

化合物半導体 GaAs の超精密切削加工

北見工業大学 ○岩本 健, 田牧純一, 久保明彦, 杉野 豪
東北大学工学部 閻 紀旺

要 旨

Ⅲ-V族化合物半導体である GaAs は Si に比べ高集積化に適した材料である。本報告では、GaAs(100)面の切削加工特性を調べるために、ダイヤモンド平バイトを用いた超精密切削実験を行った。その結果、切削加工面には脆性モード加工面と延性モード加工面の二つが観察されること、すべての結晶方位で完全な延性モード切削が得られる臨界切取り厚さは 50 nm より小さい値であることがわかった。また、GaAs の延性モード加工を実現する切削条件の領域は、同じⅢ-V族化合物半導体である InP に比べて狭いことがわかった。

1. 緒 言

Ⅲ-V族化合物半導体はトランジスタや発光ダイオード、LSI の材料として非常に重要視されている。化合物半導体の特徴は、Si に比べて高速動作が可能であることと光の受発光が可能であることである。最近では、単結晶 GaAs が次世代無線通信および光通信の材料として注目されている。そのため、GaAs 基板加工の高精度化・高品質化が極めて重要となる。一方、GaAs は硬脆材料であるため、通常の加工条件では加工面に脆性破壊が生じる。高品質な延性モード切削面を得るためには脆性・延性遷移の臨界加工条件や結晶異方性の影響等を解明する必要がある。そこで、本報告では、ダイヤモンドバイトを用いて単結晶 GaAs の超精密切削実験を行い、基本的な切削加工特性を検討した。

2. 実験概要

2.1 切削方式

本研究では、図 1 に示すように単結晶ダイヤモンド平バイトを用いて正面切削を行った。平バイトを用いた場合、切取り厚さ h は刃先から刃元まで一定となるため切削状態が一樣となる。送り量を f 、切込み角を κ とすると、切取り厚さ h は次式で与えられる。

$$h = fs \sin \kappa$$

したがって、切込み角 κ を小さく設定すれば送り f を微小にすることなく h を脆性・延性遷移臨界切取り厚さ d_c 以下に設定することができる。

2.2 実験装置

加工機械には、㈱不二越製 XZB-3 軸同時制御の非球面加工機 ASP-15 を使用した。図 2 に実験装置の概要を示す。主軸は空気静圧軸受により支持されており、最大回転数は 2500 rpm である。X,Z 軸のテーブルには高剛性でかつ減衰性の高い油静圧案内と油静圧ねじを採用しており、機械的な接触部を持たない位置決め機構になっている。各軸は、AC サーボモータによって駆動される。テーブルの位置設定にはレーザースケールによるフルクロード制御を用いており、最小設定単位は 10 nm/step である。

3. 実験条件

使用した試料は直径 50 mm、厚さ 450 μm の単結晶 GaAs(100)面である。主軸の回転数を 1000 rpm、ダイヤモンドバイトのすくい角を -20° 、逃げ角を 26° に設定し、送り量 f を変化させることによって切取り厚さ h を変え、乾式で切削を行った。

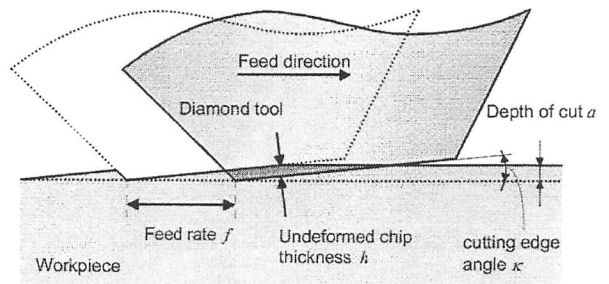


図 1 平バイトによる切削モデル

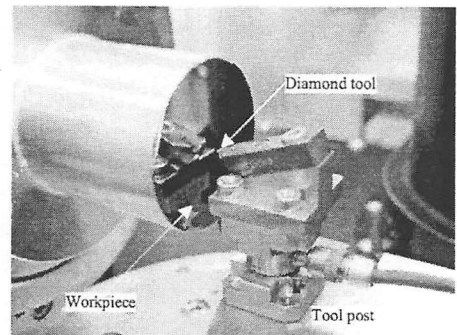


図 2 切削実験装置の概要

表 1 実験条件

工作物	単結晶 GaAs(100)面 ϕ 50mm
すくい角	-20°
逃げ角	26°
切込み角 (κ)	0.5°
送り量 (f)	2.3 ~ 22.9 $\mu\text{m}/\text{rev}$.
切込み量 (a)	2 μm
切取り厚さ (h)	20~200 nm
主軸回転数	1000 rpm
切削環境	乾式

4. 実験結果

4.1 結晶方位と加工特性

切取り厚さを $h = 20, 50, 100, 150, 200$ nm の 5 段階に変化させて切削実験を行った。図 3 に切削表面の全体写真を示す。結晶方位と切取り厚さの変化によって加工表面は異なった様相を示し、脆性領域 (灰色に見える部分) と

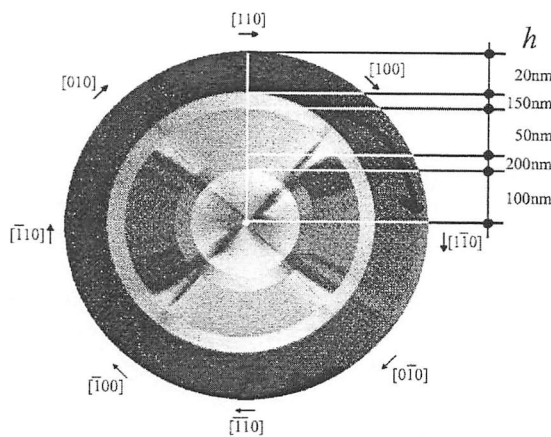


図3 GaAsの加工表面写真

延性領域（黒く見える部分）が混在している。切り取り厚さが $h = 100 \text{ nm}$ 以上の領域では、ほぼ完全な脆性領域となったが、 $[100]$ 、 $[\bar{1}00]$ 、 $[010]$ 、 $[0\bar{1}0]$ 方向に十字型の延性領域が観察された。 $h = 50 \text{ nm}$ の場合には、切削面の表面形態が円周方向によって異なり、羽根車状の模様が見られた。

図4は、図3の結果を切り取り厚さ h で整理し、その加工パターンを模式図で表現したものである。図4(a)にはGaAsの結果を、図4(b)には比較のためにInPの結果¹⁾を示している。図中で黒い部分は脆性破壊が著しく観察された領域、斜線部分は脆性破壊が少ない領域、白い部分は延性モードで加工された領域を示す。

切り取り厚さが $h = 100 \text{ nm}$ の場合、GaAs加工面はほぼ脆性モードで構成されているが、InP加工面には一部に延性加工領域が存在している。切り取り厚さが $h = 50 \text{ nm}$ の場合、GaAs加工面には $\langle 010 \rangle$ 方向から $\langle 100 \rangle$ 方向にわたって脆性破壊が発生しているが、InP加工面には脆性破壊の少ない領域だけが観察され、その領域はGaAsに比べて狭い範囲に存在している。InPの場合、同じ脆性破壊モードであっても脆性破壊の著しい領域と少ない領域の2領域が観察されたが¹⁾、GaAsの場合、脆性破壊の著しい領域だけが観察された。切り取り厚さが $h = 20 \text{ nm}$ の場合には、GaAs、InPともに加工面全面が延性モード領域となっている。図5は切り取り厚さ 20 nm の時の切り屑である。断続的ではあるが、流れ型に近い切り屑が得られており、延性モード切削が行われたことを裏付けている。以上の結果より、GaAsはInPに比べて延性モード切削が難しい材料であることがわかる。

4.2 切り取り厚さと加工特性

加工特性に及ぼす切り取り厚さの影響を検討するため、特定の結晶方位に注目して加工表面の観察を行った。

図6は、切り取り厚さ $h = 50, 150 \text{ nm}$ で切削した時の加工面を $[\bar{1}10]$ 方向に注目して微分干渉顕微鏡で観察した写真である。 $h = 150 \text{ nm}$ の場合には脆性破壊が著しく発生しており、加工表面は梨地面となっている。それに対し、 $h = 50 \text{ nm}$ の場合には脆性破壊が全く見られず切れ刃の転写による滑らかな表面形態が得られている。

5. 結言

- (1) GaAsの結晶方位によって加工表面形態が著しく異なる。脆性破壊が最も発生しやすい結晶方位は $[\bar{1}10]$ 、 $[110]$ である。

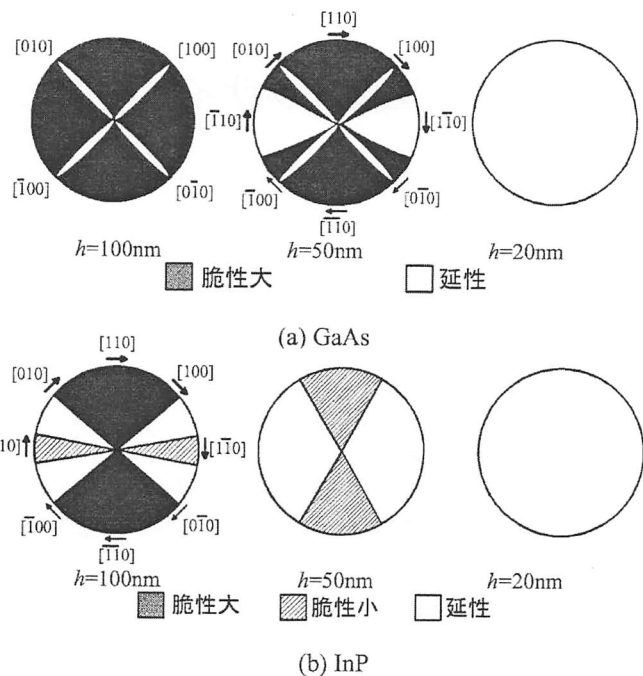


図4 加工表面の模式図

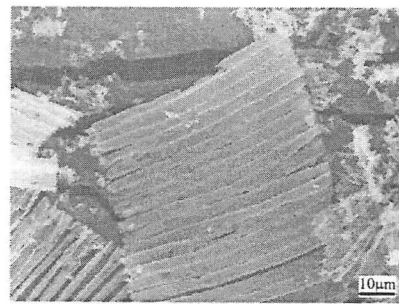


図5 GaAs切屑のSEM観察写真

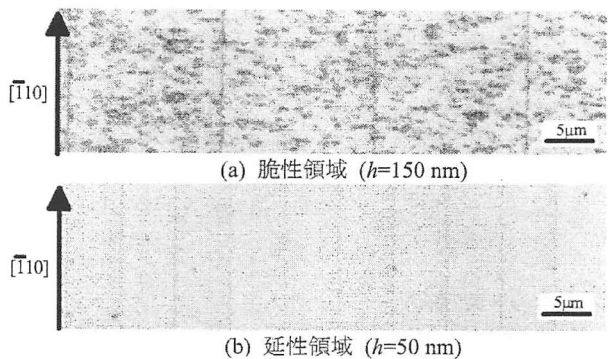


図6 GaAs加工面の微分干渉顕微鏡観察

- (2) GaAsを延性モード切削するために必要な臨界切り取り厚さは 50 nm よりも小さい値である。
- (3) GaAsはInPに比べて結晶方位の影響が大きく延性モード切削加工が難しい材料である。

参考文献

- 1) 関 紀旺, 岩本健, 久保明彦, 田牧純一: 化合物半導体InPの超精密切削加工, 日本機械学会第5回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集(2004) 39.