

GeO₂ 下部層による固相成長 Ge 薄膜の移動度向上機構Mechanism for improving carrier mobility of solid-phase-crystallized Ge thin films by GeO₂ underlayer筑波大院 数理物質¹, 学振特別研究員² 今城利文^{1,2}, 末益崇¹, 都甲薫¹Univ. of Tsukuba¹, JSPS Research Fellow² T. Imajo, T. Suemasu, and K. Toko

E-mail: imajo.toshifumi.mg@alumni.tsukuba.ac.jp

【はじめに】高機能デバイスの実現を目指し、絶縁基板上に Ge 系薄膜を形成する研究が活発化している。我々は、固相成長の前駆体となる非晶質 Ge の密度制御により、Ge 薄膜の大粒径化・高移動化を達成し[1]、さらに GeO₂ 下部層の挿入により移動度が向上する現象を見出した[2]。今回、GeO₂ 下部層の厚みが Ge 固相成長に影響を与えることを見出すとともに、移動度向上機構を解明し、プラスチック上における最高移動度を更新した。

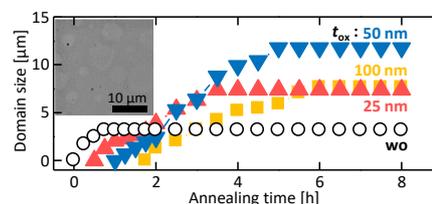
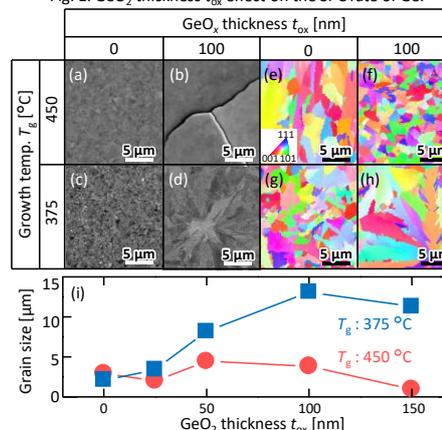
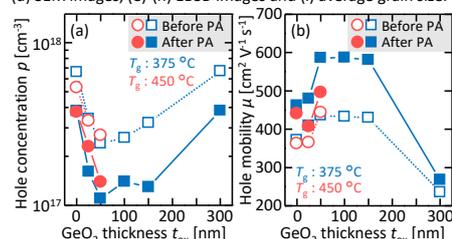
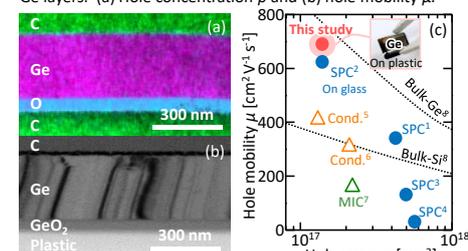
【実験方法】GeO₂ 層 (t_{ox} : 25–300 nm) をスパッタリング堆積した石英ガラスおよびポリイミド基板上に、基板加熱 (150 °C) を行いながら Ge 膜 (300 nm) を分子線堆積した。これらの試料を N₂ 中で熱処理 (T_g : 375–450 °C) して固相成長を誘起した。その後、Ar 中でポストアニール (PA: 500 °C, 5 h) を行った。

【結果・考察】 t_{ox} 増加とともに、初期核発生時間が増加する一方、 $t_{ox} > 50$ nm では成長速度が低下した (Fig. 1)。SIMS 測定の結果と合わせると、GeO₂ から Ge 中への酸素拡散が固相成長を遅延させることが示唆された。SEM 像 (Fig. 2(a)–(d)) より、 $T_g = 450$ °C、 $t_{ox} \geq 100$ nm において Ge 膜のクラックが確認された。昇華性の GeO 生成に起因すると考えられる。また、EBSD 像 (Fig. 2(e)–(h)) より、粒径が t_{ox} 、 T_g に大きく依存し、特に $T_g = 375$ °C、 $t_{ox} = 100$ nm において 13 μm に及ぶことが判った (Fig. 2(i))。

t_{ox} の影響を T_g 、正孔密度 p 、正孔移動度 μ の観点から調査した (Fig. 3)。 t_{ox} の増加と共に $t_{ox} < 100$ nm では p が減少し、 $t_{ox} \geq 100$ nm では増加に転じた。これは、 p が結晶粒径と GeO₂ からの酸素拡散による補償のバランスに起因することを示唆している。また、 μ は p (不純物散乱) を反映した傾向を示した。PA による欠陥低減を重畳することにより、全 t_{ox} に対し p の低減および μ の向上が見られた。

ポリイミド基板上 Ge 薄膜 (300 nm) の断面 TEM 評価により、熱処理後も積層構造を維持しつつ、積層欠陥や転位を有しないことが判る (Fig. 4(a),(b))。基板との熱膨張差が小さいことに起因して、 μ (690 $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$) はガラス上 Ge 膜を凌駕した。絶縁体基板上に低温合成したあらゆる薄膜[3–7]の中で最高であるほか (Fig. 4(c))、単結晶 Si[8]を上回る点も魅力であり、優れたフレキシブル・デバイスの開拓が期待される。

[1] K. Toko *et al.*, *Sci. Rep.* **7**, 16981 (2017). [2] T. Imajo *et al.*, *APLEX* **12**, 015508 (2019). [3] K. Toko. *et al.*, *Solid-State Electron* **53**, 1159 (2009). [4] W. Takeuchi. *et al.*, *APL* **107**, 022103 (2015). [5] M. Tatsuo *et al.*, *Thin Solid Film* **508**, 346 (2006). [6] Hirashita. *et al.*, *APLEX* **1**, 1014011 (2008). [7] J.-H. Park. *et al.*, *APL* **104**, 252110 (2014). [8] J. C. Irvin and S. M. Sze. *Solid-State Electron*, **11**, 599 (1968).

Fig. 1. GeO₂ thickness t_{ox} effect on the SPC rate of Ge.Fig. 2. t_{ox} dependence of the surface and grain morphology. (a)–(d) SEM images, (e)–(h) EBSD images and (i) average grain size.Fig. 3. t_{ox} dependence of the electrical properties of the poly-Ge layers. (a) Hole concentration p and (b) hole mobility μ .Fig. 4. Characterization of the cross-section of the Ge layer grown on plastic after PA. (a) EDX elemental map and (b) bright-field TEM image. (c) Comparison of the μ and p of Ge on insulators.