19p-A16-18

Poly-Ge、GeSn のキャリア輸送特性と熱伝導率

Carrier transport properties and thermal conductance of polycrystalline Ge and 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], 前田 辰郎 [1], 福田 浩一 [1], 服部 淳一 [1], 岡嶋 真吾 [2], 大石 佑治 [2], 石丸 学 [3],
L.L. Ruben[4], J.-P. Locquet[4]
NERI-AIST[1], Osaka univ. [2], Kyushu Inst. Tech.[3], KU Leuven[4]
°N. Uchida[1], T. Maeda[1], K. Fukuda[1], J. Hattori[1],
S. Okajima[2], Y. Ohishi[2], M. Ishimaru[3], L. L. Ruben[4], J.-P. Locquet[4]
E-mail: nori-uchida@aist.go.jp

[はじめに]多結晶 Ge や 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、TFT のチャネル材料として注目されている。多結晶 Si の TFT では、デバイス動作時に自己加熱が起こりやすく、ドライブ電流の低下や閾値電圧のシフトなど、デバイス特性の劣化やばらつきの原因になることが知られている[1]。単結晶 Ge の熱伝導率(κ)が 30-60 W/mK [2]で Si より低く、多結晶化によってさらに低下する。また、多結晶 GeSn は合金化による効果でさらに低下すると予想される。これは、TFT の自己加熱効果が、多結晶 Ge、GeSn チャネルでより顕在化することを示唆している。そこで本研究では、非晶質 Ge、GeSn 膜の多結晶化によるキャリア輸送特性の評価と合わせて、κ の評価を行なった。

[結果・議論] 多結晶 Ge、GeSn 膜は、分子ビーム蒸着法を用いて SiO_2（膜厚?）/Si 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、14%と見積もれる。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(400-600 ℃)により多結晶化した。透過電子顕微鏡観察によると、GeSn 膜は、350℃から部分的に結晶化始まり、450℃では直径 5-10nm のナノ結晶に、475℃の熱処理により、直径が 50 nm 以上の多面体ナノ結晶になる。一方で、非晶質 Ge 膜は、600℃の熱処理により直径が 50 nm 以上の多面体ナノ結晶膜になった。これは、Sn による結晶化温度の低温化を示している。Hall 効果測定の結果、GeSn 膜は 475-500℃の熱処理で 27-30 cm^2/Vsec の正孔移動度、1-2×$10^{19}cm^{-3}$ の正孔密度を持つことがわかった。Ge 膜は 600℃で熱処理した場合、正孔移動度が 12 cm^2/Vsec、正孔密度が 2.2×$10^{18}cm^{-3}$ であった。Sn が混入することで、結晶性が向上して移動度が上昇し、p 型のキャリアが発生した。Raman 散乱測定の結果、475℃で熱処理した GeSn 膜中の Sn 濃度は、歪みが 0.3% だとすると、1.2%と見積もられ、Sn が析出していることが示唆される。実際、TEM 観察により GeSn 膜中に 20-100 nm のサイズの Sn クラスターが観測された。図 1 に、サーモリフレクタンス法(2ω法)[3]による、GeSn、Ge 膜の κ 測定結果を示す。熱処理温度が 400℃より低い場合、非晶質 Ge と同じ 1-1.2 W/mK[4]であり、多結晶化することで κ が上昇し、GeSn 膜は熱処理温度が 400℃で 1.5 W/mK、450℃では 1.8W/mK、470℃で 3.8 W/mK を示した。475℃の熱処理では、上述の試料構造における検出最大値(5 W/mK)を超えた。Sn 不純物やのナノ結晶界面でのフォノン散乱を考慮した数値シミュレーション[5]で算出した κ は、400-470℃で熱処理した GeSn 膜の熱伝導率とよく一致した。475℃熱処理の場合、Sn 濃度 1 %、グレインサイズ 50 nm と仮定すると、κ は 6.8 W/mK と見積もれる。Ge 膜は、600℃の熱処理で、475℃熱処理の GeSn 膜と同じ~50 nm のグレインを持つが、κ は 2.3 W/mK で GeSn 膜より低くなった。これは、GeSn 膜の結晶性が、優れていることに起因する。

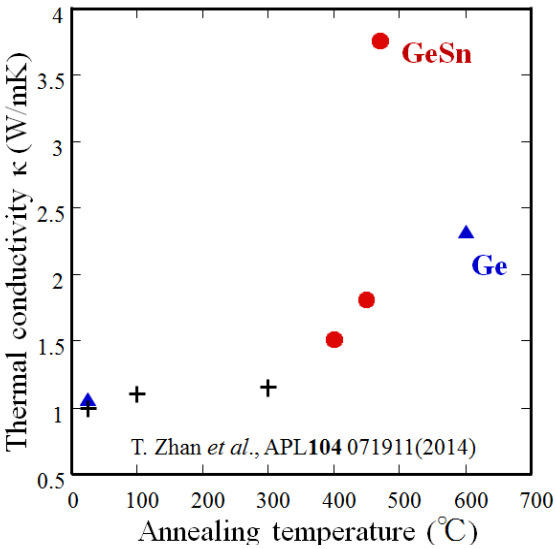

図 1: Ge, GeSn 膜の κ の熱処理温度依存性。

[まとめ]非晶質 Ge、GeSn は、熱処理によりグレインサイズが 50nm 程度の多結晶膜になると、移動度が 12 , 30 cm^2/Vsec、κ は 2.3 W/mK、6.8 W/mK になった。これは、Sn の混入により結晶性が向上したことを示している。多結晶 Ge, GeSn の κ は多結晶 Si よりも大幅に低く、TFT チャネルとして利用する場合、自己加熱効果による性能劣化が懸念される。

参考文献: [1] S. Inoue, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **41** (2002), 6313., [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).

© 2014 年　応用物理学会