

ダイシングソーによる基板加工

栗野 春之

電子工学研究所 技術部

1. はじめに

ダイシングソーは LSI の製造過程でリソグラフィプロセスを終えた Si 基板を細かなチップに切断するために使用されている精密なカッターである。このカッターを単に切断に用いるのではなく基板の加工に応用する技術を紹介する。

2. 装置、ユーティリティ、マニュアル

導入した装置は (株) ディスコ製ダイシングソーDAD-522 型である。この装置はエアスピンドルを使用しているため 200L/min.の大量の空気を必要とする。そのために大型のコンプレッサーを導入した。また、冷却と切削には 2 系統独立に 0.2~0.4MPa の圧力の水が必要であり、昇圧ポンプを作製した。さらに、切削時の水蒸気を排出するための排気系が必要であり、天井にダクトを張って排気ファンを取り付けた (Fig.1 参照)。これらを装置に接続し、立ち上げを行った。

ダイシングソー導入時講習においてオペレータから受ける説明を聞き漏らしたり忘れてしまってもフォローできるようにビデオ撮影を行い、ビデオを繰り返し見ることに加えて、メーカーが定期的に行っているオペレーション講習会に参加したりメーカーのマニュアルを参考にしながら実用的な操作マニュアルを作製した。マニュアルは写真を多用し、初めて操作する者でも戸惑うことがないような完璧なマニュアルを目指して、操作の際に気づいたことを付け加えながら何度も書き直しをした。この作業をすることによって装置をより深く理解することができた。

Air : 0.5~0.8 MPa、 200L/min.
Cutting water : 0.2~0.4 MPa、 1.5L/min.
Cooling water : 0.2~0.4 MPa、 5L/min.
Exhaust duct : 2.5~5 m3/min.

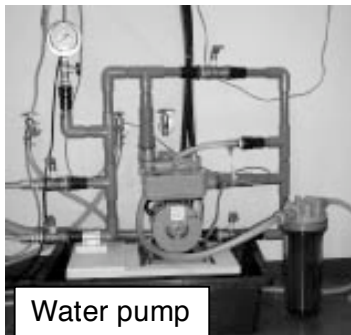


Fig.1 ダイシングソー用ユーティリティの製作と接続

3. リッジ加工

筆者の所属する研究室のテーマの一つに高速光変調技術があり、提案した「完全速度整合型光変調器」の一つとして「リッジ型光変調器」の作製を目指している。従来、リッジ加工技術としては、ECR-RIE が知られている[1]。ECR-RIE はマイクロ波と磁界によって比較的高い真空においてもプラズマを発生できるために、微小領域を寸法精度よく加工できるだけでなく、広範囲にわたって均一に加工することができるという特徴を持っている。しかし LiNbO₃ (以下 LN) のようなエッチング速度の遅い結晶においては加工速度が遅く (1 μ m/h 程度) マスク材料の摩耗によりリッジ角が浅くなる (75°) という欠点がある。そこで筆者らは、ダイシングソーを用いてまず LN 結晶の高速リッジ加工を試みた。

切削加工を施す材料は、おもに z-cut LN で、最初にこの材料に適したブレードを選択した。ブレードの違いにより切削形状は大幅に異なり、特にチッピングの有無には極めて大きな影響を持つのでブレードの選択は重要である。ブレードの回転は 30,000rpm とし、LN 基板は 16cm ϕ のステンレスのステージ上に真空吸着させて固定した。リッジ片側面となる 1 本の溝を切り、続いてブレードをリッジ幅に対応した一定間隔を移動させて次の溝を切った (Fig.2)。溝と溝の間にリッジが形成されるので、間隔を調整することによってリッジ幅の調節ができる。Fig.2 の W は 1 μ m 間隔で調整が可能である。溝の深さは試料の厚さから切り残し量 (Fig.2 の H) を差し引くことによって求められ、0~50 μ m の間でコントロールした。Fig.3 はディスクオペレータが最適な条件で作製した幅 5 μ m、高さ 30 μ m のリッジの SEM 写真である。理想の形状に近いリッジが形成されているのがわかる。この形状を目標に加工を始めた。Fig.4 は筆者が初期に作製したリッジで左右非対称で上部が狭く裾の広がった形状になっている。これを改善するために、フランジのクリーニング、端面修正などの軸ぶれ対策を行った。LN や LT のような硬い材料の場合にはブレードの摩耗により切削形状に変化が生じる。そこでブレードのドレスを念入りに行い、さらに加工速度などのパラメータを調整することによって、現在では Fig.3 と同等のものが得られるようになった。また、室温や水温の変化が寸法精度に大きく影響するため (1°C の温度変化に対して 1 μ m 以上) ミクロン単位の加工を行う際は、こまめにズレの補正を行う必要がある。

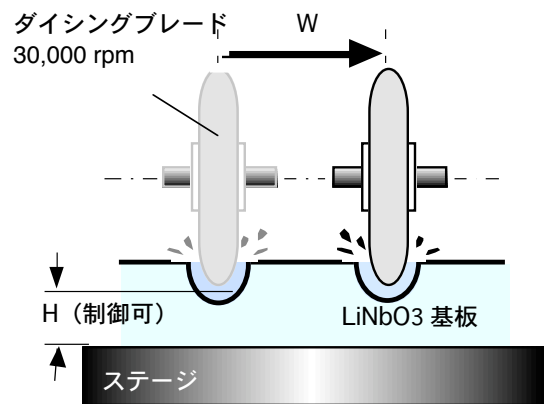


Fig.2 リッジ加工法

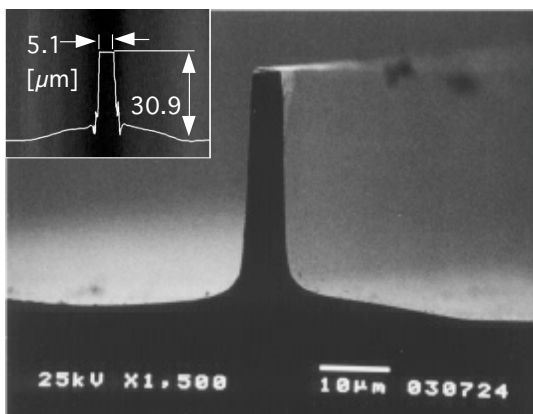


Fig.3 ディスクオペレータの作製したリッジ

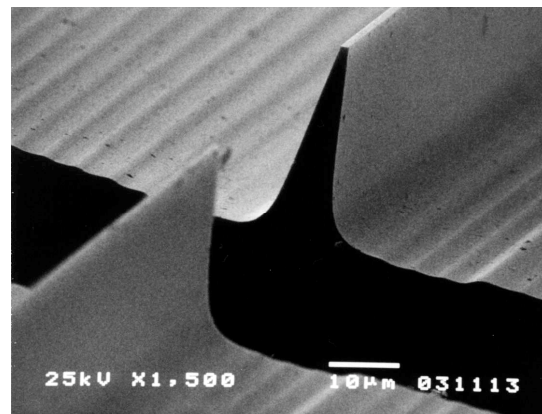


Fig.4 筆者の初期に作製したリッジ

-C面にTiを蒸着し、熱拡散した3-inch LNの表面をX軸方向に4~12 μm 幅でリッジ加工を行い、不要な部分を切断して長さ約55mmの光導波路を作製した。波長633nmのHe-Neレーザ光を入射させ光が導波することを確認した[2]。

4. テラス状薄板加工

デバイスの小型化・高性能化のためには基板の薄板化が重要である。これまでLN、LiTaO₃ (LT)といった強誘電体光学結晶においては、液相エピタキシ (LPE) 法[3]、ゾルゲル法[4]のような薄膜成長法や、結晶を金属基板に貼り付け研磨する薄板加工法

[5]などが報告されている。しかし何れの方法も作製に手間暇がかかるうえ基板の片面しか利用できないという自由度の制限がある。ダイシングソーによるリッジ形状作製

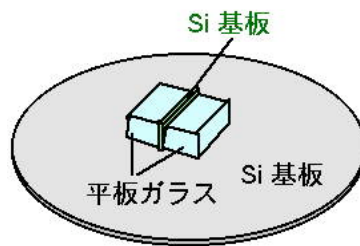


Fig.5 Si基板の固定

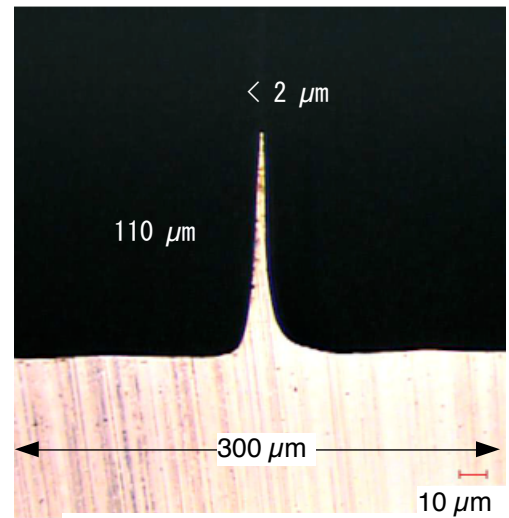


Fig.6 Si基板の薄板加工

が可能であることから、この技術を応用して薄板加工を試みた。まず厚さ300 μm のSi基板を8x12mmの短冊状に切り出し、長い方の端面が上になるように平板ガラスで挟んでSi基板上にワックスで固定した (Fig.5 参照)。加工条件は、ブレード厚100 μm 、加工速度0.3mm/sであり、基板表面に平行に幅0.5~1.8 μm 、高さ110 μm 、長さ12mmの薄板を作製することができた。Fig.6に断面OM写真を示す。

続いてLN基板等の加工を行った。使用した基板はLN、MgO:LN、LT (何れも厚さ500 μm)、定比組成LN (SLN=Stoichiometric-LN: 厚さ400 μm) 等である。テラス加工用に準備した短冊状の基板の寸法は縦5~8mm、横12~30mmである。最初に、結晶切断時に発生したチップングを除去するため薄板加工する面を加工用ブレードで深さ30 μm 程度削った。チップングが深い場合はなくなるまで繰り返した。チップングが除去できたことを確認した後、薄板加工を行った。1回で切削する深さを35 μm とし、必要な深さに達するまで繰り返し切削した。使用したブレードの厚さが100 μm のため、必要な深さに達した後切削する位置を90 μm 移動させ次のラインを切削した。

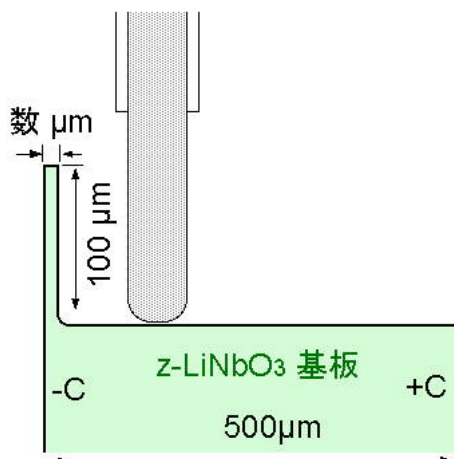


Fig.7 テラス基板加工法

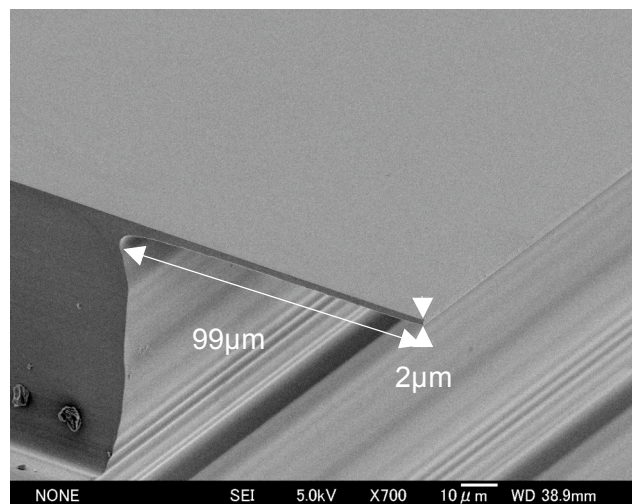


Fig.8 薄い基板の加工例

光学デバイスでは平坦な表面が要求されるために、たとえば、z-cut 基板の+C 面側から加工を進め、-C 面側に必要な寸法を残す方法で薄板を作製した (Fig.7 参照)。できあがった形状から作製した基板をテラス基板と名付けた。テラス加工に要する時間は正味 30 分程度である。結晶によって硬さや脆さなど性質が異なるが、試みた基板においてはどれも問題なく加工することができた。平坦で加工傷の少ないテラス基板を得ることができた。作製したテラスの寸法は、厚さは $2\mu\text{m}$ 以下 (Fig.8 参照) 一数 μm 、幅は $90\sim 465\mu\text{m}$ (Fig.9 参照) である。筆者らの今後の実験に必要な寸法は厚さ $5\mu\text{m}$ 、幅 $100\mu\text{m}$ 程度のため条件を十分に満たしている。また、研磨によって得られる基板と異なり両面が使用可能になったためデバイス試作における自由度が増した。

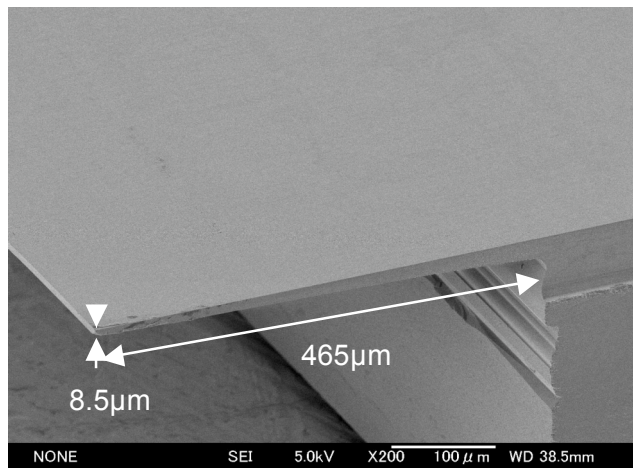


Fig. 9 幅広い基板の加工例

5. テラス基板を用いた分極反転と SHG デバイスの試作

LN, LT は大きな自発分極と 180° 分極構造を有しており、これらを制御して周期分極反転構造を作ると第二高調波発生 (SHG) や和周波光混合 (SFG) などの非線形光学デバイスを作製することが出来る[1]。薄板構造にすると微小分極反転構造が作製可能となり、従来にはない種々の新しい光機能デバイスが考えられる。そこで作製したテラス基板が微小分極反転に利用できるかどうかを確認するための実験を行った。以下詳細は省略するが、最小周期 $0.8\mu\text{m}$ 、最小線幅 $0.3\mu\text{m}$ のパターンが描画できた。これより、テラス基板は微小分極反転用基板などへ利用可能であることを確認することができた。さらに工学部の岩田研究室で開発した広領域走査可能な AFM を用いて、MgO:CLN テラス基板に周期 $3.5\mu\text{m}$ 、幅 $100\mu\text{m}$ 、相互作用長 1mm のライン状周期分極反転を行った。東北大学 学術科学国際高等研究センターの谷内研究室において OPO 波長可変レーザーによって 866nm の光を入射したところ 433nm の SHG 光を観察でき (Fig.10 参照)、QPM-SHG デバイスの試作に成功した。テラス基板を様々なデバイスに応用していきたい。

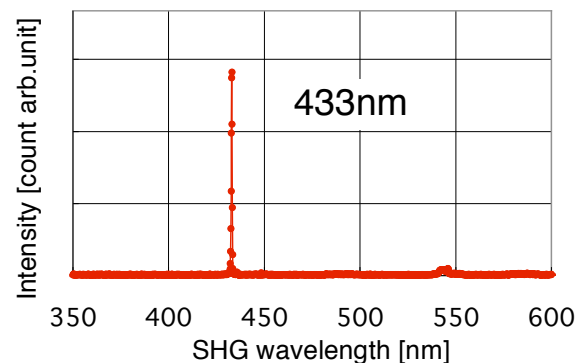


Fig. 10 観察した SHG 波長

参考文献

- [1] 皆方：電子通信情報学会論文誌 Vol.J77-C-I, No.5, 194(1994) .
- [2] 皆方誠,栗野春之,塩澤一史,第 65 回秋季応物学会予稿集,3a-ZM-1(2004).
- [3] S.Kondo, S. Miyazawa, S. Fushimi and K. Sugii, Appl. Phys. Lett., **26**, 489(1975).
- [4] S. Hirano and K. Kato, Journal of Non-Crystalline Solids **100**,538(1988).
- [5] K. Terabe, M. Nakamura, S.Takekawa and K. Kitamura, Appl.Phis. Lett.,**82**,433(2003).
- [6] 栗野春之,皆方誠,第 66 回秋季応物学会予稿集,7a-T-20(2005).