

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
立命館大学 総合科学技術研究機構	プロジェクト研究員	黒瀬 範子

研究テーマ

省エネハイパワー素子を目指したSi基板上導電性AlN/高品質AlGaIn結晶成長

研究報告

1. 研究の背景と目的

AlGaInを用いた電子デバイスはSi、SiCやGaN材料に比べ優れた物性定数を持つため、AlGaInを用いたパワー素子の実現できれば、Si、SiC、GaNを凌駕する次世代型パワーデバイスを実現できる。我々はAlGaInをSi基板上に結晶成長するうえで必要不可欠なSi基板上の絶縁性AlNバッファ層に新たに自然形成ビアホール（以下Via holeと呼ぶ）を導入しAlNバッファ層を導電化する（以下Via holeによって導電性をもったAlNをv-AlNと呼ぶ）ことに成功し、縦型深紫外LED、縦型光センサー実現が可能であることを原理実証した。本研究は我々が新たに開発したVia hole形成技術並びに最近開発したクラックフリー高品質結晶の自然形成ナノボイド作成法を駆使し、縦型導電性可能なSi基板上高品質、クラックフリーAlGaInエピタキシャル結晶を実現し、省エネ、低炭素Si基板上AlGaInパワー素子実現を試みる。このSi基板上縦型パワー素子はSiオンチップ素子を可能にし、大面積Si基板により、低コストで素子を作製できる大きなメリットがある。

2. 研究成果および考察

我々は上記の目的を達成するためにまず我々が開発したVia hole作製機構を明らかにすることを目指した。

図1にAlNにVia holeを形成する過程を示す。このAlNにおけるVia holeは、Si基板上に有機金属結晶成長（以下：MOCVD）法を用いて行った。想定される形成過程は図1に示すように、まず

- (a) 微少のAl原子を約900度近傍に熱せられたSi基板上に散布する。
- (b) このAlがSi基板を熔融しながらSiと反応しSi-Al合金微少領域を形成する。
- (c) この合金は炉の中の基板上下の温度差の為にAlに融けたSiが部分的に再結晶化をし始める。
- (d) この過程は進行しSi-Al合金の微小部分とSi部分が表面に形成される。
- (e) この上にAlNを結晶成長させるとSi-Al合金とSiの表面エネルギーの差からAlNは選択的にSi部分に成長しAl-Si合金部分には成長せず、微細穴が形成される。
- (f) その上に導電性n-AlGaInを成長させることによりn-AlGaInはこの微細穴を埋めこの穴を通して絶縁性AlNは導電性を持たすことができる（v-AlN層）。

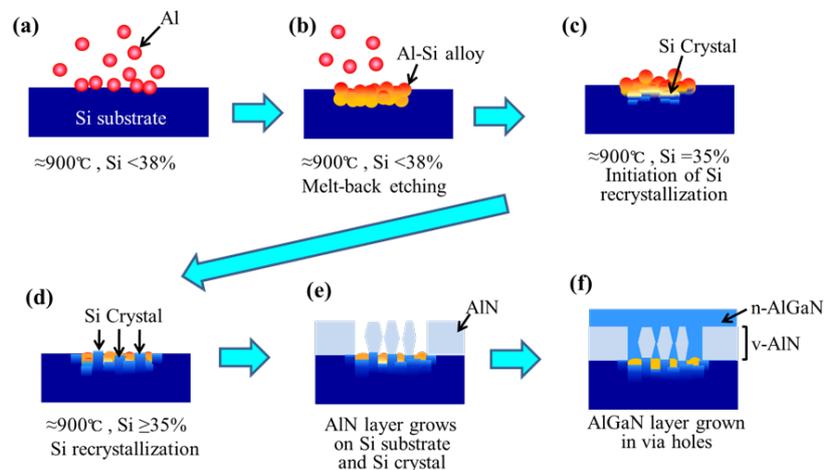


図1 自然形成ビアホール形成機構

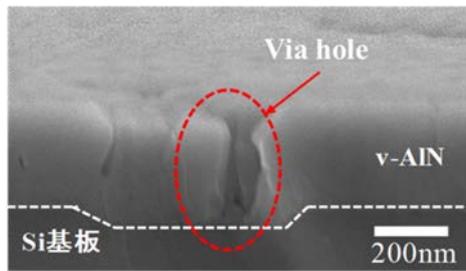


図2 走査型電子顕微鏡で観測されたAlNの微細穴

図2に実際に図2に作製されたAlN微細穴の走査型電子顕微鏡での観測図を示す。微細穴はこの場合は約直径50nmであったが、結晶成長条件によりその微細穴の大きさと数は任意に制御することができた。

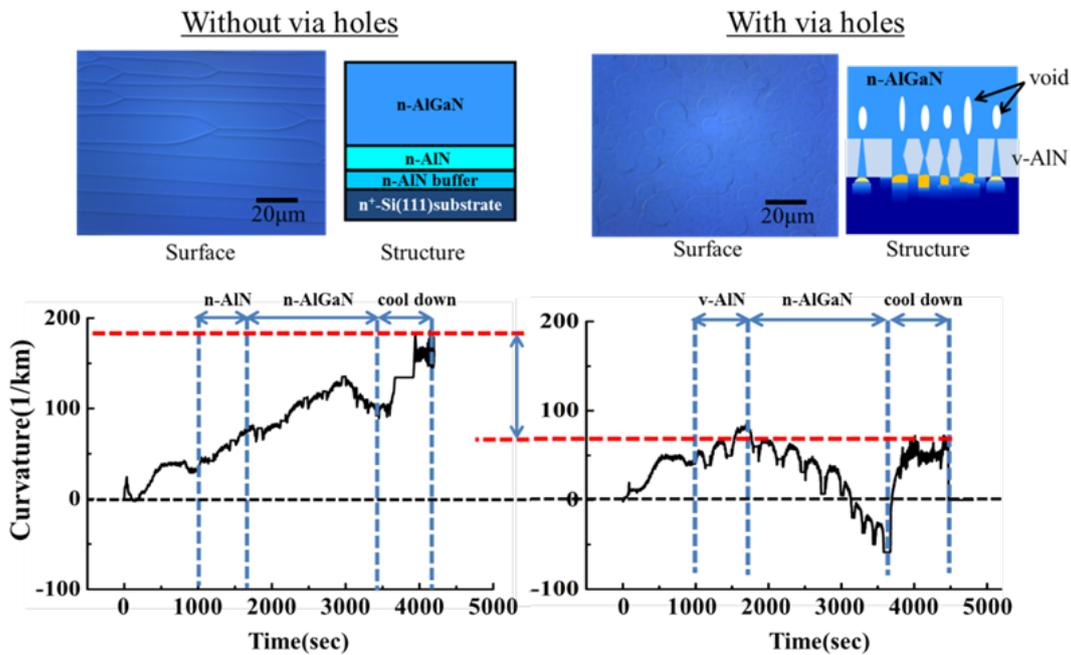


図3 自然形成ビアホールを用いたSi基板上的AlGaInのクラック発生制御

図3にVia holeを用いたSi基板上的AlGaIn層のクラック発生制御の結果を示す。図3の上部はVia holeがある場合並びにVia holeがない場合の顕微鏡写真を、また下部はそれぞれの場合の結晶成長中の基板の反り状態をモニターした結果を示す。本図より明らかなおとおり、Via holeを形成してやると基板の反りを示す反り指数は80/kmまでしか上昇せず、その後は下降に転じクラック発生が結晶成長中に緩和されていることがわかる。一方Via holeがない場合は反り指数は上昇を続け200/kmまで行き、急激な反り指数の変化が観測されクラックが結晶成長中に入るということがわかった。

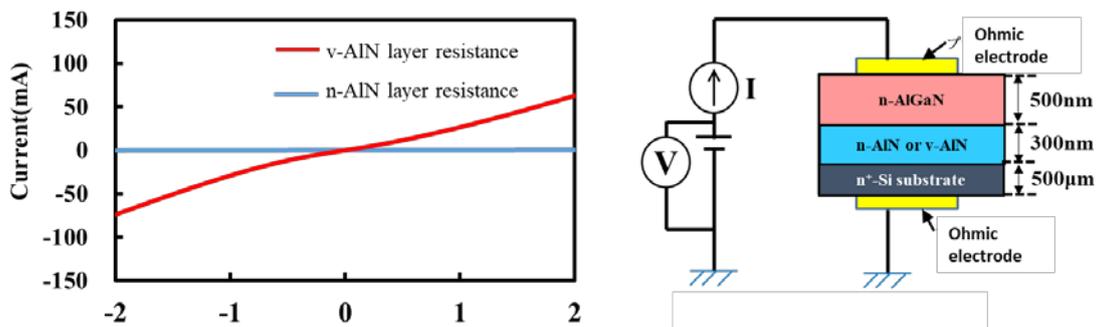


図4. 導電性微細穴を持ったAlNと持たないAlNでの導電特性

図4にVia holeを作製した場合のAlNの導電特性と作製しない場合の導電特性を示す。青色の特性はVia

holeを形成しない場合でほとんど電流は流れない。しかしVia holeを形成することによりAlNは赤色の線で示すように素子抵抗値は約100分の一になり素子に縦方向にAlNを挟んで電流を流すことができる事がわかった。

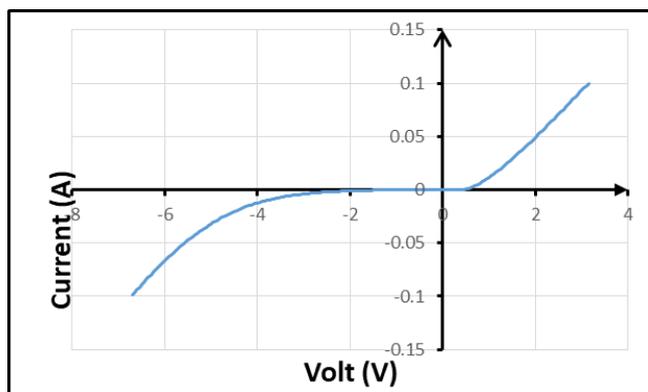


図5 作製したショットキーダイオードの電流電圧特性

Via hole作製機構とv-AlN層の導電性を明らかにできたので、これらを使ったAlGaIn縦型ショットキーダイオードを作製した。図5に作製したAlGaIn縦型ショットキーダイオードの電流電圧特性を示す。図から明らかな通りショットキー特性を明瞭に示しており、本技術によりSi基板上にAlGaIn縦型デバイスが実現可能であることが実証された。

3. 将来展望

本研究によりSi基板上AlGaInパワーデバイス実現には必要不可欠な縦型デバイスが我々の開発したVia holeの自然形成法により実現できる事がわかった。本方法により縦型窒化物半導体デバイスに新たな未来が開けた。

4. 研究発表

1. Realization of conductive AlN epitaxial layer on Si substrate using spontaneous nano via-hole cluster, N. Kurose, K. Ozeki and Y. Aoyagi, J. Appl. Phys. (2018) to be submitted in JAP.
2. N. Kurose and Y. Aoyagi, Formation of spontaneous nano-size via-holes to grow conductive AlN buffer layer on Si substrate for vertical AlGaIn high power FET, 18th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, San Diego, California, USA, 2016/7/10-15.
3. 黒瀬範子、尾関宏太、荒木努、青柳克信、Si基板上縦型高出力AlGaIn FET実現を目指した導電性AlNバッファ層 (v-AlN層) の形成、応用物理学会秋季学術講演会2016 シンポジウム、新潟 2016/9/12-16.