

2014年 第75回秋季学術講演会シンポジウム報告：分科企画シンポジウム 絶縁膜上におけるIV族系半導体結晶薄膜の低温成長 － 新しい結晶成長技術への期待 －

本シンポジウムは、大分類13「半導体A(シリコン)」の分科企画シンポジウムとして、9月17日に開催された。前半の座長は近畿大・浜田、後半の座長は兵庫県立大・松尾が担当し、100名以上の参加者を得て、活発な質疑応答が交わされた。

次世代の高性能ディスプレイ(システム・イン・ディスプレイ)、異種機能デバイスを混載した三次元集積回路、高効率タンデム型薄膜太陽電池等の実現には、絶縁基板(ガラス、プラスチック等)や絶縁膜(SiO_2 等)上におけるIV族系半導体(Si, Ge, SiGe, GeSn等)の低温成長技術の確立が必須である。特に、極低温($\leq 250^\circ\text{C}$)での結晶成長技術は、新たな潮流となりつつある、ウェアラブルなフレキシブル・エレクトロニクス等の創成に向けた基盤技術としても期待される。

このような背景の元、本シンポジウムでは、IV族系半導体薄膜の低温成長技術の分野で活躍されている研究者の方々に最新の研究成果を紹介頂き、この分野の技術動向を俯瞰すると共に、将来展望を議論した。今後のこの分野の活性化につながる企画であった。

1. 新しい加熱源を用いた結晶成長法

半導体薄膜への局所的な加熱プロセスを用いれば、基板への熱負荷を軽減できる。この様な観点から、新しい加熱源を用いた結晶成長法の開発が進んでいる。

琉球大・野口は、ブルーレーザダイオードアニール法を用いれば、レーザ強度を変調することで、ガラス基板上に広範囲に結晶粒径を制御したSi薄膜が実現することを示した。従来のエキシマレーザアニール法に比べ、加熱時間が長いことに起因するメリットである。広島大・東は、大気圧熱プラズマ法を用いたガラス基板上におけるSi結晶化プロセスのダイナミクスを熱力学に基づいて詳細に解説するとともに、細線化を重畳して作製した単結晶デバイスの高性能動作を報告した。山口大・河本は、グリーンレーザを用い、プラスチック上に多結晶Si薄膜を形成する手法を紹介するとともに、結晶化に伴い導入される応力について報告を行った。フレキシブルデバイスへ展開する上で有用な成果である。産総研・白田は、LSI製造プロセスで広く利用されているフラッシュランプ法により、大粒径Ge結晶を絶縁膜上に形成するとともに、極めて良好なトランジスタ動作を実証した。Siに比べて高いキャリア移動度と低い融点を有するGeの特徴を活かしたアプローチとして注目される。

2. エネルギービームを用いた結晶成長法

エネルギービームを用いて、非熱的に非晶質膜の原子結合状態を変調すれば、結晶成長に必要なプロセス温度が低減できる。

兵庫県立大・松尾は、軟 X 線照射法を用いて、Si,Ge 原子の内殻を励起してエンブリオを形成し、結晶成長に要する熱処理温度を低減する手法を紹介した。本手法をガラス基板上における SiGe 多層膜の結晶成長に応用し、層間でエピタキシャル的に結晶成長が進行することを報告した。熊本高専・茂藤は、電子線照射法を用いて、非晶質 Ge 薄膜の原子結合状態を変調すれば、結晶成長が高速化することを報告した。ESR 法による不対電子密度の評価結果に基づき、成長促進機構のモデルを提案した。

3. 触媒添加/歪み印加を用いた結晶成長法

触媒添加や歪み印加によっても、原子結合を変調でき、結晶成長温度が飛躍的に低温化できる。その機構の詳細は未解明な点が多いが、新しいアプローチとして、今後の展開が期待される。

Al を触媒として用いた層交換成長法について、筑波大・都甲および名古屋大・黒澤が報告を行った。筑波大・都甲は、試料構造およびプロセス条件を適正化することで、(111) 方位に配向した大粒径 Ge 結晶をプラスチック上に実現した。さらに、状態図に基づいて、触媒金属の選定指針に関する議論を行った。名古屋大・黒澤は、Si の成長を例に取り、試料構造およびプロセス条件を広範囲に変化した膨大な実験結果を基に、成長層の結晶方位を(100)および(111)に制御する指針を明確化した。

九州大・朴、熊本高専・酒井は新触媒として Au に着眼し、低温結晶成長手法に関する報告を行った。九州大・朴は、新触媒(Au)を用いる事で、全 Ge 組成の SiGe の層交換成長温度が低温化できることを報告した。さらに、界面エネルギーを変調することで、(100)および(111)に制御された大粒径 Ge 結晶をプラスチック上に実現した。成長層のキャリア移動度は高く、今後のデバイス応用が期待される。熊本高専・酒井は、Ge の Au 触媒成長に与える応力印加効果を報告した。応力を広範囲に変調した被覆層を用いて実験を行い、成長促進に与える応力印加効果を系統的に解明するとともに、成長温度の極低温(150°C)化を実現した。

この分野の研究が開始されて約 15 年。漸く、絶縁基板上における半導体結晶の面方位制御が実現するとともに極低温成長が可能となった。特筆すべき成果である。

琉球大・野口がクロージングで指摘したように、この分野は実用化が先行し、機構解明が不十分な側面も多い。基板材料も、石英やガラスから、フレキシブルなプラスチックなどへ拡大しており、新たな課題が発生している。今回のシンポジウムがこれら課題の解決の契機となり、新しいIV族系半導体結晶を用いた薄膜デバイス技術の研究開発が加速することを期待する。(敬称略) (九州大・佐道泰造、熊本高専・角田功、山口大・河本直哉)