

機械学習を用いた金属誘起成長による Ge 薄膜の結晶粒界制御

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

高速薄膜トランジスタの実現を目指し、絶縁体上で多結晶Ge薄膜を低温合成する研究が活発化している。その中で、配向性・粒界が制御された擬似単結晶の創出に向けて、金属誘起横方向成長 (MILC: Metal Induced Lateral Crystallization) が検討されている。しかし、これまで粒界制御はおろか、1 μm を超える結晶粒の合成すら達成できていない[1]。これは、MILCの成長速度向上とMILCの成長を阻害する自然核の密度低減を両立することが困難なためである。一方、我々は固相成長の前駆体となる非晶質を加熱堆積し、密度を制御することで多結晶Geの大幅な高移動度化を達成し、さらに歪みによって粒界特性が変化することを発見した[2]。今回、本手法をMILC-Geに応用し、最大10 μm の粒界制御多結晶Geの合成に初めて成功したので報告する[3]。

■ 活動内容

【実験手法】

試料構造をFig. 1(a)に示す。石英ガラス基板の上に、堆積温度と膜厚を変調した3層の非晶質Geを堆積した。このとき、3層の合計膜厚は50 nmに統一した。その後、幅1 mmのAuパターンをスパッタリング堆積とリソグラフィで形成した。続いて、これらの試料をN₂中で熱処理(375 $^{\circ}\text{C}$, 50 h)し、MILCを誘起した (Fig. 1 (b))。

【結果・考察】

まず、クラスタリング手法であるUMAPを用いて、作製したGe層の構造を分類した。そして、そのクラスタリング結果にMILCの成長速度、および自然核の密度を対応付けた (Fig 2 (a-b))。その結果、膜構造は5つに分類されるとともに、膜構造が特性に大きく影響していることが明らかとなった。特に、c₃のクラスターでは、高い成長速度と低い核密度を両立していることが判る。このクラスターではTop層とBottom層を室温で堆積しており、それによって表面、および基板界面での核発生を抑制したと考えられる。この膜構造において、長時間熱処理(150 h)を行った際の逆極点図方位像を示す (Fig. 3(a))。Au/Ge界面より100方向に優先配向したMILC-Geが横方向成長しており、配向・粒界制御されていることが判る。さらに、MILC長は10 μm に達しており、これは薄膜トランジスタ应用到に十分な長さである。さらに、この結果をプラスチック基板上に展開した結果、柔軟性と粒界制御の両立を達成した (Fig. 3(b))。本研究では、機械学習を用いた条件最適化により、10 μm のMILC-Geを初実証し

た。当日は、24種類の金属触媒における結果を比較し、MILC-Geの原理から応用まで包括的に議論する。

■ 参考文献

- [1] M. Itakura et al., *Appl. Phys. Lett.* 96, 182101 (2010)
- [2] K. Igura et al., *Scientific Reports*, 14, 7812 (2024).
- [3] K. Igura et al., *Crystal Growth & Design*, 24, 6142 (2024)

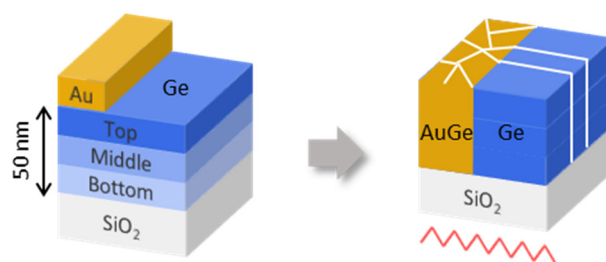


Figure 1. Schematic of the sample. Deposition temperature and thickness are modulated for the Top, Middle, and Bottom layers, respectively. Total thickness of those layers is 50nm.

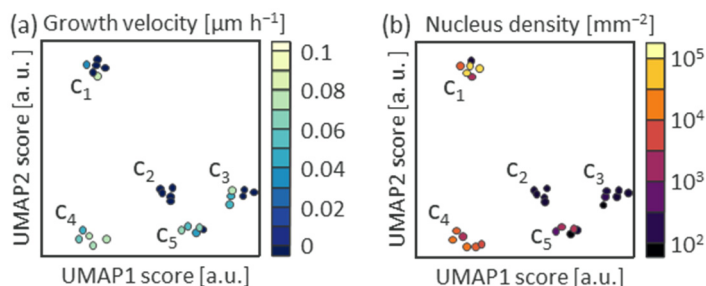


Figure 2. Results of clustering sample structures using UMAP, where the color of the plots corresponds to the (a) growth velocity and (b) nucleus density after 50 h annealing.

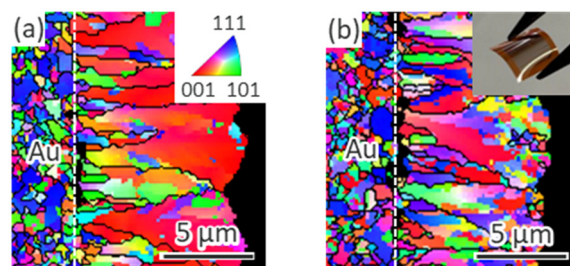


Figure 3. Inverse pole figure image of the sample formed on (a) SiO₂ and (b) polyimide after 150 h annealing, where the deposition temperatures of the top and bottom layers are fixed at room temperature.

代表発表者 居倉 功汰(いぐら こうた)
所属 筑波大学大学院 数理工学科学研究群
応用理工学学位プログラム
問合せ先 〒305-0005 茨城県つくば市天王台 1-1-1
TEL: 029-853-5472

■キーワード: (1) 薄膜トランジスタ
(2) 機械学習
(3) IV 族半導体
■共同研究者: (1) 前田 真太郎 筑波大学
(2) 石山 隆光 筑波大学
(3) 末益 崇 筑波大学
(4) 都甲 薫 筑波大学