

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 －

小松 利安・中山 信一・高尾 清利・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 －

Toshiyasu KOMATSU, Shinichi NAKAYAMA, Kiyotoshi TAKAO, 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、次の2種類の評価方法について検討を行い、十分評価可能であることを確認した。

(1) グロー放電でレーザ加工面を除去加工後、電子顕微鏡を用いて加工変質層の幅を測定する方法

(2) ラマン分光分析方法を用いて、ダイシング面のひずみ（残留応力）から加工変質層を評価する方法

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、レーザ光のパルスエネルギーと加工変質層幅の線形関係を明らかにして、レーザダイシング加工法として加工変質層の低減を図ることができた。

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による半導体チップの欠損、加工液の廃水処理等の問題もある。

そのため、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、レーザダイシング加工の実験装置を試作し、

継続的に技術開発を行っている。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 加工変質層の評価方法

昨年度まで、走査型電子顕微鏡や触針式表面粗さ計等を用いて、ダイシング加工溝深さやデブリ堆積高さ等を測定し、レーザ加工面を評価してきた⁵⁾。特に「走査型白色干渉計等を用いた非接触形状測定方法」は、デブリ等による乱反射の影響も受けにくく、信頼性の高い評価方法であることを確認した。

さらに、レーザ加工面の評価で重要な項目は、加工変質層の測定方法である。従来の測定方法では、シリコンウェハを切断し、その端面を鏡面研磨した上でエッチング処理を行う必要がある。しかし、この測定方法は非常に時間がかかり、試料数が多い場合には適していない。

*1 株式会社塩山製作所

*2 国立大学法人山梨大学工学部

今回、幾つかの方法について検討した結果、次の2種類の方法について実験を行うことにした。

- ・グロー放電でレーザ加工面を除去加工し、電子顕微鏡を用いて加工変質層の幅を測定する方法
- ・ラマン分光分析方法を用いてダイシング面のひずみ(残留応力)を分析し、加工変質層を評価する方法

本研究で使用したグロー放電分析装置(JYBIN YVON社製, JY5000RF)を図1に示す。本来は、グロー放電で除去加工された表面の元素成分を分析する装置である。図2にグロー放電用電極の概略図を示す。加工したい部分を試料押さえで密閉し、少量のアルゴンガスを流しながら放電加工する。シリコンウェハ等の絶縁材料でも放電は可能である。アノード側の放電用電極は外径8mmの円筒形状である。



図1 グロー放電分析装置

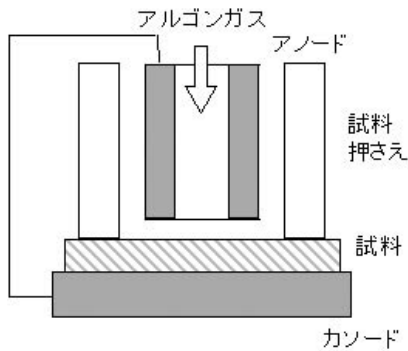


図2 グロー放電用電極の概略図

図3に、本研究で使用した顕微ラマン分光分析装置(Renishaw社製, inVia Raman Microscope)を示す。入射光源は波長514nmのArレーザである。このレーザ光を試料表面に照射すると、非常に微弱ではあるが、入射光とは異なる波長の反射光が発生する⁶⁾。その反射光がラマン散乱光、入射光との波長差がラマンシフトである。このラマンシフトは試料の種類によって決まっており、シリコンの場合は約 520cm^{-1} (単位は波長の逆数に当たる波数で、 1cm 当たりの波の数で表記)である。

また、残留応力によるひずみが存在すると、ラマンシ

フトは無ひずみの場合より更にズレが発生する⁷⁾。図4に示すように、ラマンシフトが増加した場合は試料表面に圧縮応力が、逆に減少した場合は引張応力が作用していることを表している。



図3 顕微ラマン分光分析装置

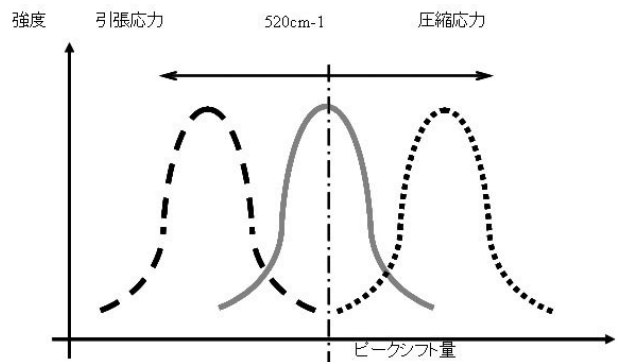


図4 残留応力によるラマンシフトの変化

2-2 検証実験

レーザダイシング加工面の分析を行う前に、本研究で使用する方法が、加工変質層の評価方法として妥当なのか、検証実験を行った。

最初に、グロー放電でレーザ加工面を除去加工し、電子顕微鏡を用いて加工変質層の幅を測定する方法について検討した。グロー放電条件については、放電電力が低い場合は除去加工が不可能となり、逆に、放電電力が非常に高い場合は局部放電が発生し、グロー放電自体が不安定になる。また、アルゴンガスも一定圧力以上流さないとグロー放電は安定しないことも確認している。予備実験を行った上で、本研究では次に示す放電条件で一定とした。

放電電力：60W、アルゴンガス圧力：900Pa

グロー放電加工痕の表面形状について、放電時間を1分間と2分間に変化させた場合の測定結果を図5に示す。測定装置は、触針式表面粗さ計(株式会社小坂研究所製, surf-corder DSF1000)を使用した。中央にある3本のV溝がレーザ加工部である。加工変質層を観察する中心部分は、比較的平坦で均一な表面になることが分かっ

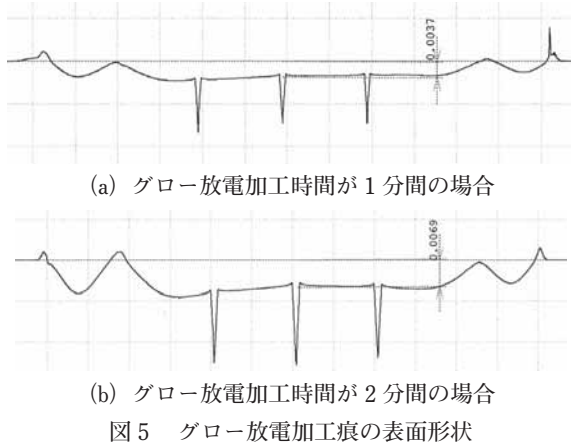
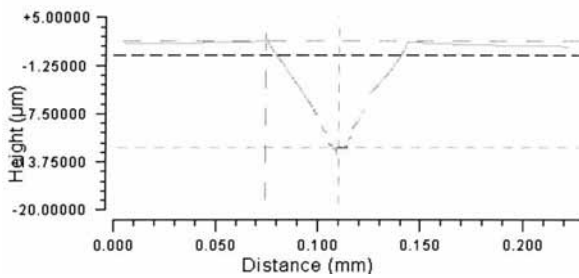
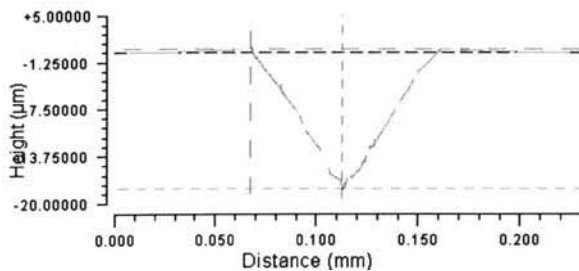


図5 グロー放電加工痕の表面形状



(a) グロー放電加工時間が1分間の場合



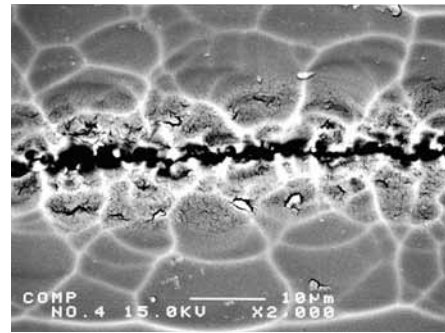
(b) グロー放電加工時間が2分間の場合

図6 放電加工後の加工溝端部周辺の表面形状

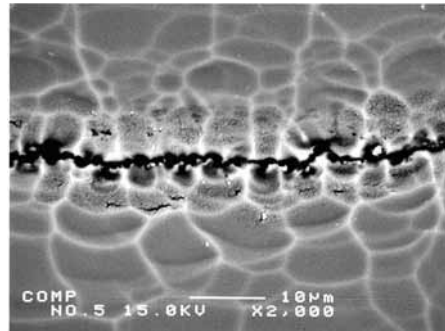
た。また、グロー放電加工痕深さについては、放電時間1分間の場合が約4 μm程度、2分間の場合は約7 μm程度になることも分かった。

グロー放電加工後のレーザー加工溝端部周辺について、その表面形状の測定結果を図6に示す。測定装置は、走査型白色干渉計（ZYGO社製、NewView 6300）を使用した。端部周辺はV形状であり、放電時間が長くなるとその深さと開口幅は大きくなるが、傾斜角はほぼ同じ約20度を保つことが分かった。

図7にグロー放電加工後のレーザー加工溝端部周辺を、走査型電子顕微鏡（日本電子(株)製、JXA-8900RL）で観察した結果を示す。端部には微細放電痕が多数発生しているが、レーザー加工溝周辺に微細放電痕とは異なる表面形態が確認できた。この部分が加工変質層ではないかと考えられる。また図8に示すように、放電痕深さや開口幅と比較して、グロー放電時間を変化させても、加工変質層の幅は大きく変化しないことも分かった。仮に、今



(a) グロー放電加工時間が1分間の場合



(b) グロー放電加工時間が2分間の場合

図7 放電加工後の加工溝端部周辺の電子顕微鏡写真

回観察した加工変質層がグロー放電自体で発生したと仮定すると、放電時間によって加工変質層の幅は増加すると思われる。よって、本研究で観察された加工変質層は、レーザー加工に起因するものと考えられる。

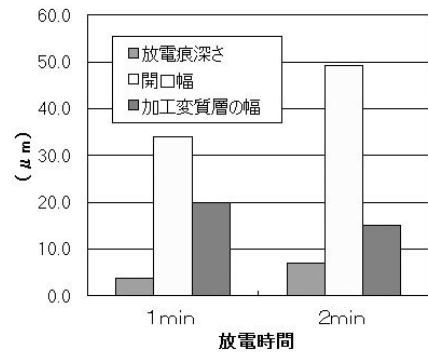


図8 グロー放電加工時間による形状変化

前述の測定結果から推測した、レーザー加工溝端部周辺の表面形状の概略図を図9に示す。加工変質層は傾斜面に現れるが、傾斜角が非常に安定しているため、便宜的に電子顕微鏡写真上での幅を計測することで、レーザー加工による加工変質層の比較・評価は可能と判断した。

次に、ラマン分光分析方法を用いた評価方法について検討を行った。準備した評価用試料は、固定砥粒（砥石）を用いてシリコンウェハの片面だけを研削加工（裏面研削）した試料と、遊離砥粒を用いて両面を研磨加工した試料の2種類である。使用した砥粒はすべてダイヤモンドであり、砥粒粒径を変更して表面粗さの値を変化させ

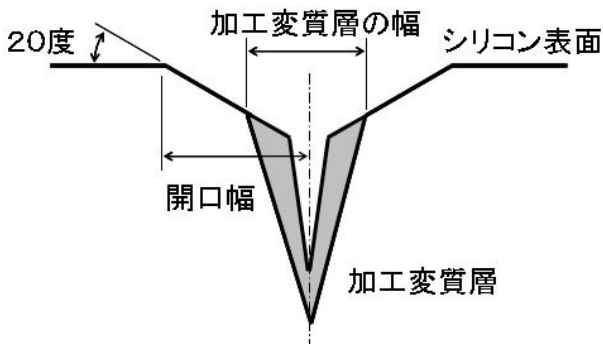
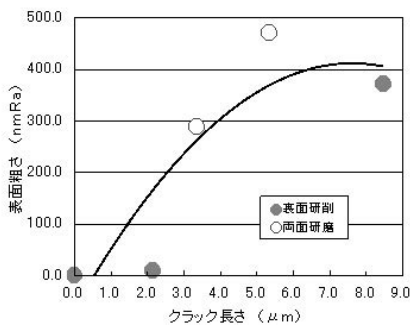


図9 レーザ加工溝端部周辺の表面形状概略図

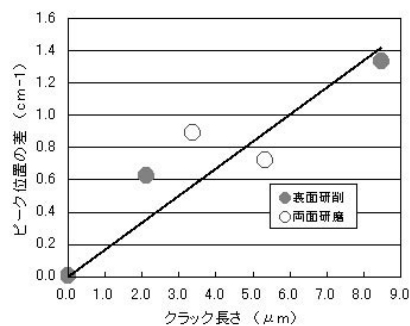
た. 加工変質層を直接測定するため, 試料を約5度に斜め研磨加工し, 傾斜面に現れた加工変質層(特にクラック層)を電子顕微鏡で測定した. 表1に使用した砥粒粒径と表面粗さRaの値, 測定したクラック長さの値を示す.

表1 評価用試料の表面粗さとクラック長さの値

加工方法	ダイヤモンド砥粒粒度	表面粗さ (nmRa)	クラック長さ (μm)
裏面研削	#1500	10.0	2.14
	#360	372.2	8.47
両面研磨	#4000	289.1	3.38
	#2000	471.4	5.34



(a) 表面粗さとの関係



(b) ラマンピーク位置との関係

図10 クラック長さに対する各パラメータの相関関係

クラック長さに対する各パラメータの相関関係を図10に示す. 図10(b)の縦軸は, 鏡面加工されたシリコンウェハのラマンピーク位置を基準点として, 各加工面の

ラマンピークがどの程度シフトしたか, ピーク位置の差で示している. クラック長さと表面粗さの関係は, 図10(a)に示すように, データに大きなバラツキがあり, 線形関係になっていない. ところが, 同じ試料をラマン分光分析すると, 図10(b)に示すように, クラック長さに対してラマンピーク位置の差はほぼ線形関係になり, 表面粗さの影響はほとんど受けないことが分かった. この結果より, 本分析方法を用いた加工変質層の評価は可能であると判断した.

3. 結果と考察

3-1 グロー放電加工を用いた評価方法

図11に, レーザ出力による加工変質層幅の変化について測定結果を示す. レーザ発振周波数によってレーザー出力状態(特に最大出力値)が変化するため, 周波数を20~120kHzと最大発振周波数160kHzに変化させて実験を行った. また, レーザ出力の最小値は3Wであった.

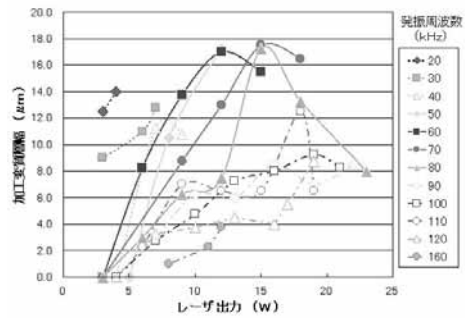


図11 レーザ出力による加工変質層幅の変化

レーザー発振周波数が20~40kHzの場合は, レーザ出力が5W前後の非常に小さな値でも, 加工変質層幅は12 μm 以上になった. 低発振周波数の場合, レーザの照射時間が長くなるため, レーザダイシング加工による熱の影響が大きいと考えられる. 本研究で使用したレーザー発振装置は, 周波数50~80kHzで比較的安定した発振が得られ, レーザ出力13W前後で加工変質層幅は18 μm 程度になった. また, レーザ出力が15W以上になると加工変質層幅は減少する結果となった. これは, レーザ出力

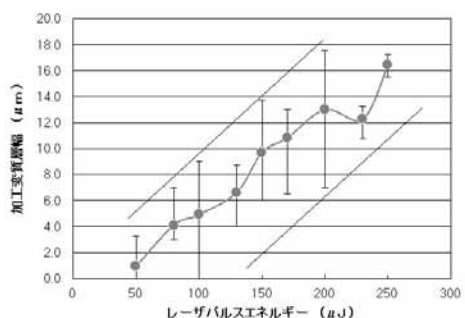
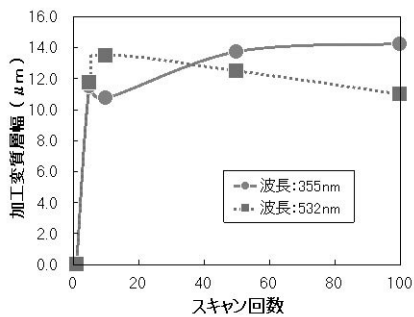


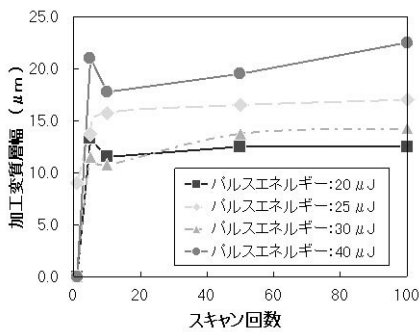
図12 パルスエネルギーによる加工変質層幅の変化

を最大値まで増加させると、レーザの発振状態が不安定になり、実際のレーザ出力が設定値より低い状況になるためと考えられる。周波数が90kHz以上の場合、基本的にレーザ発振状態は不安定であると考えられる。ただし、レーザ出力を増加させても加工変質層幅が変化しない傾向が見られた。今後、高出力・高周波数で安定したレーザ発振装置が開発できれば、より一層高品位なレーザダイシング加工が可能と思われる。

図12に、レーザのパルスエネルギーによる加工変質層幅の変化について測定結果を示す。各レーザ発振周波数でのデータを集計したため、ばらつきが大きい結果となったが、全体的にレーザパルスエネルギーが増加すると、加工変質層幅も線形的に増加する傾向であることが分かった。



(a) レーザ波長が変化した場合



(b) レーザパルスエネルギーが変化した場合

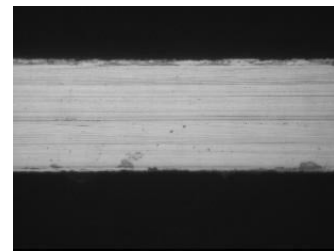
図13 スキャニング回数による加工変質層幅の変化

図13に、Galvanoミラーでレーザ光をスキャニングしてダイシング加工した場合による、加工変質層幅の変化について測定結果を示す。レーザ発振周波数は200kHz、Galvanoミラーズキャニング速度は200mm/secで一定とした。図13(a)はレーザ波長が変化した場合について、(b)はレーザ波長を355nm一定として、レーザパルスエネルギーが変化した場合について示す。いずれの場合も、初期の時点で加工変質層幅の大きさが決定し、スキャニング回数を増加させても加工変質層幅はほとんど変化しない、という結果が得られた。スキャニング回数が増加しても、ダイシング加工側面に付着しているデブリが、再融解と凝固を繰り返すだけと思われる。また、

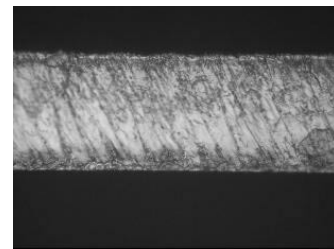
レーザ光の波長よりパルスエネルギーの方が、加工変質層幅に与える影響が大きいことも分かった。

3-2 ラマン分光分析方法を用いた評価方法

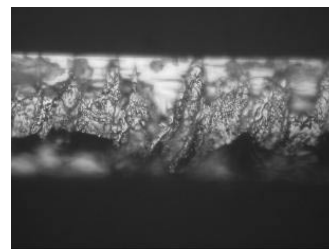
本研究で使用したダイシング加工試料の側面写真を図14に示す。図14(a)のブレードダイシング加工面が従来の加工方法に相当し、(b)試料A・(c)試料Bがレーザダイシング加工された面である。



(a) ブレードダイシング加工面



(b) 試料A



(c) 試料B

図14 ダイシング加工側面の写真

それぞれの加工条件は次の通りである。

- ・ 試料A レーザ出力:6.5W, 発振周波数:10kHz, 加工速度:150mm/sec
- ・ 試料B レーザ出力:11.8W, 発振周波数:40kHz, 加工速度:100mm/sec

ブレードダイシング加工面と比較すると、レーザダイシング加工面は多少不均一な部分がある。特に、レーザ出力が高い試料Bの場合は、全体的にシリコンが融解し、部分的に再凝固したと思われる表面であった。この表面状態から、試料Bの残留応力(ひずみ)は、分析する場所によって大きく変化する可能性があるため、図14(c)の概略図に示した3ヶ所について測定を行った。①は加工時にへき開したと考えられる部分、②はシリコンが再凝固したと思われる部分、そして③が直接レーザダイシング加工された面である。

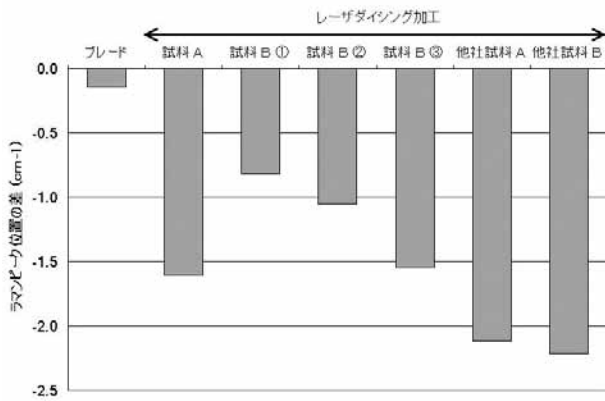


図15 ラマン分光分析結果

図15に分析結果を示す。本研究で開発したレーザーダイシング加工装置の性能を評価するため、他社装置でレーザーダイシング加工した試料も分析を行った。すべての加工条件で、ラマンピークがマイナス側にシフトしているため、ダイシング加工面には引張応力が作用することが分かった。ただし、ラマンピーク位置の差は、ブレードダイシング加工の場合が約 0.1cm^{-1} に対し、レーザーダイシング加工の場合は約 1.6cm^{-1} 程度あり、大きな応力が生じている状態であった。試料Bの場合、へき開した部分や再凝固した部分は多少応力が開放されているが、レーザーダイシング加工面には試料Aと同程度の応力が残留していると考えられる。しかし、他社装置でレーザーダイシング加工した試料では、ラマンピーク位置の差が 2.0cm^{-1} 以上あることも分かった。レーザーダイシング加工法の中では、本研究で開発した装置は加工変質層を低減していることが判明した。

4. 結 言

本研究ではレーザービーム制御技術や加工条件を評価・検討し、レーザー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、本研究で新たに検討した2種類の方法で十分評価可能であることが確認できた。

- ・グロー放電でレーザー加工面を除去加工し、電子顕微鏡を用いて加工変質層の幅を測定する方法

- ・ラマン分光分析方法を用いてダイシング面のひずみ(残留応力)を分析し、加工変質層を評価する方法

加工条件を変化させて実験を行い、次のような結果が得られた。

- (1) レーザ光のパルスエネルギーが増加すると、加工変質層幅も線形的に増加した。
- (2) Galvanoミラーでレーザー光をスキャニングしてダイシング加工した場合、スキャニング回数を増加させても加工変質層幅はほとんど変化しなかった。
- (3) レーザダイシング加工法の中では、本研究で開発し

た装置はダイシング加工面の加工変質層を低減した。

今後も、試作したレーザーダイシング加工機を用いて、補完研究を継続する予定である。本研究の結果を活用して、加工面の測定・分析精度の向上を図り、レーザー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：硬脆材料の切断加工の歴史，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ーダイシング加工，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ーによる極薄シリコンウェーハの内部改質，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ー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.23，p.20 (2009)
- 6) 濱口 宏夫，平川 暁子編：ラマン分光法，学会出版センター発行，p.15 (2002)
- 7) 伊藤 忠，東 博純，野田 正治：ラマン分光法によるLSIの局所応力の解析，豊田中央研究所R&Dレビュー，Vol.29，No.4，p.43 (1994)