

表面活性化接合により作製した GaN 分極反転積層構造の接合強度評価

Bonding Strength of Polarity-Inverted GaN Structure Fabricated by Surface-Activated Bonding

阪大院工, °田辺 凌, 横山 尚生, 上向井 正裕, 谷川 智之, 片山 竜二

Osaka Univ., °R. Tanabe, N. Yokoyama, M. Uemukai, T. Tanikawa, R. Katayama

E-mail: tanabe.r@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

ウエハ接合技術を用いると、格子定数や結晶方位の異なる層同士を積層構造させることができる。窒化物半導体は c 軸方向に大きな自発分極を有するため、GaN 同士のウエハ接合により極性を反転させ積層することで、高効率な波長変換デバイスの作製が可能となる[1]。これまでにチャネル導波路型光集積デバイスの作製を目的とし、Si 基板上 GaN 薄膜とサファイア基板上 GaN 薄膜を表面活性化接合により貼り合わせ、Si 基板を除去することでチャネル導波路の試作に成功した[2]。しかし、Si 基板を除去するときに GaN 薄膜が部分的に剥離する場合も見受けられ、安定した転写プロセスが確立していない。光集積デバイスを実現するためには、大面積の薄膜接合技術が求められ、接合強度が十分大きい必要がある。本研究では、引張試験を用いて接合強度を定量的に評価し、最適な接合条件を探索した。

接合強度は、試料の反りと表面粗さによって変化することが予想される。反りの影響を除去するため、反りがなく平坦な GaN 基板を用いた。GaN 基板の曲率は-19 /km(下に凸)で RMS 粗さは 0.28 nm である。貼り合わせる前に基板を 5 mm 角と 6 mm 角に加工し、+c 面同士を接合した。接合直前に真空中で Ar 原子ビームを照射し表面を活性化させ、温度 240 °C、圧力 5.9 MPa、圧力印加時間 270 分で接合した。Ar ビーム電流を 200 mA で一定とし、加速電圧と Ar 照射時間を変化させ接合強度を比較した。加速電圧 1.0 kV で Ar 照射時間を 100~1200 秒とした試料と、加速電圧 1.8 kV で Ar 照射時間 150~180 秒とした試料を接合した。その後、試料を治具に固定し引張試験機を用いて接合強度を評価した。Ar 照射時間と接合強度を Table.1 に示す。加速電圧 1.0 kV では Ar 照射時間 200~400 秒、加電圧 1.8 kV では Ar 照射時間 150 秒の試料のみ引張試験で大きな接合強度が得られた。それ以外の試料では 0.2 MPa 未満の小さな引張圧力で容易に剥離した。この結果は、加速電圧 1.0 kV では Ar 照射時間 300~400 秒付近に、加速電圧 1.8 kV では Ar 照射時間 150 秒付近に大きな接合強度を得るための最適値が存在することを示唆している。Si 基板同士の表面活性化接合における接合強度は 8 MPa 程度であり[3]、本研究で得られた接合強度 10 MPa 以上はこれに匹敵することがわかる。この結果から、+c 面同士の接合においても Ar ビーム照射時間を最適化して表面活性化接合させることで理想的な Si 基板同士と同程度の大きな接合強度を有することがわかった。また、5 mm 角のサファイア基板上 GaN 薄膜(曲率 55 /km(上に凸)、RMS 粗さ 1.84 nm)の+c 面同士を類似の条件で接合した場合、接合強度はおおよそ 0.3 MPa であった。この結果と比較すると、反りと表面粗さが低減された GaN 基板を用いることで接合強度が 10 倍以上となることが分かり、接合強度の増加には試料の反りと表面粗さの低減が必要であることが明らかとなった。当日は、表面活性化条件により変化する表面平坦性と接合強度との相関に関して議論し、条件最適化による大面積化の試みに関して報告する。

謝辞:本研究の一部は、科研費 JP16H06415、JP16H06416、JP17H01063、JP17H05335、JP19H02631、JP19H04543 の支援を受けた。活性化接合はアユミ工業小田智弘様のご協力のもと実施した。

[1] 山口他, 応物春 17a-E202-1 (2018). [2] 小野寺他, 応物春 17a-E202-2 (2018). [3] J. Xu *et al.*, RSC Adv. 8, 11528 (2018).

Table 1: Bonding strength of GaN/GaN in Ar-activated direct bonding.					
Acceleration Voltage (kV)	Irradiation time (sec)	Bonding strength (MPa)	Acceleration Voltage (kV)	Irradiation time (sec)	Bonding strength (MPa)
1.0	100	< 0.2	1.8	150	7.4
	200	5.3		165	< 0.2
	250	7.0		180	< 0.2
	300	10.9			
	350	5.1			
	400	11.1			
	600	< 0.2			
	1200	< 0.2			