

Siウエハのレーザダイシングに関する研究

ピコ秒パルスレーザによる液中加工の検討

茨城大学 山本武幸, 周立波, 清水淳, 溝口高史

1. はじめに

これまで、半導体チップはシリコンウエハに諸々の工程を施し、最終的に厚さ 300 μm 程度に加工されて提供されてきたが、SiP(System in Package)やICカード用チップ、RFID タグなどの普及に伴い、量産化ベースでも 50 μm 厚が一般的になり、一部では 30 μm 厚までも製造されている。さらに、デザインルールの微細化も手伝って、ウエハ品質への要求はより厳しくなっている。それに伴い、極めて高密度なパターンが施されたウエハをチップに切り分ける、ダイシング工程においても新たな技術が求められている。

ウエハのダイシング加工は、薄刃のダイヤモンドブレードを用いたブレードダイシング法と、短波長レーザを用いたレーザダイシング法に大別される。

現在、広く用いられているブレードダイシングは、接触加工であるために加工時のブレードによる衝撃や応力が問題となり、チップングやクラックといったウエハ欠陥の発生が避けられない。さらに、加工液、切りくずや脱落した砥粒、ボンドはウエハ上のデバイスの汚染要因となり洗浄工程を欠かせない。

それらの問題への解決策として、レーザダイシング法が用いられている。レーザダイシングは非接触加工であることから、上述の諸問題の解決はもとより、ブレードダイシングに比べ高速な加工が可能である。ブレードダイシングはブレード幅分の切り代が必要なのに対し、レーザダイシングはレーザのスポット径が微小なため、切り代を少なくし無駄が極めて少ないダイシングが可能となる⁽¹⁾⁽²⁾。

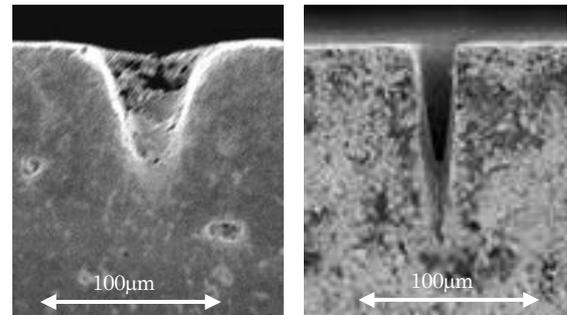
このように、レーザによるダイシングは多くの利点を有するが、従来用いられてきたナノ秒パルスレーザなどの短パルスレーザによるダイシングでは、切断部周辺への熱影響に伴う材料特性の変化や、溝加工時の熔融飛散物のチップ表面への付着などにより、チップ強度や半導体製品の信頼性に悪影響を及ぼしてしまう。ウエハの極薄化に伴う、これらの影響は計り知れない。

そのような中、ピコ秒(10^{-12} s)やフェムト秒(10^{-15} s)といった極めて短いパルス幅の適用によって高いエネルギー密度が得られる、超短パルスレーザが注目され、ウエハダイシング⁽³⁾⁽⁴⁾はもとより、微細加工⁽⁵⁾などの研究が行われている。超短パルスレーザでは、多光子吸収によるアブレーション現象が生じるため、非熱的加工が可能となる。図1にナノ秒短パルスレーザとピコ秒超短パルスレーザによる Si_3N_4 (焼結体) の溝加工形状の比較を示す。図1におい

て、ナノ秒パルスレーザは熱的加工なため溝幅が大きくアスペクト比も小さくなっている。それに対し、ピコ秒パルスレーザでは上述のような加工が施され、溝幅も小さくアスペクト比も大きい。

一方、飛散物の再付着などを防ぐ手法として、水中でのレーザ照射⁽⁶⁾⁽⁷⁾に期待が寄せられている。水中でのレーザ加工では、工作物を水中に設置もしくは水を噴霧するなどの方法によりレーザを照射する。大気中の加工に比べ、屈折率の違いによるスポット径の最小化、破片の除去効果による周辺への飛散物の付着防止およびプラズマ圧力による除去能率の向上、冷却による熱影響の減少などが期待される。他方、加工中に生成された飛散物によるレーザ光の吸収、水中および水面の気泡によるレーザ光の散乱、水の冷却効果によるパワーロス、水の光分解による爆発の危険性、水による加工物の腐食などの問題点も有する。

本稿では、超短パルスレーザによる精密ダイシング加工技術の開発を目指し、その諸段階の試みとして、水中およびさらなる加工レート向上を目指し、アルカリ溶液中においてシリコンウエハのレーザ溝加工を行った結果を紹介する。



ナノ秒(100×10^{-9} s) ピコ秒(60×10^{-12} s)
図1 短パルス・超短パルスレーザ溝形状の比較(Si_3N_4)

2. ピコ秒パルスレーザ加工システム

本レーザ加工システムの概観を図2に示す。ピコ秒レーザ発振器から出力されたレーザ光が、光学系を通り、3軸自由度を有する3軸加工機上に設置された試料ホルダへと照射されるシステムとなっている。

ピコ秒パルスレーザユニットとして、EKSPLA社製PL2200を使用しており、その仕様を表1に示す。波長1064nmで、モードロッキングによるパルス幅60ps、出力は1パルス当りのエネルギー50 μJ 、LD励起によるNd:YAG

レーザである。

図3に光学系のモデル図を示す。2枚のミラー、3枚のレンズ、1/2波長板、1/4波長板そしてSHG結晶から構成されている。ミラーM1, M2で方向を転換されたレーザ光は、SHG結晶を通過する。SHG結晶を通過する基本波長が1064nmのレーザ光の数%は第2高調波532nmに変換される。これにより、基本波長のままでは不可視光である光を、可視光領域である第2高調波532nmが加工実験の際の加工物への照射位置を確認するガイド的役割を担う。次に、HWPは1/2波長板で、入射した直線偏光の偏光方向を波長板自身の回転によって自由に変えることができる。さらにTFPと示した偏光子との組み合わせで、光学系によるレーザ出力の調整が可能となる。偏光子は、特定の偏光方向の光のみ通過させるフィルターの役割で用いられており、この特定方向に対して通過できる光の割合を1/2波長板によって変化させることでレーザ出力が調整される。次にQWPは1/4波長板で、レーザ加工における加工物への偏光依存性をなくすため直線偏光から円偏光へ変換されている。

図2に示す通り、本研究で使用したレーザ加工装置はSiウエハに対して下方よりレーザ光が上向きに照射される構造となっているため、溶液を満した容器の底面をレーザ光が透過する必要がある。そこで細胞培養等に用いられる石英シャーレを使用して、液中レーザ加工を行うための試料ホルダを製作した。

試料ホルダの外観およびモデル図を図4に示す。3軸加工機のステージに固定されたアクリル板上に石英シャーレを固定し、シャーレ内に厚み3mmのスペーサを配置、試験片のSiウエハを固定している。石英シャーレは水平調整ネジによって支持されており、傾きを調整することができ、容量5ml、底面厚み0.5mmである。石英シャーレ底を挟んでパワーメータによりレーザ強度を計測した結果、損失は確認できなかった。

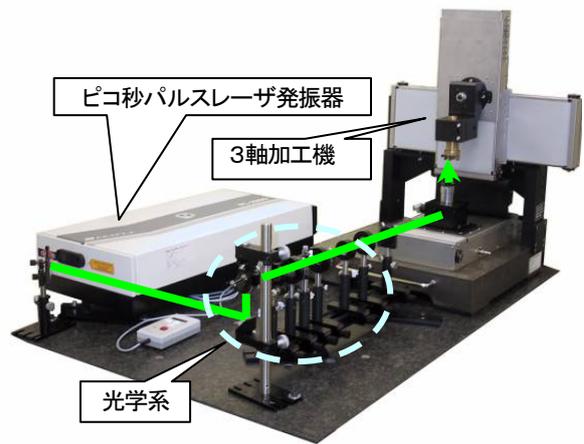
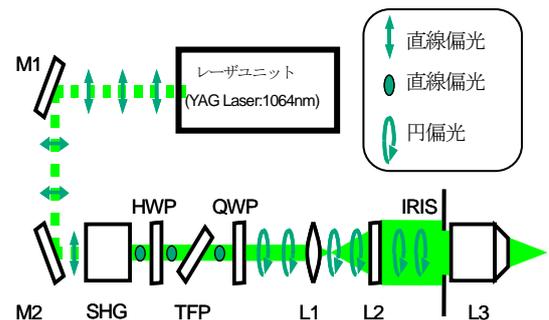


図2 ピコ秒パルスレーザ加工システム

表1 PL2200(EKSPLA Ltd.)の仕様

| 方式 | LD 励起 Nd:YAG レーザ |
|---------------|------------------|
| 波長 (nm) | 1064 |
| パルスエネルギー (mJ) | 50 |
| 繰り返し率 (Hz) | 1000 |
| 空間モード | TEM00 |
| パルス幅 (ps) | 60 |
| ビーム径 (mm) | 1.5 |



M1,2:ミラー SHG:SHG結晶 HWP:半波長板
QWP:1/4波長板 TFP:TFP偏光板 L1,L2,L3:レンズ

図3 光学系のモデル図

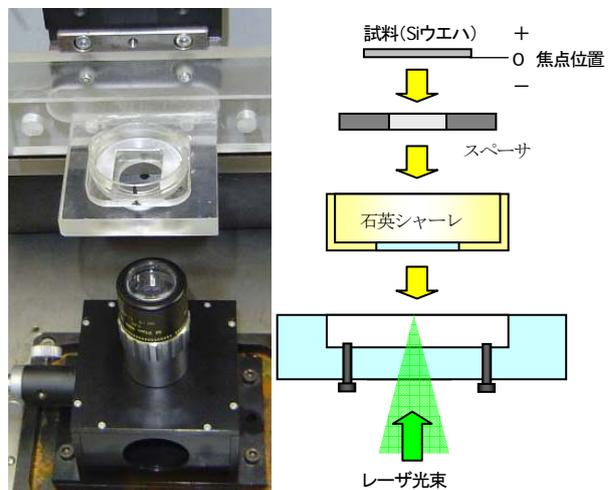


図4 試料ホルダ外観とモデル図

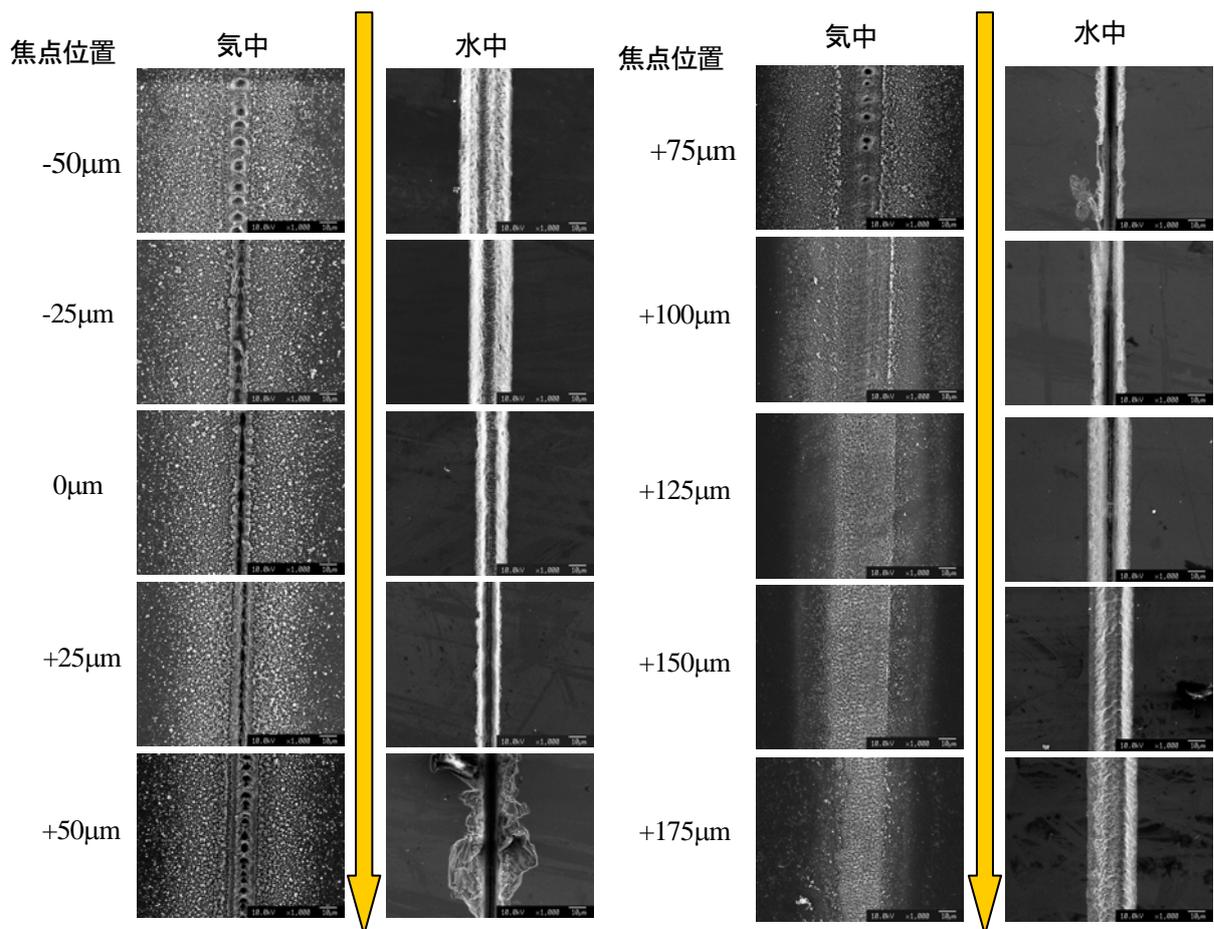


図5 気中・水中加工後のウエハ表面

3. 水中加工実験

走査速度 0.05mm/s, 走査回数 1 往復で, 試験片は厚さ 600 μm のポリシング済み Si ウエハを用い, 気中および純水中にて加工実験を行った. 焦点位置の変化に伴う溝形状の変化を観察するため焦点位置を表面に焦点を合わせた状態 0 μm から 25 μm ごとに -50 \sim +175 μm まで 10 段階に変化させた.

気中および水中加工後におけるウエハ表面の SEM (電子顕微鏡) 写真を図 5 に示す. これらの結果から, 気中加工ではどの条件においても加工溝周辺に飛散物が付着していることがわかる. 飛散物の付着幅は全般的におよそ 100 μm となり, 溝幅は焦点位置が深くなるにつれて 10 \sim 35 μm まで広がり, 逆に溝深さは 23 \sim 0 μm に浅くなる傾向を示す. 一方, 水中加工においては, 周辺への飛散物の付着, 溝幅は気中に比べ大きくなっていることがわかる. 水中加工における溝幅はクラックおよびチッピングが発生した焦点位置+50 μm を除いて, 13 \sim 30 μm まで変化している. 溝深さは焦点位置+25 μm で最大値 42 μm を示す.

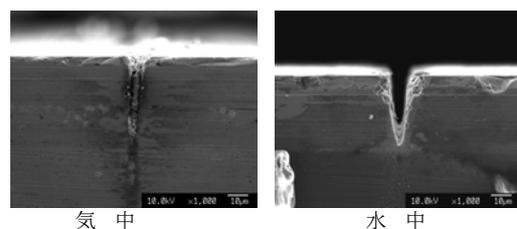


図6 気中・水中加工後のウエハ側面

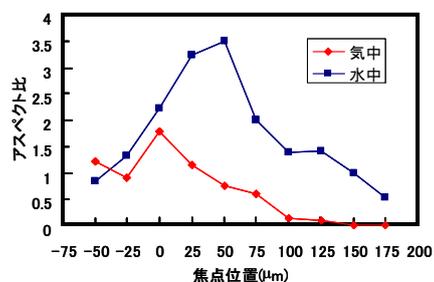


図7 気中・水中における加工溝のアスペクト比の比較

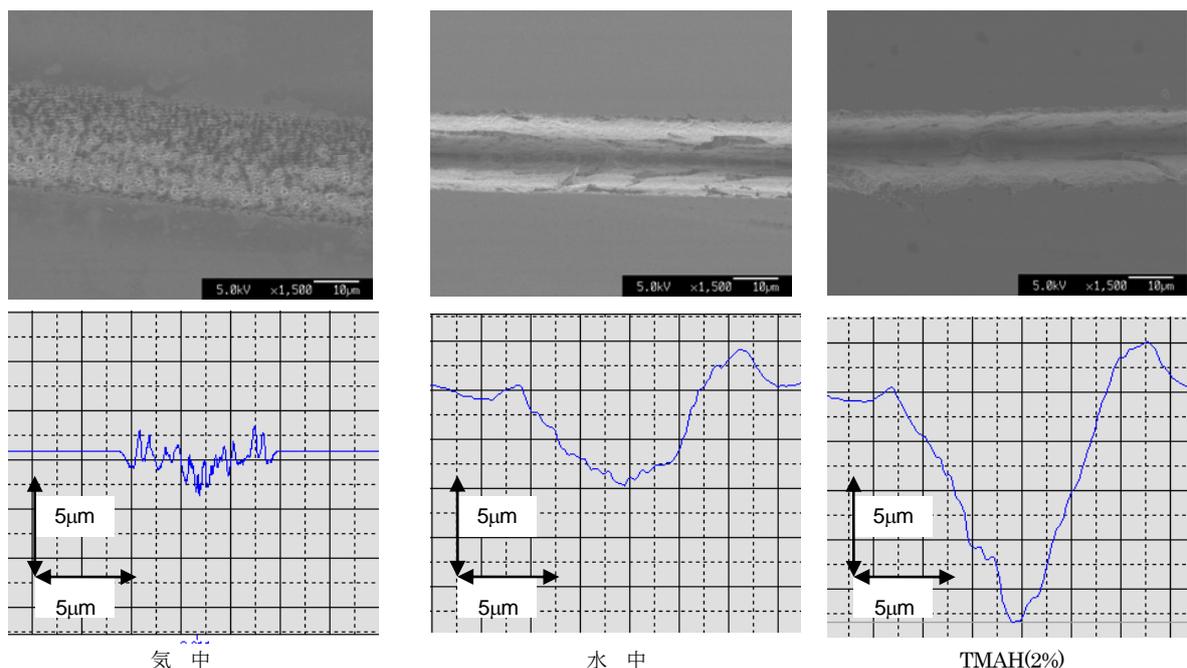


図8 気中・水中・TMAH 溶液(2%)中における加工表面および溝断面形状

図6は水中および気中加工後のSiウエハ側面のSEM写真である。この結果から、気中加工では溝内部にまで溶融物あるいは飛散物が付着して溝を浅くしているのに対し、水中加工では綺麗な溝が形成される様子が把握できる。

図7に気中・水中加工における加工溝のアスペクト比の比較を示す。図7から、全般的に気中に比べ水中の方がアスペクト比は高くなるのがわかる。これは、水による飛散物の除去、冷却効果によるものと考えられる。水中加工のごく一部の焦点位置(+50 μm)において脆性破壊が生じていることから、焦点位置付近で発生した水蒸気またはプラズマによってキャビテーションが発生し、その勢いによって飛散物を除去している様子がうかがえる。

4. 液中加工実験

加工レート向上のために、気中、水中、アルカリ溶液中において加工実験を行い、比較検討を試みた。アルカリ溶液には、TMAH(水酸化テトラメチルアンモニウム)溶液の濃度2%を用い、加工条件は走査速度50 $\mu\text{m}/\text{s}$ 、液温23 $^{\circ}\text{C}$ 、焦点位置は試料表面である。なお、経年劣化に伴い前節の検討に比べレーザー強度は低下していることを断っておく。

図8は気中・水中・TMAH 溶液中加工後におけるウエハ表面のSEM写真および溝断面形状である。この結果から、水中、TMAH(2%)溶液中を比べると溝幅に大差はないが、水中加工の溝深さ10 μm に対し、TMAH(2%)溶液中は20 μm を超え、高アスペクト比の溝が形成されていることがわかる。加工メカニズムの解明や最適加工条件の探索などといった検討課題は残るものの、溶液中加工の導入によ

り、ある程度の加工レート向上が望めるものとみなせる。

5. おわりに

本稿では、ピコ秒パルスレーザーによる精密ダイシングを目指し、水中・アルカリ溶液中においてシリコンウエハのレーザー溝加工を行った結果を紹介した。検討の結果、水中およびアルカリ溶液中のレーザー加工は飛散物の付着を防止し、アスペクト比の向上が期待できることや、アルカリ溶液の導入により、水中より高アスペクト比の溝が形成できる可能性が見出された。本研究は、まだ初段階のため、将来的に、溶液の種類、溶液濃度・温度、走査速度、焦点位置などの加工条件を最適化する必要があるものの、本情報が読者の研究開発の一助となれば幸いである。

参考文献

- (1) 沖山俊裕：レーザー切断，精密工学会誌，60, 2 (1994)169.
- (2) 山田啓司：パルス YAG レーザによる Si ウエハの切断機構に関する研究，精密工学会誌，67, 11 (2001) 1861.
- (3) 二宮孝文：フェムト秒レーザーを用いた薄厚シリコンウエハのダイシング加工，精密工学会誌，70, 12 (2004) 1554.
- (4) J. Hagiya, T. Yamamoto, H. Ojima L. Zhou, J. Shimizu, H. Eda: Fundamental Study on Cleavage-Cutting of Silicon Wafer by Ultra-Short Pulsed Laser, Proc. 4th Int. Conf. on LEM21, (2007) 879.
- (5) B. N. Chichkov, C. Momma, S. Nolte, F. v. Alvensleben, A. Tü nnermann: Femtosecond, picosecond and nanosecond laser ablation of solids, Appl. Phys. A63, (1996) 109.
- (6) 佐野雄二，他：レーザーの水中照射による金属材料の残留応力改善メカニズム，日本原子力学会誌，42, 6 (2000) 567.
- (7) Arvi Kruusing, Underwater and water-assisted laser processing, Optics and Lasers in Engineering, 41, (2004) 330.