

次世代電子デバイスに対応したレーザダイシング技術の開発

— レーザダイシング加工面の測定・分析 —

藤原 和徳・小松 利安・松坂 浩志*¹・山田 耕平*¹・佐藤 孝志*¹・土橋 正典*¹・張本 鉄雄*²

Development of Laser Dicing Technology to the Next Electronic Device

— Measurement and analysis technique on laser dicing processing —

Kazunori FUJIHARA, Toshiyasu KOMATSU, Hiroshi MATSUZAKA*¹, Kouhei YAMADA*¹
Takashi SATOU*¹, Masanori DOBASHI*¹ and Tetsuo HARIMOTO*²

要 約

昨年度から引き続き、シリコンウェハ用レーザダイシング加工機の実用化を図るため、レーザダイシング加工面の測定・分析技術を検討した。

本年度は、新たに試作したレーザダイシング加工機を用いて加工実験を行い、加工条件による加工溝深さやデブリ堆積高さ等の評価を行った。また、試料を斜め研磨加工し、その断面を観察した結果、加工溝側面から微細なクラックが発生していることが分かった。

次年度以降、さらにレーザダイシング加工機を改良して実験を行うが、これまで使用した測定装置で十分評価可能であることが確認できた。

1. 緒 言

電子部品は、年々小型化・高機能化・低価格化が要求され、半導体チップも小チップ化・量産化しなければならない状況である。

従来、シリコンウェハから半導体チップを切断する方法は、ダイヤモンドブレードを高速回転させて切断する、ブレードダイシング方法^{1)・2)}である。しかし、その切断幅は 40 μm が量産上の限界で、さらなる半導体チップの取得率向上が困難である。また、切断時の振動と衝撃で半導体チップが欠ける等の問題もある。さらに、加工液を使用するため廃水処理を行う必要もある。

そのため、非接触のドライ加工である、レーザビームを用いたダイシング加工の実用化が期待されている^{3)・4)}。しかし、この加工によるデブリの堆積や切断幅の狭小化、加工速度等を考慮すると、一般的なレーザ加工機では加工能力が不十分であり、シリコンウェハの切断に最適なレーザダイシング技術の開発が必要である。

そこで、昨年度より実験装置を試作して、レーザダイシング技術の開発を行っている。この技術を実用化するためには、実際にシリコンウェハを加工し、加工表面の形状やデブリの状態を測定・分析し、その結果をフィー

ドバックして加工精度の向上を図る必要がある。当センターでは、レーザ光学系や加工条件を評価・検討し、レーザダイシング加工の最適化を図るために必要な、各種測定・評価技術について検討した。

2. 実験方法

2-1 試料加工方法

本年度は、共同研究者で試作したレーザダイシング加工機を用いて、シリコンウェハの溝加工を行った。図 1 に本研究で使用したレーザダイシング加工機を、表 1 にその主な仕様を示す。レーザ発振器は市販のものを使用しているが、光学経路や X-Y ステージ、制御ソフトウェアなどは新たに設計・開発された装置である。



図 1 試作したレーザダイシング加工機

*1 株式会社 塩山製作所

*2 国立大学法人 山梨大学 工学部

表1 試作したレーザダイシング加工機の仕様

レーザ発振器	コヒレント 製 AVIA355
レーザ波長	355 [nm]
出射口出力	28 [W]
スキャン方法	XYステージ駆動
レーザ出力調整	アッテネータによる調整
ビーム形状調整	シリンダリカルレンズでの調整

レーザダイシング加工に適した加工条件を評価・検討するために、①レーザ出力・②パルス発振周波数・③加工速度の3要因について実験を行った。表2に全実験共通の加工条件を、表3に変化させた加工条件の組み合わせを示す。使用したシリコンウェハの厚さは約90 μ mで、鏡面側に溝加工を施し、大きさ10 \times 10mmの試験片に切断して、各種測定・分析を行った。

表2 共通の加工条件

スキャン距離	80 [mm]
スキャン回数	1 [回]
加工溝本数	3 [本]
加工溝のピッチ	1 [mm]
レーザ焦点位置	シリコンウェハ表面
アシストガス	未使用

表3 変化させた加工条件の組み合わせ

加工条件	レーザ出力 [W]	パルス発振周波数 [kHz]	加工速度 [mm/sec]
1	8	50	100,200,300, 400
2		100	
3		200	
4	2	5,10,20,50, 100,200,300	100
5	8		
6	16		
7	1,2,4,8,16,25	100	100
8			200
9			400

2-2 測定方法

昨年度の研究で、レーザダイシング加工面の評価に、走査型白色干渉計と電子顕微鏡が活用できることを確認している⁵⁾。特に、デブリ堆積高さに関しては、走査型白色干渉計を用いた測定方法が有効であったため、1つの加工溝に対して、5ヵ所デブリ堆積高さを測定し、その平均値で評価した。しかし、加工溝の深さ測定に関しては、図2に示すように、加工溝側面にもデブリと思われる付着物があり、試料上面から正確に深さ測定ができ

ないことも分かった。そこで、試料を切断し、加工溝の断面形状をCNC画像測定システムを用いて測定し、加工溝深さを評価した。同一加工条件で、3ヵ所レーザダイシング加工を行い、その加工溝深さの平均値で評価した。表4に、本研究で使用した測定装置の主な仕様を示す。

また、レーザによる加工熱がシリコンウェハに与える影響については、当初から危惧しており、試料の断面観察を行ってきた。しかし、分析対象範囲が非常に狭いため、昨年度までの研究では、その影響は確認できていなかった。そこで、今年度は、図3に示すように、試料を斜め研磨加工して分析対象範囲を拡大し、1mol/lの水酸化ナトリウム溶液で5時間エッチングを行い、熱影響層が確認できるか観察を行った。斜め研磨加工での傾斜角は約5°である。

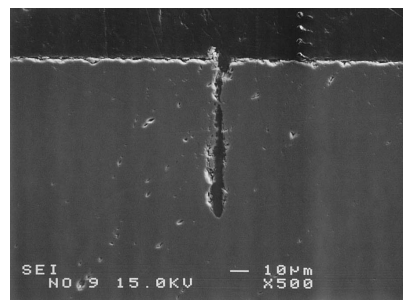


図2 加工溝側面のデブリの状態

表4 使用した測定装置の仕様

(a) 走査型白色干渉計

機種名	ZYGO社製 New View 6300
光源	白色LED
測定範囲	0.22 \times 0.22 [mm] (対物レンズ 50倍)
測定分解能	0.1 [nm]
CCD画素数	992 \times 992

(b) 電子顕微鏡

機種名	日本電子(株)製 JXA-8900RL
フィラメント	タングステン製
分析元素範囲	B~U

(c) CNC画像測定システム

機種名	(株)ニコン製 NEXIV VMR-1515 Type2
測定範囲	150 \times 150 \times 150 [mm]
測定精度	Z方向 : 150 + L/150 [μ m] X-Y方向 : 150 + 4L/1000 [μ m]
照明方法	透過・落射・8分割LEDリング照明

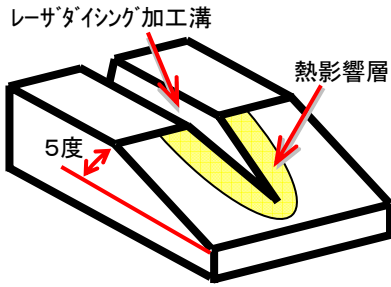


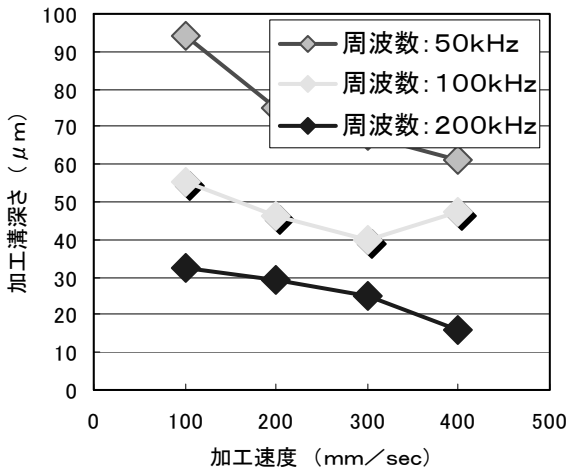
図3 斜め研磨加工の概略図

3. 結果

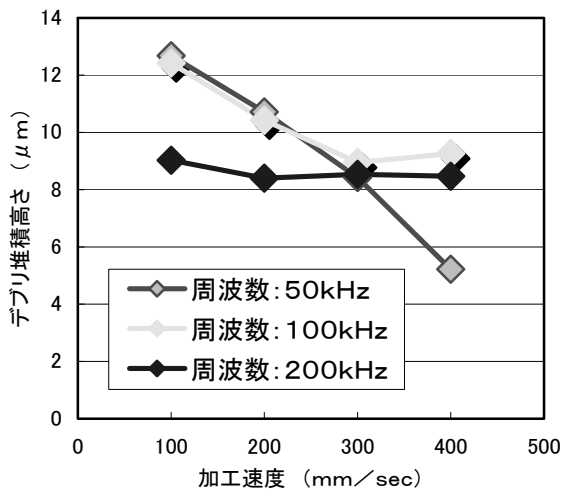
3-1 加工条件による加工溝深さ・デブリ堆積高さの変化

最初に、加工速度を変化させた場合の加工溝深さと、デブリ堆積高さに及ぼす影響について、実験結果を図4に示す。この図より、次のような傾向であることが分かった。

- ・加工速度が増加すると、加工溝深さは低下する
- ・加工溝深さが大きい条件では、デブリ堆積高さも大きい



(a)加工溝深さの変化



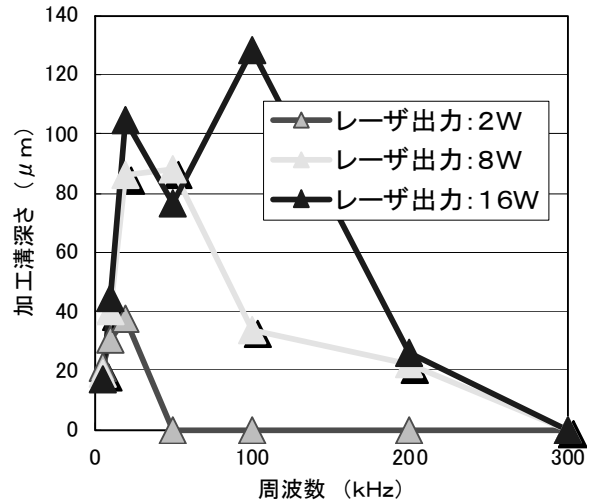
(b)デブリ堆積高さの変化

図4 加工速度による加工溝深さ・デブリ堆積高さの影響

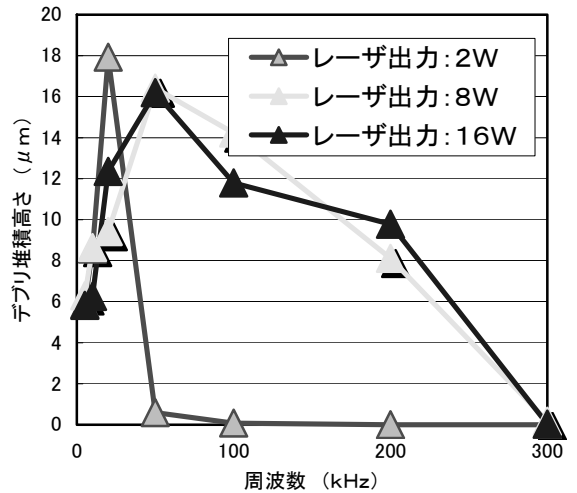
- ・同じ加工速度では、パルス発振周波数が低いほど加工溝深さが大きい

加工速度が遅い場合やパルス発振周波数が低い場合は、レーザー光の照射時間が長く供給されるエネルギーが増加するため、加工溝深さが増加し、除去されたシリコンが加工溝周辺に堆積すると推測される。

次に、パルス発振周波数を変化させた場合の、加工溝深さとデブリ堆積高さに及ぼす影響について、その実験結果を図5に示す。パルス発振周波数が20~50kHz付近で、加工溝深さがピークに達し、その前後ではほとんど加工されないことが分かった。パルス発振周波数が低すぎる場合は、レーザー光のエネルギーが安定して伝達していない可能性があり、逆に高くなりすぎると、レーザーの照射時間が短くなり、シリコンの除去に必要なエネルギーが供給できないと推測される。加工溝深さが大きい条件では、デブリ堆積高さも増加する傾向は、加工速度を



(a)加工溝深さの変化

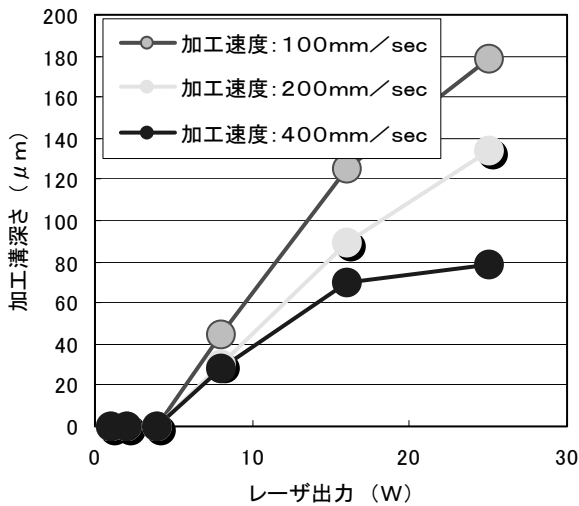


(b)デブリ堆積高さの変化

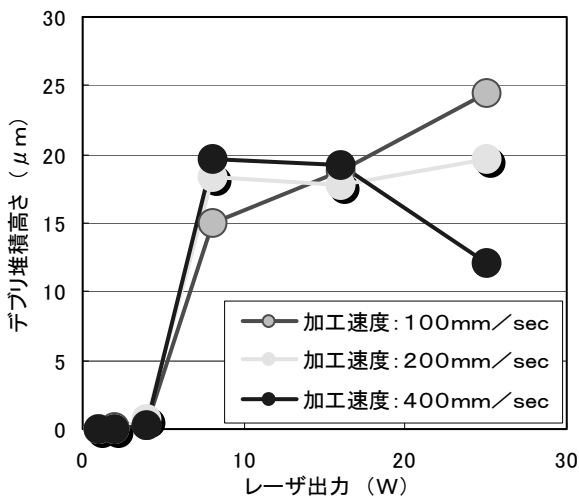
図5 パルス発振周波数による加工溝深さ・デブリ堆積高さの影響

変化させた場合と同様に確認することができた。

最後に、レーザ出力を変化させた場合の、加工溝深さとデブリ堆積高さに及ぼす影響について、その実験結果を図6に示す。レーザ出力が大きく加工速度が遅いほど、加工溝深さは増加することが分かった。いずれも、レーザ光によって、シリコンウェハに供給されるエネルギーが増加する加工条件である。また、他の加工条件と同様に、加工溝深さが増加するとデブリ堆積高さも増加する傾向であったが、レーザ出力 25W、加工速度 400mm/sec (加工条件 9) の場合だけ、加工溝深さが増加しても、デブリ堆積高さが低下する結果となった。シリコンの除去に必要なエネルギーを十分に供給した上で、デブリが堆積する前にレーザ光を高速移動できれば、レーザダイシング加工面の品質向上が可能であることを、示唆する結果ではないかと思われる。



(a)加工溝深さの変化



(b)デブリ堆積高さの変化

図6 レーザ出力による加工溝深さ・デブリ堆積高さの影響

3-2 加工溝深さとデブリ堆積高さの相関

本研究で行った全ての加工条件について、加工溝深さとデブリ堆積高さの相関関係を図7に示す。図中、矢印で示したデータ点は、前章の実験で、加工条件が重なった結果であり、実験結果にバラツキがあることが分かった。この点を考慮すると、全体的な傾向として、加工溝深さとデブリ堆積高さに比例関係が成立することが分かった。ただし、個々の加工条件について確認したところ、一部の加工条件において、図中破線曲線で示すように、加工溝深さが約 100μm 以上になると、デブリ堆積高さの増加量が鈍化する傾向にあることが分かった。シリコンを多量に除去できる加工条件では、デブリが吹き飛ばされる様になり、堆積しにくくなるのではないかと推測される。

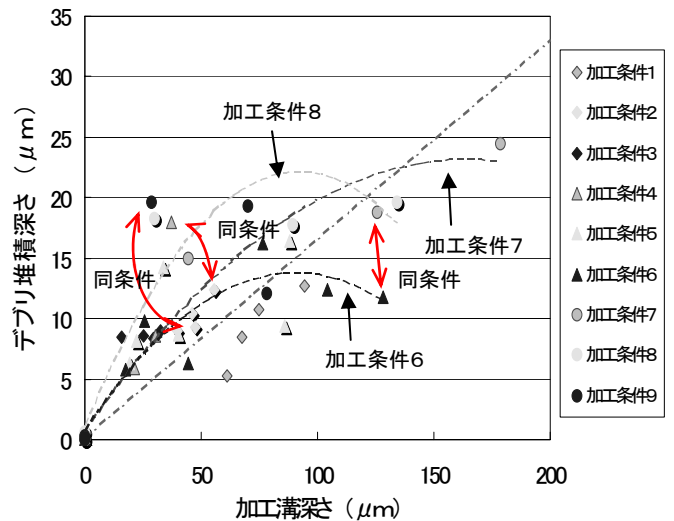


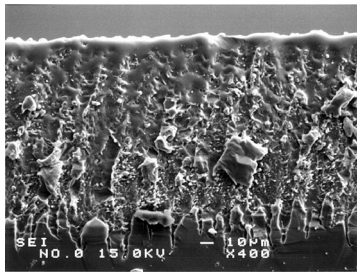
図7 加工溝深さとデブリ堆積高さの相関関係

3-3 レーザダイシング加工面の状態

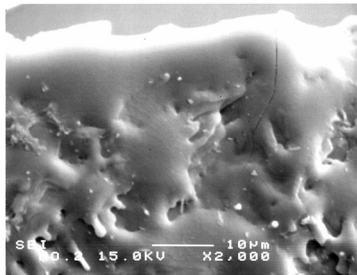
レーザダイシング加工条件を変化させた試料の中で、加工溝深さが最大値となった加工条件 7 (レーザ出力: 25W、パルス発振周波数: 100kHz、加工速度: 100 mm/sec) の場合について、加工溝側面と斜め研磨加工面の分析を行った。

最初に、加工溝側面の電子顕微鏡写真を図8に示す。シリコンが溶解・再凝固したと思われる、丸みを帯びた形状のデブリが全面に付着した表面状態であった。本研究で試作したレーザダイシング加工機は、主にレーザの熱が加工に作用するタイプであることが分かる。特に、図8(b)に示すように、シリコンウェハ表面付近での再凝固が著しく、これがデブリ堆積高さの増加原因になることが分かった。

図9に、加工溝側面の面分析結果を示す。検出された元素は、シリコンの他に炭素と酸素だけであった。シリ

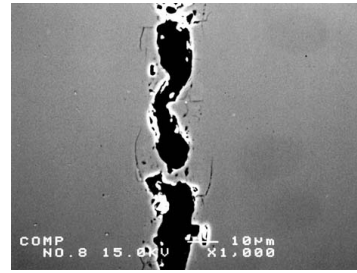


(a)加工溝全体

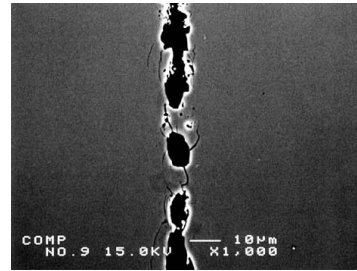


(b)シリコンウェハ表面付近

図 8 加工溝側面の電子顕微鏡写真

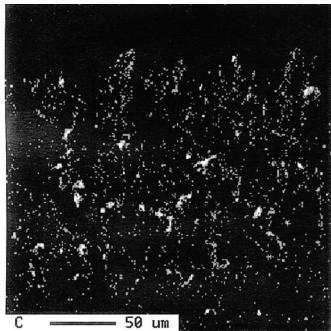


(a)シリコンウェハ表面付近

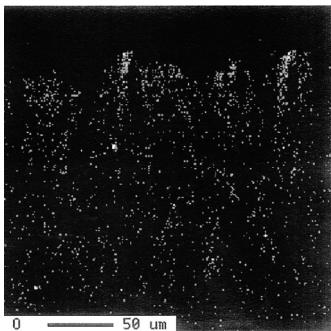


(b)加工溝底付近

図 10 斜め研磨面の電子顕微鏡写真

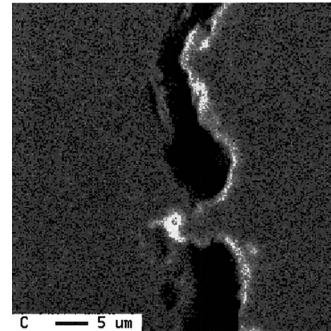


(a)炭素の分布

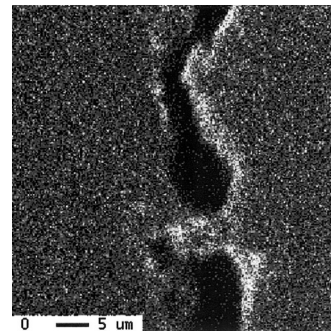


(b)酸素の分布

図 9 加工溝側面の面分析結果



(a)炭素の分布



(b)酸素の分布

図 11 斜め研磨面の面分析結果

コンウェハ表面付近のデブリと思われる部分と、溶解・再凝固した部分に、炭素と酸素の反応が強く検出された。

斜め研磨面の電子顕微鏡写真を図 10 に示す。加工溝側面から、図 8 の電子顕微鏡写真では確認できないような、細かなクラックが多数発生した表面状態が観察できた。これは、側面表層部だけにデブリが付着するだけでなく、シリコン内部まで熱が瞬間的に伝わり、溶解・再凝固が生じたためと推察される。シリコンウェハ表面付近と加工溝底付近の状態を比較すると、表面付近の方

がより大きくクラックが発生していた。

最後に、斜め研磨面の面分析結果を図 11 に示す。クラックが大きいシリコンウェハ表面付近を分析した。炭素と酸素の反応は加工溝表面部に強く現れており、シリコン内部までは反応していないことが分かった。

4. 結 言

本研究ではレーザビーム制御技術や加工条件を評価・検討し、レーザダイシング加工の最適化を図るために必

要な、各種測定・評価技術について検討することが目的である。この点に関しては、本研究で使用した走査型白色干渉計と CNC 画像測定システム、および電子顕微鏡で十分評価可能であることが確認できた。また、加工条件を変化させて、加工溝深さやデブリ堆積高さを測定した結果、全体的には加工溝深さが増加すると、デブリ堆積高さも比例して増加するが、一部の加工条件では、デブリ堆積高さの増加量が鈍化する現象が見られた。さらに、加工溝側面や斜め研磨加工面の分析結果より、加工溝側面から細かなクラックが多数発生しているが、酸化・炭化反応は表面のみで、シリコンウェハ内部までは反応していないことが分かった。

次年度も、試作したレーザダイシング加工機をさらに改良して、加工実験を継続する予定である。特に、デブリの大幅低減が期待されているため、今回の実験で得られた結果と比較しながら、今後も、加工面の測定・分析精度の向上を図り、レーザダイシング加工機の最適化を検討する。

参考文献

- 1) 水野雅裕：高性能切断加工の動向，砥粒加工学会誌，Vol.48，No.1，p.17 (2004)
- 2) 今中 治：硬脆材料の割断加工の歴史，砥粒加工学会誌，Vol.45，No.7，p.23 (2001)
- 3) 荒井一尚：半導体ウェーハにおけるレーザダイシング加工，砥粒加工学会誌，Vol.47，No.5，p.6 (2003)
- 4) 大村悦二，熊谷正芳，福満憲志，他 3 名：透過性パルスレーザによる極薄シリコンウェハの内部改質，精密工学会誌，Vol.74，No.3，p.273 (2008)
- 5) 藤原和徳，小松利安，他 5 名：次世代電子デバイスに対応したレーザダイシング技術の開発，山梨県工業技術センター研究報告，No.22，p.48 (2008)