

GaN 薄膜のき裂連鎖法による剥離

内田航平^{*1}, 遠藤涼平^{*1}, 都田海人^{*1}, 山田洋平^{*1}, 池野順一^{*1}

Delamination of GaN Thin Films Using the Crack-Chain Method

Kohei UCHIDA, Ryohei ENDO, Kaito MIYAKODA, Yohei YAMADA and Junichi IKENO

Key words : laser lift-off, GaN thin film, galvanometer scanner, crack propagation, low-damage machining

1. 緒 言

現在、半導体はデジタル社会の基盤を支える重要な役割を果たしている。なかでも窒化ガリウム(GaN)は、高い耐圧性と優れた高速スイッチング特性により、従来のSi基板に代わる次世代パワー半導体材料として実用化が進んでいる。GaN薄膜はSi基板上に結晶成長させた後、研削、研磨、洗浄等の多くの工程を経て基板化されるが、これらの工程では材料損失、工具摩耗、スラリー廃液による環境負荷が課題として指摘されている。

そこで本研究では、GaN薄膜とSi基板の界面近傍にレーザを照射してき裂を生成、連結させることで薄膜を剥離するレーザ剥離技術を提案してきた¹⁾。本手法はSi基板へのダメージが少なく基板の再利用が可能であり、工具摩耗も生じないため、上記の課題の解決につながると期待される。図1に加工前後の試料断面の模式図を示す。

先行研究²⁾では、ガルバノスキャナを用いた高速走査により、パルス照射間隔であるドットピッチ(DP)を30μmとした全面加工でGaN薄膜の自然剥離を達成した。しかし、このときの加工痕深さは約0.9μmであり、厚さ1μmのバッファ層に対して余裕が0.1μmしかなく、GaN単層への熱影響によるダメージが懸念された。

そこで本研究では、一度生成したき裂の上にレーザを照射するとき裂の伸展が安定化する現象に着目し、単独ではき裂を生成できない低出力によるき裂伸展を利用した、より低ダメージな剥離手法(以下、き裂連鎖法と呼ぶ)を提案する。

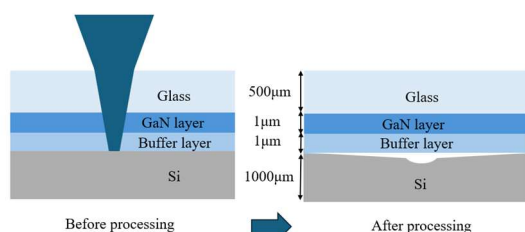


図1 GaN 薄膜/Si 基板の断面模式図

2. 実験装置および先行研究の概要

実験にはナノ秒ファイバーレーザ(波長 1064 nm, パルス幅 20 ns, 発振周波数 20 kHz)を用い、ガルバノスキャナとfθレンズ(焦点距離 175.5 mm, スポット径 φ0.1 mm)により試料界面を直線走査した。試料はSi基板上にバッファ層(厚さ1μm)を介してGaN薄膜を成長させたものである。なお、レーザ照射に伴いGaN薄膜が飛散することが先行研究で確認されたため、GaN薄膜表面には厚さ500μmのガラスを接合し、薄膜の飛散防止と剥離後の保持を行っている。試料寸法はガラスを含め10 mm×10 mm×約1.5 mmである。

先行研究では、レーザ出力12 WにおいてDPを15~45 μmの範囲で変化させ、加工痕周囲のき裂の広がりを調査した。その結果、DP 30 μmにおいて1ラインあたり約110 μmのき裂伸展が得られ、ラインピッチ(LP)220 μmの全面加工により自然剥離に成功した。一方で前述の通り、加工痕深さがバッファ層厚さの限界に近いことが課題として残された。

3. き裂上照射によるき裂伸展の安定化

1ライン加工中のき裂の伸展をレーザ顕微鏡によりガラス側から観察したところ、図2(a)に示すように、一度き裂が生成すると、後続のレーザ照射に伴いき裂が連続的に伸展していく様子が確認された。これは図2(b)に示すように、既存のき裂上へレーザを照射することがき裂の伸展を安定化させているためと考えた。この現象を利用すれば、き裂を単独では生成できない低出力でも、既存き裂を起点として伸展のみを進行させることができ、熱影響の小さい低ダメージ加工が期待できる。

そこで次の実験を行った。まず出力13.4 Wの1ライン加工により初期き裂を安定して生成する。次に、1ライン加工ではき裂が発生しない出力9.4 Wを既存き裂の上方に照射し、加工痕中心からの距離を変化させてき裂伸展への影響を観察した。

図3(a)に、13.4 Wの加工痕中心から100 μm上方の位置へ9.4 Wで照射した様子を示す。き裂はさらに120 μm伸展した。一方、図3(b)に示す9.4 W単独の1ライン加工ではき裂が生じなかった。つまり、単独ではき裂を生成できない低出力であっても、既存のき裂上への照射によりき裂を安定して伸展させられることを確認した。この結果から、き裂の有無によって界面でのレーザの吸収状態が変化していると考えられる。き裂

^{*1} 埼玉大学: 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255
Saitama University

のない界面では 9.4W の照射で吸収されるエネルギーはき裂の生成には不足していた。しかし、き裂上においてはレーザーの吸収率が向上するため、同じ出力であってもエネルギーがき裂部で吸収される。これにより熱応力が生じ、き裂先端に引張応力が作用し、き裂が伸展したと考えられる。さらに、伸展により形成された新たなき裂面が後続の照射の吸収に寄与するため、低出力の照射を繰り返すことでき裂は連鎖的に伸展する。

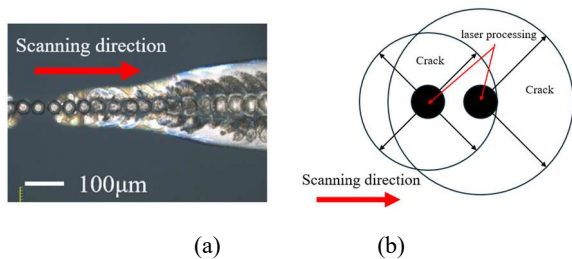


図2 1ライン加工中のき裂伸展の観察

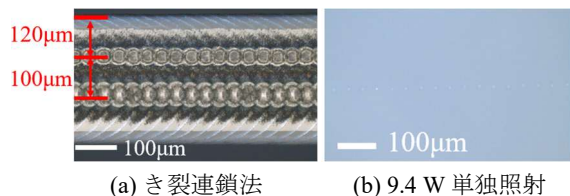


図3 既存のき裂上への照射によるき裂伸展

4. き裂連鎖法による全面加工と剥離

き裂連鎖法による加工痕深さと剥離の可能性を調べるため、全面加工を行った。まず試料最下端に 13.4 W を照射して初期き裂を生成し、その 100 μm 上方に 9.4 W を照射してき裂を伸展させた。以降はき裂の伸び量を考慮して LP を 80 μm とし、9.4 W の照射を繰り返すことでき裂を全面に伸展させた。

図4に全面加工後の様子を示す。き裂を全面に伸展させることには成功したが、自然剥離には至らなかった。この原因として、加工痕周囲に堆積した溶融 Si が接着剤のような役割を果たし、剥離を妨げていることが考えられる。先行研究の自然剥離条件(LP 220 μm)と比較して LP が 80 μm と狭く、単位面積あたりの加工痕数が増加したことで接着力が増大したと推察される。剥離試験機による剥離力は 174 N であり、LP を広げることで剥離力は低減していくと推測される。

図5に剥離後の GaN 表面の観察像と断面プロファイルを示す。加工痕深さは約 0.4 μm であり、先行研究の手法(約 0.9 μm)と比較して約 56 %の低減に成功した。また図6に Si 表面の観察像と断面プロファイルを示す。加工痕深さは約 0.3 μm であるが、表面には加工痕の内外にわたり細かな凹凸が全体的に広がっており、先行研究と比較して起伏の大きい表面形状となっている。これは、高出力加工では加工部の大部分が気化して Si が加工痕周囲へ堆積するのにに対し、低出力では気化に至らず溶融にとどまる部分が生じ、Si が加工痕内に残留するためと考えられる。

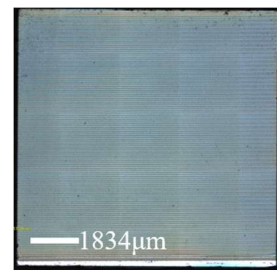


図4 き裂連鎖法による全面加工後(剥離前)の様子

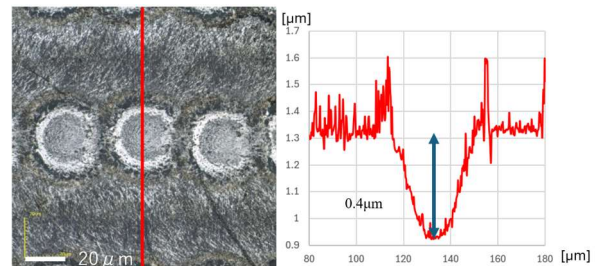


図5 剥離後の GaN 表面と断面プロファイル

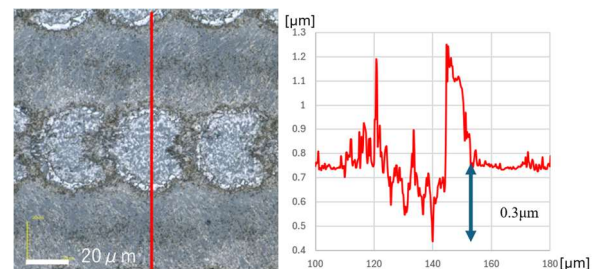


図6 剥離後の Si 表面と断面プロファイル

5. 結 言

本研究では、既存き裂上へのレーザー照射によりき裂伸展が安定化する現象を利用し、単独ではき裂を生成できない低出力による GaN 薄膜の低ダメージ剥離手法を提案した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 出力 9.4 W の単独照射ではき裂は生成しないが、既存き裂の 100 μm 上方への照射によりき裂を 120 μm 伸展させられることを確認した。
- (2) き裂連鎖法による全面加工でき裂を全面に伸展させ、剥離力 174 N での剥離に成功した。剥離後の加工痕深さは約 0.4 μm であり、先行研究比で約 56 %低減した。
- (3) 自然剥離に至らなかった原因は、狭い LP に伴う溶融 Si 堆積の接着作用と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 滑川 大翔, 遠藤 涼平, 山田 洋平, 池野 順一: GaN 薄膜のレーザー剥離技術に関する研究, 2025 年度精密工学会学術講演, (2025) 292.
- 2) 遠藤 涼平, 内田 航平, 山田 洋平, 池野 順一: GaN 薄膜のレーザー剥離技術, 2026 年度精密工学会春季大会, (2026) 516.