

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・上橋正典*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 SATO*¹, Masanori DOBASHI*¹ and Tetsuo HARIMOTO*²

要 約

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（特にデブリの評価）技術を検討した。

本年度は、市販のYAGレーザ加工機を用いて試料を作製し、加工面形状やデブリの評価を行い、特に、アシストガスを変化させた場合、デブリ堆積高さや酸化物・炭化物の生成状態が異なることが分かった。

次年度以降、開発したレーザダイシング加工機による実験が本格的に行われるが、本研究で使用した測定装置で十分評価可能であることが分かった。

Abstract

It was established the measurement and analysis (especially, evaluation of the debris) technique on the laser dicing processing technologies in the place of a usual method of the braid dicing.

The sample was made with YAG laser beam machine, and the processing shape and the debris were evaluated. Especially, when the assistance gas is changed, it has been understood that the height of the debris and the generation of the oxidation and the carbide are different.

It has been understood to evaluate it enough with the measurement technique used by this research though the experiment by the laser dicing processing machine that develops is conducted in full scale after the next fiscal year.

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、その中で使用する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、半導体チップをシリコンウェハから切断する方法は、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、切断幅の縮小化、加工速度等を考慮すると、現在市販されている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、山梨大学の技術シーズ等を用いて、各種レーザビームを発生できる加工実験装置を試作、レーザビームの制御技術および最適加工条件を確立し、実用化に向けたレーザダイシング技術の開発を行った。

レーザダイシング技術の開発を行うためには、実際にシリコンウェハを加工して、その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す

*1 株式会社 塩山製作所

*2 国立大学法人 山梨大学 工学部

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、市販されているレーザ加工機を用いて、シリコンウェハの加工実験を行い、評価手法の確立を目指すことにした。図1に本研究で使用したYAGレーザ加工機を、また表1にその主な仕様を示す。このレーザ加工機は、本来金属材料の溶断・溶接用のため、シリコンウェハの加工には適していないが、デブリ等の評価用サンプルを作製するために使用した。また、シリコンウェハの表面は鏡面状態になっているため、レーザ光を垂直に照射すると、反射してレーザ加工機自体の光学系に障害を与える可能性がある。そこで、試料を傾斜させて加工実験を行った。傾斜角はおよそ8°である。



図1 使用したYAGレーザ加工機

表1 使用したYAGレーザ加工機の仕様

機種名	(株)日本レーザ製 Lee Laser
レーザ発振方法	ランプ励起Qスイッチ
スキャン方法	XYステージ駆動
レーザ波長	1064 [nm]
パルス幅	180 [nsec]

レーザダイシング加工に適した、レーザビームの成形技術の評価・検討するためには、シリコンウェハにレーザビーム形状を転写加工させ、その加工面の表面形状を測定・評価する必要がある。また、レーザダイシング加工を行う際、特にデブリの発生状態とその元素成分がどのようになるかが問題となる。そこで、次の2種類の加工実験を行い、レーザダイシング加工面の評価技術の研究に必要な試料作製を行った。

- ① レーザ光をスポット的に照射した穴加工
- ② レーザ光をスキャンさせる溝加工

表2に本研究で基準とした加工条件を示す。この基準加工条件に対して、レーザ出力(3.5・4.0・4.5kW)と加工速度(60・300・600・900・1200mm/min)を変化させて実験を行った。また、シリコンウェハの表面状態によって、レーザ光の吸収・反射が変化し、加工面に影響を及ぼす可能性もあるため、4種類の表面状態に調整した試料を作製した。それぞれの表面粗さ(Ra)の値を表3に示す。さらに、アシストガスとして、窒素・ヘリウム・酸素・アルゴンの4種類のガスを用いて、その影響について実験した。

表2 基準とした加工条件

レーザ出力	4 [kW]
Qスイッチ	5 [kHz]
スポット照射時間	10 [sec]
スキャン距離	10 [mm]
スキャン回数	1 [回]
加工速度	60 [mm/min]
レーザ焦点位置	シリコンウェハ表面
アシストガス吐出流量	10 [L/min]

表3 シリコンウェハの表面粗さ

表面状態	表面粗さ・Ra [μ m]
鏡面	0.002
エッチング処理面	0.135
ダイヤモンド砥粒 #4000研磨面	0.300
ダイヤモンド砥粒 #2000研磨面	0.481

2-2 測定方法

本研究では、走査型白色干渉計と電子顕微鏡を用いて、測定・分析を行った。図2および表4に、使用した測定装置の外観と主な仕様を示す。一般的に表面形状を測定する場合は、ダイヤモンド製の触針を接触させてスキャンする、触針式表面形状測定機を使用するが、特



(a) 走査型白色干渉計 (b) 電子顕微鏡

図2 使用した測定装置

にデブリの形状測定の場合、触針がデブリに引っ掛かり、試料表面に傷を付ける可能性がある。そこで、本研究では非接触測定方法である走査型白色干渉計を用いた。また、電子顕微鏡（電子プローブマイクロアナライザー：EPMA）では、デブリの表面観察と、成分元素の定性分析・面分析を行った。

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 NewView 6300
光源	白色LED
測定範囲	0.22×0.22 [mm] (対物レンズ50倍の場合)
測定分解能	0.1 [nm]
CCD画素数	992×992

(b) 電子顕微鏡

機種名	日本電子(株) JXA-8900RI
フィラメント	タングステン製
元素検出器	波長分散型分光器 (4ch) エネルギー分散型分光器
分析元素範囲	B～J

3. 結果

3-1 穴加工の結果について

最初に、鏡面研磨加工されたシリコンウェハに、レーザー光の出力を変化させて照射した場合の、加工穴深さおよびデブリ堆積高さの影響について、走査型白色干渉計で測定した結果を図3に示す。レーザー出力が大きくなると、デブリ堆積高さにはあまり変化が認められないが、加工穴深さは増加する傾向がみられた。

次に、表面粗さが異なるシリコンウェハにレーザー光を照射した場合の、加工穴深さおよびデブリ堆積高さの影響について、その実験結果を図4に示す。シリコンウ

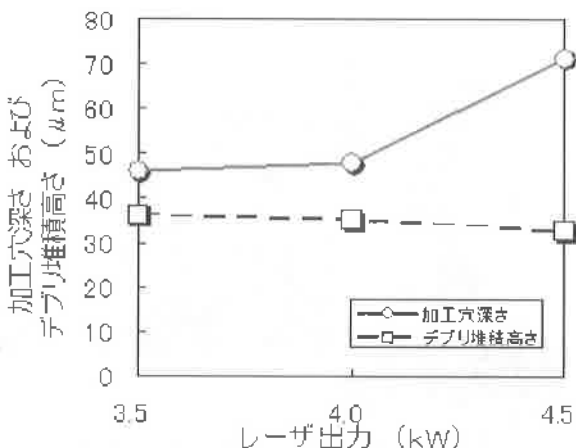


図3 レーザ出力による穴深さ・デブリ堆積高さの影響

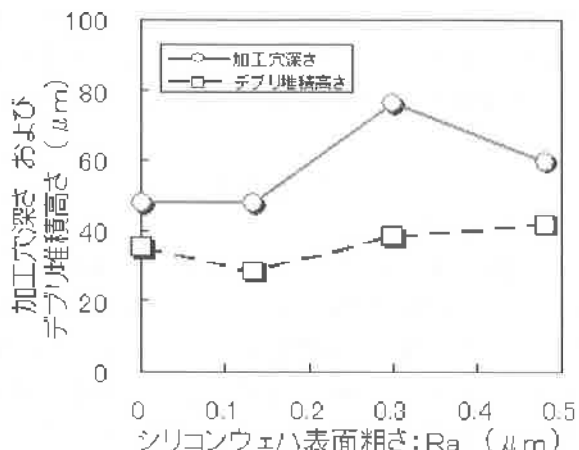


図4 表面粗さによる穴深さ・デブリ堆積高さの影響

ェハの表面粗さが変化しても、デブリ堆積高さはあまり変化していないが、加工穴深さの値は0.3 μm Raで約80 μmと大きくなる傾向がみられた。

最後に、アシストガスを変えた場合の影響について、その実験結果を図5に示す。アシストガス未使用の場合と比較すると、アシストガスを使用した場合は、全て加工穴深さが増加することがわかった。特に深さの順番が、アルゴン・窒素・ヘリウムとなっており、酸素を除いて原子数の大きき順になっている。同じ流量であれば、重いガスをアシストガスとして使用した方が深く加工することが可能と思われる。また、酸素を使用した場合は、アシストガスの中では、加工穴深さが最も浅くなり、加工を阻害することもわかった。

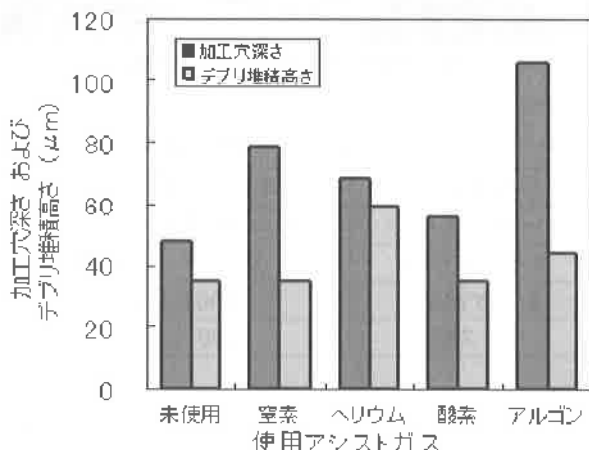


図5 アシストガスによる穴深さ・デブリ堆積高さの影響

図6に、電子顕微鏡で加工穴を観察した結果を示す。アルゴン・窒素・ヘリウムと原子数の大きいアシストガスの順に、加工穴の開口部が大きくなる様子がわかる。また、アシストガス未使用と酸素の場合を比較すると、両者とも加工穴の底までデブリと思われる堆積物が確認でき、ほぼ同様の加工状態であることがわかった。

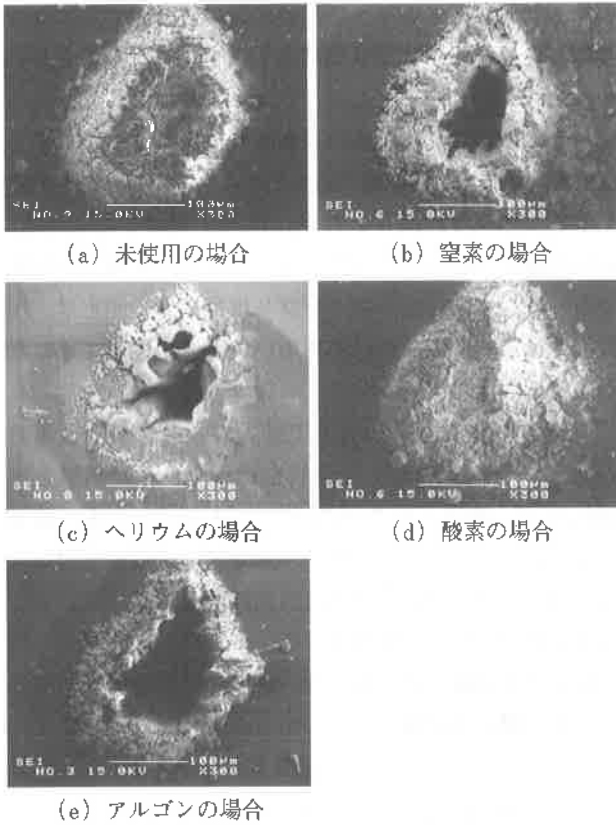


図6 アシストガスによる加工穴の電子顕微鏡写真

3-2 溝加工の結果について

鏡面研磨加工されたシリコンウェハに、レーザー光の出力を変化させて加工した場合の、加工溝深さおよびデブリ堆積高さの影響について、走査型白色干渉計で測定した結果を図7に示す。デブリ堆積高さでは、レーザー光出力の影響は認められないが、加工溝深さについては、レーザー出力を大きくすると増加することがわかった。

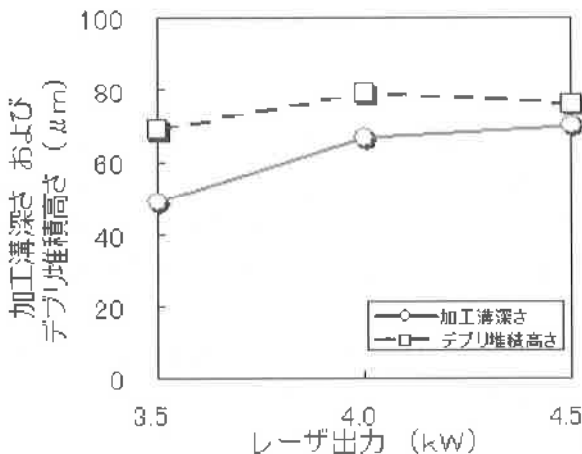


図7 レーザ出力による溝深さ・デブリ堆積高さの影響

前章の穴加工と比較すると、加工深さの値は同様の傾向を示すが、デブリ堆積高さについては、溝加工の方が大きい結果となった。本研究では、レーザー焦点位置をシリコンウェハ表面に固定し、駆動させなかったため、穴

加工の場合、レーザー照射の初期段階で除去加工が終了し、デブリの生成が抑制されたためと考えられる。逆に溝加工の場合は、常に除去加工が行われ、デブリも大量発生しやすい状態だったため、堆積高さが大きくなったと考えられる。

次に、加工速度を変化させた場合の、加工溝深さおよびデブリ堆積高さの影響について実験を行った。その結果を図8に示す。加工速度を大きくすると、加工溝深さもデブリ堆積高さも低下することがわかった。これは、加工速度に対してレーザー出力が不足しており、加工が不十分であったためと思われる。

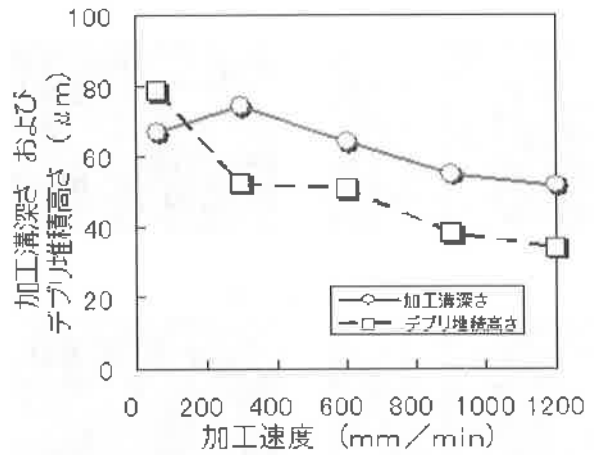


図8 加工速度による溝深さ・デブリ堆積高さの影響

シリコンウェハの表面粗さが異なる場合の、加工溝深さおよびデブリ堆積高さの影響について、実験結果を図9に示す。前章の穴加工の場合と同様に、表面粗さ0.3 μmRa付近の加工溝深さが大きく、他の表面粗さでは加工溝深さが減少する傾向が見られた。

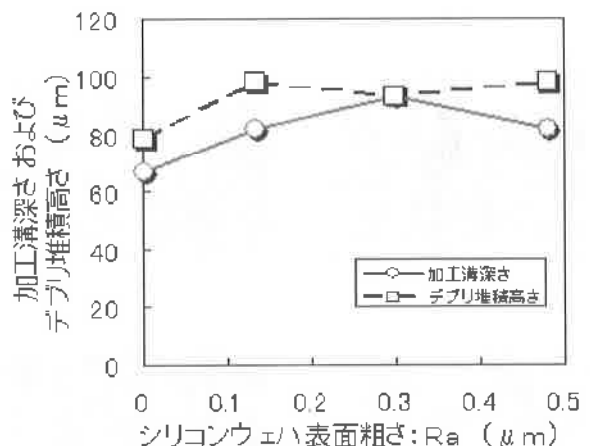


図9 表面粗さによる溝深さ・デブリ堆積高さの影響

最後に、アシストガスを変えた場合の影響について実験を行った。図10に加工溝深さおよびデブリ堆積高さの変化について示す。アシストガスによって、デブリ堆

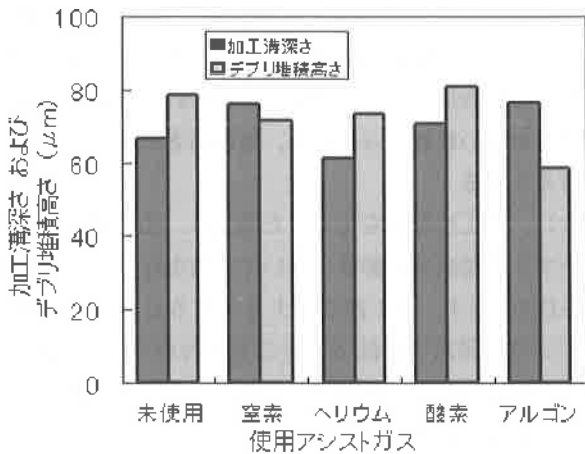
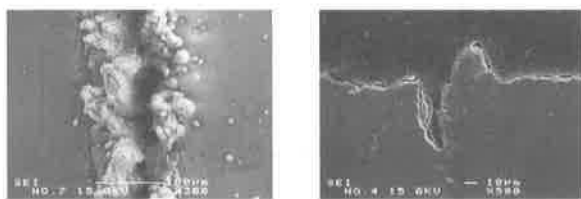
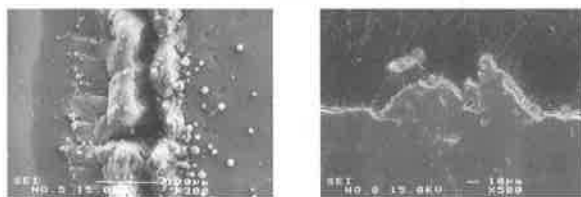


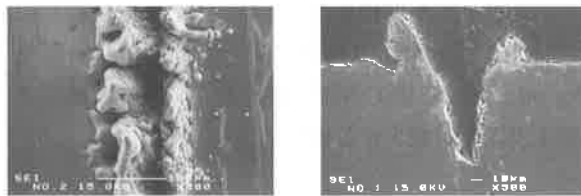
図10 アシストガスの違いによる溝深さ・デブリ堆積高さの影響



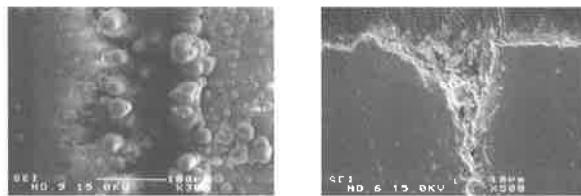
(a) 未使用の場合



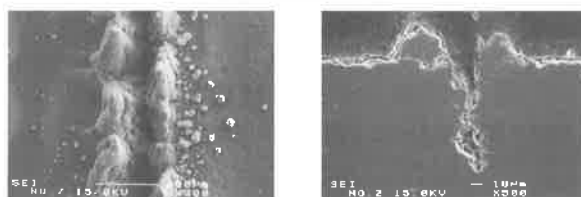
(b) 窒素の場合



(c) ヘリウムの場合



(d) 酸素の場合



(e) アルゴンの場合

図11 アシストガスの違いによる加工溝の電子顕微鏡写真

積抑制効果に差があり、特に原子数の大きいアルゴンを使用した場合が、デブリ堆積高さが小さくなることがわかった。

電子顕微鏡で溝加工部の表面と断面を観察した結果を図11に示す。全ての加工条件において、レーザー光により溶解したシリコンが、急激に冷却・凝固したような、丸みを帯びた形状のデブリであり、非常に不均一な状態であった。このことから、デブリ堆積高さの測定は、現段階では走査型白色干渉計を用いた方法が適していると思われる。

デブリの部分をも4000倍まで拡大し、デブリに含まれる元素について簡易定量分析を行った。その結果を図12に示す。検出された元素は、シリコン・炭素・酸素がほとんどであったが、アシストガスに窒素を使用した場合は、デブリから窒素も検出された。また、アシストガス未使用の場合と比較すると、ヘリウムを使用した場合はデブリの酸化が抑制され、逆に酸素を使用した場合は酸化が促進されることがわかった。

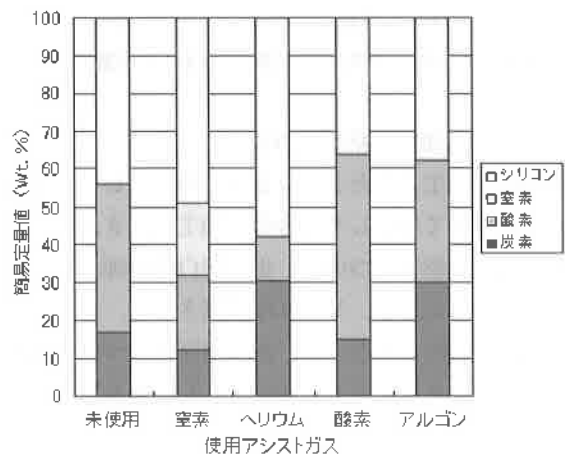
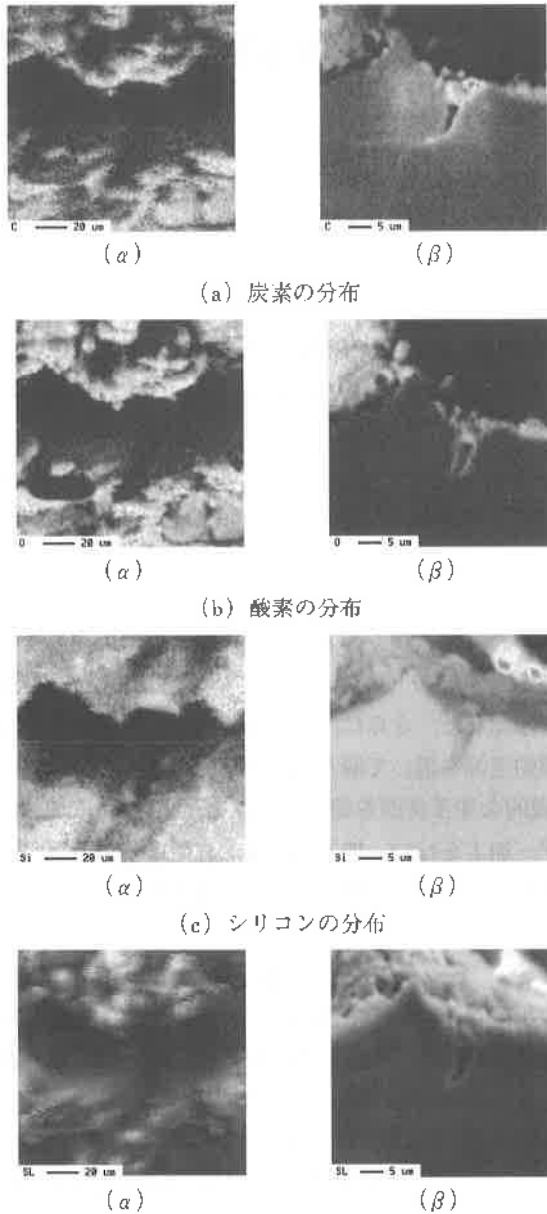


図12 デブリの簡易定量分析結果

最後に、デブリの部分について、検出された元素がどのように分布しているか確認するため、面分析を行った。その結果の一例として、アシストガス未使用の場合について、シリコンウェハの表面と断面の分析結果を図13に示す。黄色から赤色の部分が元素の反応が強く、青色から黒色の部分が弱い表示になっている。シリコンウェハ表面のデブリの部分で、酸素と炭素がより強く検出されており、酸化物および炭化物がシリコンウェハ表面に堆積していることがわかった。また、断面の分析結果から、酸化・炭化反応は表面のデブリの部分のみで、シリコンウェハ内部までは及んでいないこともわかった。

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



(a) 炭素の分布
(b) 酸素の分布
(c) シリコンの分布
(d) 電子顕微鏡写真
図13 デブリの面分析結果
(アシストガス未使用の場合)

今後の課題点として、まずレーザーダイシング加工面の加工変質層を、如何に測定・評価するかである。製品の加工に適用した場合、加工変質層の存在は品質に大きな影響を与える可能性があるため、評価方法などについても検討する必要がある。

また、デブリ形状の測定についても、本研究で使用した走査型白色干渉計以外で、非接触方法で測定可能な装置があるか、平行して検討する必要がある。

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)

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、加工条件やアシストガスの種類を変化させて、加工量やデブリ堆積高さを測定した結果、アルゴンをアシストガスとして用いることに有効性があることがわかった。さらに、デブリの分析結果より、デブリには酸化反応や炭化反応が起きること等がわかった。

次年度から、試作したレーザーダイシング加工機による実験が本格的に行われる。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、今後もレーザー装置の最適化を図るために必要な、レーザーダイシング加工面の測定・分析を行う予定である。