

## IV族混晶薄膜の固相成長における前駆体変調効果

Precursor modulation effects on solid-phase crystallization  
of Group IV semiconductor alloy thin films

筑波大院 数理物質 <sup>○</sup>溝口拓士, 今城利文, 末益崇, 都甲薫  
Univ. of Tsukuba <sup>○</sup>T. Mizoguchi, T. Imajo, T. Suemasu, and K. Toko  
E-mail: mizoguchi.takuto.sj@alumni.tsukuba.ac.jp

**【はじめに】**我々は絶縁体上のGe固相成長において、加熱堆積により前駆体の密度を制御することで、多結晶Ge薄膜の劇的な大粒径化を実現した<sup>[1]</sup>。くわえて、共蒸着によるSb添加<sup>[2]</sup>や堆積後の焼締<sup>[3]</sup>がGe膜質に影響することを明らかにした。今回、本法がIV族混晶に与える効果を包括的に調査した。

**【実験方法】**石英上に、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $x$ : 0-1)および $\text{Ge}_{1-y}\text{Sn}_y$  ( $y$ : 0-0.04)前駆体(150 nm)を分子線で加熱堆積した。Sbは共蒸着により添加した。堆積後、同一真空チャンバー内で焼締を行い、 $\text{N}_2$ 中にて熱処理を施すことで固相成長を誘起した。堆積温度 $T_d$ 、焼締温度 $T_{\text{PDA}}$ 、固相成長温度 $T_{\text{SPC}}$ は、組成に応じて変調した(Table 1)。

**【結果・考察】**Fig. 1(a)に、各組成の前駆体が結晶化する $T_d$ 、 $T_{\text{SPC}}$ を整理した。加熱堆積によって結晶化に要する $T_{\text{SPC}}$ が低下することが判る。これは前駆体の高密度化が結晶化を促進するためであると推察される。熱処理後のラマンスペクトルは、組成に応じた結晶ピークを示した(Fig. 1(b))。結晶粒径を評価した結果(Fig. 2)、焼締を行った試料において、高Si組成では膜中の酸素濃度低減を反映して大粒径化した一方、高Ge組成では固相成長時の核発生促進に起因して小粒径化した。また、Sb添加により原子のマイグレーションが促進され、全組成において粒径が拡大した。

Sb無添加の試料は、Ge中の欠陥誘起アクセプタに起因してp型伝導を示した。正孔密度 $p$ は、焼締により幅広いSiGe組成で低減したが、全てのGeSn組成で増加した(Fig. 3(a))。これは焼締による粒径変化が組成により異なるためである。正孔移動度 $\mu_h$ は、 $p$ が低減した組成において、粒界障壁の増大と正孔の有効質量を反映して減少した(Fig. 3(b))。一方で、Sbを添加した試料は全組成でn型伝導を示し、活性化率を反映して高Si組成ほど電子密度 $n$ が増加した(Fig. 3(c))。電子移動度 $\mu_e$ は粒径と電子の有効質量を反映し、Geにおいて最も高くなり、Si、Sn組成の増加とともに減少した(Fig. 3(d))。

以上、固相成長における前駆体変調が、IV族混晶薄膜の特性にも影響を与えることを見出した。

[1] K. Toko *et al.*, *Sci. Rep.* **7**, 16981 (2017).

[2] D. Takahara *et al.*, *APL* **114**, 082105 (2019).

[3] T. Mizoguchi *et al.*, *APEX* **13**, 101005 (2020).

Table. 1 Process temperature for each composition.

	$T_d$ [°C]	$T_{\text{PDA}}$ [°C]	$T_{\text{SPC}}$ [°C]
Si	600	700	650
$\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$	350	650	600
$\text{Si}_{0.4}\text{Ge}_{0.6}$	250	600	550
$\text{Ge}_{1-y}\text{Sn}_y$	125	500	450

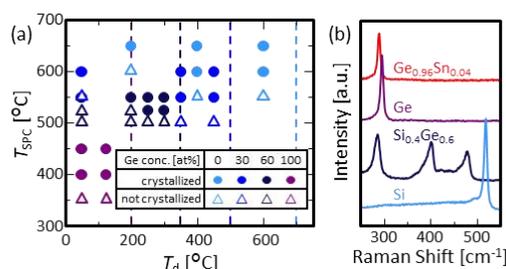


Fig. 1 (a)  $T_d$  and  $T_{\text{SPC}}$  required for crystallization. Here, dotted lines mean nucleation temperature during deposition. (b) Raman spectra after SPC for each composition.

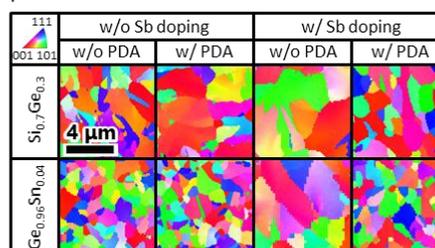


Fig. 2 EBSD images of  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  and  $\text{Ge}_{0.96}\text{Sn}_{0.04}$  samples with or without PDA and Sb doping.

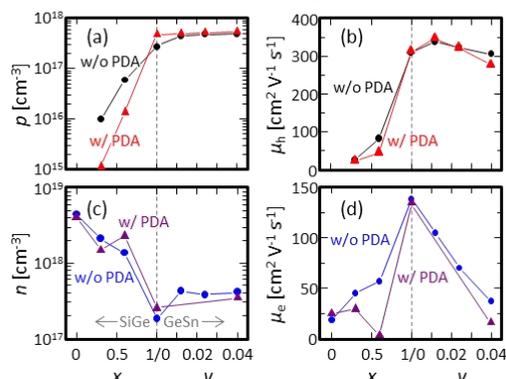


Fig. 3  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  and  $\text{Ge}_{1-y}\text{Sn}_y$  composition dependence of (a)  $p$ , (b)  $\mu_h$  of the samples without Sb doping and (c)  $n$  and (d)  $\mu_e$  of the samples with Sb doping.