱伝導率の低減効果を考慮する必要がある。そこで本研究では、多結晶 GeSn キャリア輸送特性や熱伝導率パラメータとした Technology CAD (TCAD)によるデバイスシミュレーションを行うために、多結晶 GeSn 膜のキャリア輸送特性と熱伝導率の評価を行った。

非晶質 GeSn 膜は、分子ビーム蒸着法を用いて SiO_2/Si(111)基板上に 100 nm の膜厚で堆積した。非晶質 GeSn 中の Sn 濃度は、ラザフォード後方散乱測定から、5.5%, 13.6%と見積もられた。これら非晶質膜は、窒素ガス雰囲気中でハロゲンランプ加熱(400-520 ℃)により多結晶化した。ラマン散乱測定や、X 線回折パターン解析、透過電子顕微鏡観察によると、Sn は 13.6%の GeSn 膜は、350℃から部分的に結晶化始まり、500℃の熱処理により、平均直径 39nm のナノ結晶を形成した。一方で、5.5%の GeSn 膜は、480℃の熱処理により部分的な結晶化が始まり、500℃の熱処理で平均直径が 50nm の結晶が形成され、520℃では平均 70nm に到達した。GeSn 結晶中の Sn 濃度は、500℃の熱処理後、X 線回折の Ge<111>反射ピークから、13.6%の膜で 5%に減り、5.5%の膜では 5%でほとんど変化しなかった。Sn が 13.6%の膜では、X 線回折に Sn 金属のピークが検出されており、過剰な Sn 析出物が核生成のサイトになり GeSn のナノ結晶形成温度を低温化するものの、Sn 析出物がグレイン成長を阻害している可能性がある。また、Hall 効果測定の結果、13.6%の Sn 濃度の GeSn 膜は 475-500℃の熱処理で 27-30 cm^2/Vsec の正孔移動度、1-2×$10^{19}cm^{-3}$ の正孔密度、5.5%の膜は 490-520℃の熱処理で 33-36 cm^2/Vsec の正孔移動度、1.5-2.3×$10^{18}cm^{-3}$ の正孔密度を持つことが分かった。次に、Sn13.6%と 5.5%の多結晶 GeSn 膜の熱伝導率を比較する。サーモリフレクタンス法(2ω法)[3]による、GeSn の熱伝導率測定結果と、Ge 結晶中の Sn 濃度や平均多結晶グレインサイズを考慮した熱伝導率計算[5]結果を図 1 に示す。多結晶化していない場合、アモルファス Ge と同じ 1-1.2 W/mK[4]であり、多結晶化しグレインサイズが大きくなることで熱伝導率が上昇し、9－10 W/mK に到達することがわかった。

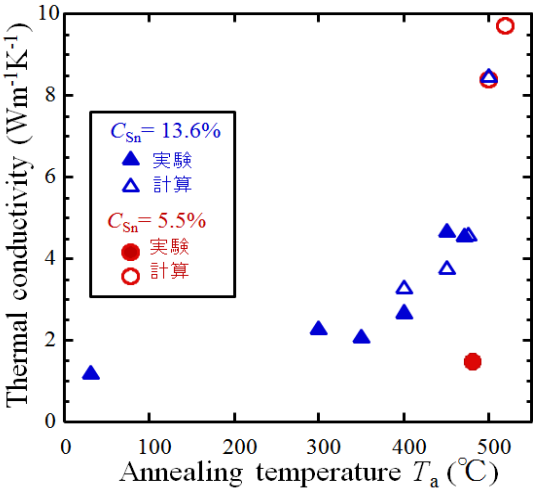

図 1: 多結晶 GeSn 膜(Sn 濃度 C_{Sn}=13.6%, 5.5%)の熱伝導率。C_{Sn}=13.6%のデータは[1]を参照。

Sn 濃度を増加することで、多結晶 GeSn の結晶化温度は低くなるものの、グレイン成長が Sn の析出により阻害される傾向にあり、キャリア移動度や熱伝導率の低下を招く。一方で、Sn 濃度が 5%程度の場合、Sn の析出が抑えられ結晶グレインが大型化することで、キャリア移動度も熱伝導率も高い状態が実現され、トランジスタ応用に適性の高い多結晶 GeSn 膜を形成できる。

本研究の一部は、JSPS 二国間交流事業（共同研究）のサポートを受けて実施された。

参考文献: [1] N.Uchida, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **107** 232105 (2015)., [2] J. C. GLAssBRENNERt *et al.*, Phys. Rev.134. **4A** (1964)1058., [3] R. Kato *et al.*, International Journal of Thermophysics, **26**, 179 (2005). [4] T. Zhan et al., Appl. Phys. Lett. **104** 071911 (2014)., [5] J. He, et al., Adv. Funct. Mater. **20**, 764 (2010).

© 2016年 応用物理学会