# 平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「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」

# 研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 関東経済産業局 委託先 財団法人やまなし産業支援機構

# 目次

第1章 研究開発の概要
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 1 -
1-1-1 研究背景-1-
1-1-2 研究目標-3-
1-2 研究体制(研究組織·管理体制、研究者氏名、協力者)
1-2-1 研究組織(全体)
1-2-2 管理体制5-
1-2-3 研究者氏名、協力者6-
1-3 成果概要
1-4 当該研究開発の連絡窓口 7-
第2章 研究内容および成果 8 -
2-1 ①レーザダイシングにおける最適なレーザビームの開発
①-1 レーザビームの短波長化8-
①-2 レーザビーム形状の制御法 9 -
①-2-1 レーザビーム形状の最適化
①-2-2 ビームノイズ成分の抑制9-
①-2-3 出力の高安定化方法 10 -
2-2 ②製品適用へのレーザダイシングアプリケーション開発
②-1 切断幅の縮小化 12 -
②-2 シリコンのデブリ堆積の低減 12 -
②-3 高速なカットスピード 13 -
②-4 抗折強度の確保 13 -
②-5 製品適用実験 15 -
2-3 ③レーザダイシング加工面の測定・分析
③-1 レーザビームの形状測定 17 -
③-2 ダイシング加工面の測定・評価
第3章 全体総括20 - 20 -

#### 第1章 研究開発の概要

#### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### 1-1-1 研究背景

現在では、ネットワークを通じた情報化社会の発達において ID(固体識別)は必要不可欠であり、バーコード ではない IC チップを使用した認識方法の利用拡大をさらに促進するためには出来るだけ安く IC チップを製造 することが望まれている(図 1-1.1 参照)。



図 1-1.1 IC チップ市場のニーズ

また、携帯電話等の普及に合わせ、情報化社会のネットワークにいつでも接続するための機能も充実し、これからのユビキタス社会において、高機能な情報端末を持ち歩き出来る大きさの中に実装するための技術ニ ーズも非常に高まってきている(図 1-1.2 参照)。



図 1-1.2 ダイオードの市場のニーズ

このため、電子部品の電子デバイスに用いられる半導体ウェーハは、年々、小型化・高機能化・低価格化が

進んでいる。特にスマートカードや IC タグ等の普及拡大を図るためには、高密度パッケージング用半導体チッ プの価格を安くすることと、紙の中にでも搭載できるような小チップ化が大変重要な要素となっている。例えば、 情報端末等(携帯電話やパソコン、PDA など)に搭載される部品は、近年、0603(パッケージの大きさは 600 µm×300 µm)というパッケージ要求があるが、更に 0402(パッケージの大きさは 400 µm×200 µm)とい うようなパッケージ要求も出始めているのが現状である。これに伴い、半導体チップも小チップ化しなくては搭 載できない状況にきている(図 1-1.3 参照)。



図 1-1.3 小チップ化の要求

IC チップや高機能な情報携帯端末等に搭載される半導体チップの従来のダイシング方法は、ダイヤモンド ブレードを高速回転させることで半導体ウェーハを切削・チップ化する、ブレードダイシングと呼ばれるものであ る。現状では半導体チップはこの技術によって量産化されているが、その切断幅はブレードに含まれるダイヤ モンド粒子サイズと機械的強度から 40μm が量産上の限界となっている。

また、半導体ウェーハの固定をポリオレフィン(PO)や塩化ビニル樹脂(PVC)といったアクリル系の糊を塗布 した切断用のテープに貼り付けて高圧の水をかけながら高速に回転するダイヤモンドブレードで切断している ため、小チップになると切断時の振動と衝撃で固定ができなくなり、ダイシング中に半導体チップが欠ける等の 問題も出てくる。

今回研究開発を進めるレーザダイシングは水を使わずかつ非接触であるという特徴を有し、古くから研究が なされてきている。しかし、研究開発当初はレーザ装置が高価で複雑であり、切断面の焼け焦げによるデブリ 付着(アブレーション加工によるシリコン粒子の堆積)が多かったため、半導体ウェーハ(シリコン基板)の加工 にレーザを用いることは現実的ではなかった。

しかし、その後小型で安価な YAG レーザが開発されたことから、レーザはシリコン加工に有効な手段となっ てきており、その応用システムが本研究に取り組む3年ほど前より提案されている。加工方法としてはステル スダイシング加工(変質層形成加工)、Water Jet レーザ加工、Water micro-drop 加工等が研究されているが、 塩山製作所で各々の加工方法を検討した結果、次のことが明らかとなった。

(ア) ステルスダイシング加工は、レーザビームを半導体ウェーハ内部に透過させるため、集光スポットを

浅い位置にすると目標の 1/2 の切断幅にはなるが、50μm 以上の深い集光スポットでの加工では 40μm 以上の切断幅が必要となる。さらに、内部に変質層を形成し、その変質層を起点に半導体ウ ェーハをブレークするという方法では、目的としている小チップはダイシングできないという評価結果 が得られた。

- (イ) Water Jet レーザ加工では、デブリの堆積は無いが水を大量に使用するという点、及び切断幅はその水を噴射させるノズルの太さで決まるが、現状では 40µm 以下のノズルが加工できないという点から、目標をクリアできないという評価結果が得られた。また、ダイシングの際には半導体ウェーハをテープで固定するが、この加工方法では水がテープを突き抜けなければならず、現状のテープでは、繊維の隙間が1mm 程度あり、今後の小チップの固定は全く不可能という評価結果も得られた。
- (ウ) Water micro-drop 加工では、目標とする切断幅はクリアできるが、レーザダイシングの一番の特徴 であるドライ状態(水を使用しない)で加工できない点を受け、検討から外すという評価結果に至った。
- (エ)フェムト秒レーザ加工については、デブリの堆積、ドライ加工という点では今後大いに期待できる加 工方法となっている。しかし、装置が大変高額であり、加工スループットが悪いという点において、現 状では量産適用が難しいという評価結果が得られた。

上記のような基礎評価から、現状、アブレーション加工が有効ではないかと考えられる。アブレーション加工 特有のシリコンのデブリ堆積という問題解決、及び目標とする 1/2 の切断幅、加工スピード、コスト面等を考え て、2 年ほど前から YAG レーザを使用し、第 3 高調波である 355nm の波長を利用して量産化に向けた基礎 実験を行ってきた(第 2 章参照)。この結果、更に短波長なレーザビームを高効率に作製し、半導体ウェーハ 切断に最適なビーム形状に整形する必要性があるという課題が見えた。そこで今回の研究では、山梨大学の 技術シーズを利用することで、デブリ堆積の無い、切断幅の小さなレーザシステムとアプリケーションを開発す ることを目的に研究を進め、量産技術として適用を図る。

1-1-2 研究目標

本研究では、半導体ウェーハのブレードダイシング工程において、従来のダイヤモンドブレードに替えてレー ザビームを用いることで切断幅の縮小や半導体チップ形状の微細化・高精度化を可能とし、1枚の半導体ウェ ーハからより多くの半導体チップを切り出すことができる、レーザシステムとアプリケーションを開発することを 目標とする。

そのためには、切断幅を20µm 程度まで縮小することや、加エスピードを300mm/s以上に保ったまま1回 のレーザ照射でのフルカットを目指すことが重要なポイントになる。しかし、この加工条件を満たすレーザダイ シング技術の確立は容易ではない。これまで既製品のレーザダイシング装置を用いて適正加工条件を検討し ていたが、現時点で実用化することはできなかった。特に、1回のレーザ照射でフルカットを可能にするために はレーザの波長を更に短くし、光学系で集光する前段階でレーザビームの強度分布を均一なものにし、ビーム のノイズ成分を取り除き、出力を安定した上でダイシング加工に適用しなくてはならない点が判明し、その時点 の設計から検討しなければならないことが明らかとなった。また、レーザビームによるデブリや焼け焦げ等によ り、品質面での新たな問題が生じることも懸念される。



# 1-2 研究体制(研究組織·管理体制、研究者氏名、協力者)



# 1-2-2 管理体制

①(事業管理者)財団法人やまなし産業支援機構



2(再委託先)

株式会社塩山製作所





# 1-2-3 研究者氏名、協力者

# ①事業管理者

財団法人やまなし産業支援機構

	氏名	所属·役職	実施内容(番号)
ſ	廣瀬 正文	専務理事	定例打合せへの参加
	山口昭一	常務理事	"
	窪田 文明	中小企業振興部長	//
	一瀬 修	中小企業振興部経営支援課長	//
	秋山 育也	中小企業振興部経営支援課課長補佐	"

# ②再委託先

株式会社塩山製作所

氏名	所属·役職	実施内容(番号)
松坂 浩志	代表取締役社長	①、②、定例打合せへの参加
山田 耕平	L研究室室長	"
佐藤 孝志	営業技術部長	"
横山 一成	技術課員	"
土橋 正典	L研究室研究員	"

国立大学法人 山梨大学

氏名	所属·役職	実施内容(番号)
張本 鉄雄	大学院医学工学総合研究部 工学部 機械システム工学科 教授	①、定例打合せへの参加

山梨県工業技術センター

氏名	所属·役職	実施内容(番号)
高尾 清利	高度技術開発部高微細加工科 研究員	③、定例打合せへの参加
小松 利安	高度技術開発部高微細加上科 研究員	//

③協力者

国立大学法人信州大学

氏名	所 属・役 職	実施内容(番号)		
細野 高史	工学部機械システム工学科 助教	定例打合せへの参加		

#### 1-3 成果概要

- ①YAG の第2高調波、第3高調波及び第4高調波を利用してレーザビームの強度分布を光学系で集光する前に均一化し、出力を安定させることで加工に適した波長変換とエネルギーの組み合わせができ、加工に必要な光学調整を自動に行う装置が完成した。また、さらにそれを搭載させたダイサーの実験機を製作した。
- ②切断幅 20 μ m 以下、高速カット(300mm/s)、ドライカット(環境負荷の低減)、及び超薄型ウェーハの高速 切断を実現した。
- ③チップサイズ 0.15mm×0.15mm 以下のダイシングが可能となった。
- ④レーザダイシングした半導体チップを製品評価にかけたところ、組立時にデブリによって不具合が生じていたが、デブリ堆積量を2μm以下に調整するダイシング条件を適用することで不具合を回避できた。
- ⑤特性の変動や信頼性、レーザによる特有の汚染等はなく、シリコンにおいてレーザダイシングの適用は問 題ないことが確認できた。
- ⑥抗折強度は従来技術に比べると約60%程度低下することがわかった。
- ⑦各波長(532・355・266nm)に対応したレーザ自動光学ボックスを開発した(加工に必要なエネルギー密度 から自動的に光学形状を変更する光学システム)。

連絡先·連絡担当者	住所
株式会社塩山製作所	〒404-0043
代表取締役 松坂 浩志	山梨県甲州市塩山下於曽 276
	TEL 0553-33-3136
国立大学法人山梨大学	〒400-0016
大学院医学工学総合研究部	山梨県甲府市武田 4-4-37
教授 張本 鉄雄	TEL 055-220-8360
山梨県工業技術センター	〒400-0055
高度技術開発部	山梨県甲府市大津町 2094
研究員 小松 利安	TEL 055-243-6111
財団法人やまなし産業支援機構	〒400-0055
中小企業振興部経営支援課	山梨県甲府市大津町 2192-8
課長補佐 秋山 育也	TEL 055-243-1888

1-4 当該研究開発の連絡窓口

#### 第2章 研究内容および成果

- 2-1 ①レーザダイシングにおける最適なレーザビームの開発
- ①-1 レーザビームの短波長化
- ①-1-1 マルチ結晶方式を用いた波長変換の検討

波長変換によるグリーン及び紫外レーザ光の発生では、非線形光学結晶における Walk-off 効果は基本波 から高調波への変換効率の低下等を招いてしまう。高い変換効率を得るには、2 枚または 4 枚のマルチ方式 を用いた波長変換配置が必要である。本研究では、532nm のグリーンレーザの発生には、2 枚長さ 15mm の LBO 結晶を用いることにした。その結果、最高 70%の変換効率を得ることができた。また、図 2-1.1 に示すウェ ーハの穴あけ加工の結果より、Walk-off が補償されたことによってレーザビームパターンは真円に近く、高ビー ム品質であることが示された。



図 2-1.1 マルチ方式による Walk-off の補償効果

#### ①-1-2 短波長発生の高効率化検討

266nm の紫外レーザ発生の実験では、532nm グリーンレーザの発生には 2 枚 LBO 結晶を使用し、266nm 紫外レーザの発生には BBO 結晶を 1 枚使用した。BBO 結晶のウォークオフ角の制限で、結晶長さが 4mm の ものにした。また、焦点距離が 5cm の集光レンズを使用して高変換効率を図る。紫外レーザ出力の実験結果 については、図 2-1.2 に示すように、532nm グリーンレーザの入力パルス幅が 10ns の時、最大変換効率 30.2%で、入力パルス幅が 12ns の時では最大 1.7W の紫外レーザが得られた。



#### ①-2 レーザビーム形状の制御法

# ①-2-1 レーザビーム形状の最適化

レーザビームの形状は一般にガウシアンビーム(Gaussian beam)分布のものが殆どである。レーザビーム形 状をビーム整形器(ビームシェイパー:Beam shaper)で、ガウシアンビームからフラットトップビーム(Flattop beam)へとほぼ 100%の効率で変換を行うことが可能である。本研究で使用した屈折型ビームシェイパ(GBS-UV-H)は、一対の非球面レンズを用い、ガウシアンビームである入射光をポイント・ツー・ポイントでマッピング し強度をフラットトップの出力に再分散させることにより、コリメートされたフラットトップビームを生成する。このビ ームシェイパーの特性については、グリーンレーザを用いて確認した。ビーム形状をライン CCD センサーで測 定し、最大強度の e<sup>-2</sup>に対応するところにおける空間範囲をビーム形状として評価して、ビームシェイパーのビ ーム整形効果を検証する。入射レーザビーム径が 5.3mm のとき、出射したビーム径は 7.7mm となり、設計の 仕様に近いものとなったことが確認された(図 2-1.3)。



# ①-2-2 ビームノイズ成分の抑制

ビームノイズはレーザパルスの時間領域のものとビーム形状における空間領域のものに分けられ、周波数 領域では高周波数成分に当たる。ビームの空間分布に生じたノイズは、主に光学系の回折や散乱に起因する が、時間波形におけるノイズは主にレーザ共振器にある Q-スイッチ等の電気制御系によるものである。レーザ を用いたウェーハ加工では、パルスの立ち上がりの部分にサブパルスやパルスペデスタルが生じてしまうと、 このノイズ成分はメインパルスより先にウェーハと相互作用してしまい、ウェーハの加工結果への有効制御に 支障を生じてしまう可能性がある。本研究では、波長変換を用いて紫外レーザである 266nm のレーザを発生 するため、時間的なノイズ成分はこの波長変換過程でフィルターされ、ノイズレベルの低い紫外レーザを得るこ とができる。図 2-1.4 に測定した 266nm レーザパルスの時間波形を示したもので、ノイズレベルが 0.75%以下 の紫外レーザビームを発生することができた。



図 2-1.4 266nm レーザパルスの時間分布(40A/60kHz)

一方、空間的なノイズも高周波数成分であり、集光レンズで集束されると、その高周波数成分は焦点におけ るビーム分布(スポットサイズ)の外側に広がってしまって、レーザ加工を行う際に、カーフ幅の範囲から離れた ところにもノイズ成分によって僅かに加工される可能性もある。本研究では、実験装置上の制限で焦点分布を CCD センサーで直接に確認することができないが、266nm レーザを用いたウェーハの加工結果から集光ビー ムにおける空間ノイズ成分を間接的に確認することとした。その結果、ビームスポットサイズ以外にはノイズ成 分が確認することができなく、波長変換によるビームのフィルターリング効果が認められた。今後の課題として は、CCD センサーで直接に焦点におけるビーム分布を求める方法の確立が必要になる。



図 2-1.5 266nm 紫外レーザ光の出力安定性(パルス幅 10ns、注入電流 40A)

### ①-2-3 出力の高安定化方法

超低ロスの BBO 結晶では紫外レーザに対する吸収係数の情報がまだ公開されていないが、従来の BBO 結晶の吸収係数によると、532nm グリーンレーザに対する吸収よりも 266nm 紫外レーザに対する吸収が 17 倍ほど大きいので、BBO 結晶の紫外吸収により自己加熱をしてしまい、位相不整合状態になり、それによって、時間の経過に伴う出力が低下する現象をもたらしていると考えられる。この自己加熱の対策として、BBO 結晶

の温度制御を行うことによって、紫外レーザの出力の安定化を図る。温度制御には熱電素子を使用し、温度制御のための BBO 結晶ホルダーも自作した。図 2-1.5 に示す実験結果より、BBO 結晶の温度を恒温にしてから、 1 時間の出力を測定した。結果から出力の変動が 0.9%であることから安定したものが得られた。

# ①-2-4 レーザビームの集光方法

実際にレーザ加工を行う際にレンズによる焦点位置での強度分布は Fraunhofer 近似の回折理論で間接的 に推測することができる。Fraunhofer 近似の回折理論では、入射ビームの位相分布が同じである場合に、集光 レンズの焦点におけるレーザビームの強度分布が入射レーザビームの Fourier 変換に比例することが明らか であり、これを用いて焦点のビーム分布を直接に測定せず、入射ビーム分布だけでも推測することができる。 実際に測定した集光レンズ前の入射ビーム分布に基づき、Fourier 変換で焦点におけるビーム分布の予測結 果を求めた。図 2-1.6 に回折理論で求めた焦点におけるビーム分布の結果より、ビームシェイパーを通過する ことによって、ペデスタルがあったものの、集光サイズが小さくなったことが明らかになった。



図 2-1.6 測定した入射ビーム分布を用いて推測した焦点のビーム分布

2-2 ②製品適用へのレーザダイシングアプリケーション開発

#### ②-1 切断幅の縮小化

本研究で開発した集光レンズを使用することで、どのパルスエネルギーを利用しても 20 µ m 以下の切断幅 が確保できるようになった(図 2-2.1 参照)。



図 2-2.1 パルスエネルギーに対する切断幅

# ②-2 シリコンのデブリ堆積の低減

製品組立実験でデブリ堆積量が2µm以下の製品については問題なく組み立てられたことから、デブリ堆積 量を2µm以下に抑えることで条件確立とすることとした(問題点については図2-2.2参照)。本研究では種々 実験を行い、照射回数(1mm当たりに打ち込むレーザビームの照射回数)をデブリ堆積が2µm以下になるよ う制御した状態で、シリコンウェーハの所定の厚みのフルカットが可能となる条件を作り出せることがわかった。 本研究においてデブリ堆積量を2µm以下に維持した状態で加工できたウェーハの厚みは140µmが最大で あった。照射回数を増加すると加工深さは深くなるのだが、140µm以上のものについてはシリコンがカット面 から飛散せず、埋め戻りの現象が見られた。



図 2-2.2 デブリ堆積による組立不良の出来るメカニズム

#### 2-3 高速なカットスピード

デブリ堆積量を2μm以下の高さに抑えながら20μm以下の切断幅を確保するダイシング条件はいくつか 確立できた。その上で(加工品質(デブリ、切断幅)を保った上で)加工スピードをアップするには、必要なパル スエネルギーを確保した状態で発振周波数を大きくし、加工点の照射回数の最適条件を一定に保つことで目 標とする加工が可能となることがわかった。

今回使用したレーザ装置の加工範囲(現状開発に使用しているレーザ光源のパルスエネルギー範囲から加 エ可能なスピード範囲を示したもの)を図 2-2.3 に示す。これまでの研究で厚さ 30 µ m 以上のウェーハを加工 する場合は 100 µ J 以上のパルスエネルギーが必要なことが明らかになっており、使用しているレーザ光源(コ ヒレント社製 AVIA355-23)では、その周波数毎の最大パルスエネルギー分布より最大で 160kHz の周波数を 利用して加工できることがわかる。その際の加工スピードは 4000mm/s にもなり、レーザ光源の面から見た場 合は当初目標とした 300mm/s 以上の加工スピードを確保できることがわかった。また、装置的な面から見た場 合、12 インチウェーハをダイシングすることを前提とすると加工に使用するテーブルの重量はおよそ 30kg 程度 あるのだが、本研究の中でさらに 1000mm/s まで加工スピードをアップさせる余地があることがわかった。



図 2-2.3 AVIA のパルスエネルギー分布とテーブルスピードの関係

### ②-4 抗折強度の確保

最終的な加工条件でダイシングしたチップの抗折強度を3点曲げ試験と球抗折試験により測定したが、従 来のブレードダイシングによる抗折強度には届かなかった。最終的な加工条件による抗折強度データを図2-2.4 に示す。ブレードダイシング後のチップの抗折強度は平均で736MPaであったのに対し、パルス幅40nsの レーザ光源によるレーザダイシング後のチップについては平均で236MPaと32%程度に低下した。抗折強度の 低下原因については、後述のデブリの分析で明らかなように、レーザダイシングにおけるチップ端面へ熱影響 層が入り、さらにその外側に熱によるシリコンの再付着層が形成されることが挙げられる。また、熱影響層は チップ端面に入り込んでいるだけでチップ内部にはその影響を与えていないことが図2-2.5に示す球抗折試験 結果から明確になった。このチップ端面の熱影響層をなくすためにより短いパルス幅15psのレーザ光源を利 用してダイシングしたチップの抗折強度を試験したが、その値は平均で291MPaと、パルス幅40nsでのレーザ ダイシングに比べると120%程度アップしたものの、ブレードダイシングには遠く及ばなかった。



図 2-2.6 球抗折試験結果



図 2-2.7 チップ端面の SEM 写真(左:ナノ秒レーザ加工端面、右:ピコ秒レーザ加工端面)

しかし、SEM(走査型電子顕微鏡:Scanning electron microscope)による観察結果(図 2-2.7)からもわかるように、ナノ秒レーザよりもピコ秒レーザによる加工端面のほうが熱影響層は小さく、このことにより抗折強度の 分布も小さくなり、また、平均値もアップするという結果に繋がった。

また、実際の製品へのレーザ適用による抗折強度の影響について、その影響は明確に出されてはいないが、 ASET(技術研究組合超先端電子技術開発機構:Association of Super-Advanced Electronics Technologies)の 極薄ウェーハのダイシング評価結果(表 2-2.1)によると最小値 200MPa 以下を評価×とし、最小値 200MPa~ 1000MPa を評価へとしていることから、製品への適用については抗折強度の製品適用規格を明確にしなくて はいけないが、小チップ等の製品においては抗折強度の影響は少ないことから製品によってはレーザの適用

	品質								
	表面チ ( <i>μ</i>	ッピング m)	裏面チッピング ( μ m)		抗折強度(Mpa) (注1)		その他		総合 判定 (注3)
ウエーハ厚さ	10 µ m	30 <i>µ</i> m	10 µ m	30 <i>µ</i> m	10 µ m	30 <i>µ</i> m	10 µ m	30 <i>µ</i> m	()/
ブレード	0	Δ	ΔΟΔ		泪	×	0	0	×
DBG	×	0	0	Ø	定器	0	BG時 クラック(×)	0	0
ステルス	Ø	Ø	Ø	Ø	か 対 応	×	破砕層 不安定 ×	0	×
n秒レーザ	0	0	0 0		せ ず 測	×	0	糊残り ×	×
f秒レーザ	デブリで 測定不可	<ul> <li>デブリで 測定不可</li> <li>激定不可</li> <li>粘着力強く 取出不可</li> <li>〇</li> <li>〇</li> </ul>		Δ	定不	Δ	粘着力強く 取出不可	0	×
特殊レーザ				0	可	Δ		0	Δ
判定基準	10 µ m↓			(注2) 不可			可		
特記	(注1)上段:ミラー面を下、下段UPG面を下にして測定。 (注2)Min値200MPa以上を「×」、200~1000MPaの範囲を「△」、Min値500MPa以上 (注3)30μmの結果で判定(抗折強度を重視)								

表 2-2.1 薄型ウエーハダイシング評価結果(出所:ASET)

#### ②-5 製品適用実験

厚み 90μm のシリコンウェーハを最終的なダイシング条件で 100 枚加工し、切断幅、デブリ堆積量の量産 安定性及び製品に適用した際の信頼度を確認した。

今回出した最適条件を利用して連続的に加工し、ダイシングされたシリコンウェーハの切断幅及びデブリの 堆積量を金属顕微鏡とレーザ顕微鏡を利用して抜き取り検査によって観察した。切断幅データについては図 2-2.8 に、デブリの堆積データについては、図 2-2.9 を示すが、非常に安定した分布となっている。

切断幅については最大値が 18μm で1 点突出したデータとなっているが、切断幅分布としては 8μm から 15μm に入る正規分布となっていることから量産に向けた条件としては十分な実力を持つものである。

デブリ堆積量に関しては図 2-2.9 に示す通り分布の幅が広くなっているが、2µm以下には十分入っている ことから量産には問題ないものと考える。しかし、さらにデブリ堆積量を減らすためには1パルスでどれだけ効 率の良いアブレーションができるかが今後の大切な要素となるものと考える。今後はレーザ照射を行うことでダ イシング断面への再付着をどれだけ少なくできるかが抗折強度のアップやデブリ堆積量の低減に繋がることか ら1パルスのパルスエネルギーをどれだけ大きいものに出来るかと1パルスで最も効率のよいアブレーション を起こすためにはより短いパルスを可能にするかが重要である事から、レーザ光源に対する要求としてこのこ とを挙げておきたい。



図2-2.8 切断幅分布

図2-2.9 デブリ高さ分布

最終条件での加工について信頼度確認を行い、長期に渡る製品使用でもレーザ加工による問題点が発生しないかを検証したところ、500時間の信頼性評価においても特性に変化がないことが確認できた(表 2-2.2 参照)。

品名	試験項目	サンプル数	不良	<u>又率(不良数</u>	<u>枚∕試験数</u>	量) 11-1-	判定
	高温逆バイアス	各40ケ	0/40	0/40	0/40	IKn	$\bigcirc$
	高温高湿 逆パイアス	各40ケ	0/40	0/40	0/40		$\bigcirc$
サンプル製品【A】	高温高湿放置	各40ケ	0/40	0/40	0/40		$\bigcirc$
サンプル製品【B】	PCT	各40ケ	0/40	0/40			$\bigcirc$
	耐はんだ熱(1)	各22ヶ	0/22	0/22	0/22	0/22	$\bigcirc$
	耐はんだ熱(2)	各22ヶ	0/22	0/22	0/22	0/22	$\bigcirc$

表 2-2.2 評価製品結果(VC ダイオード)



図2-2.10製品レベルウェーハ

#### 2-3 ③レーザダイシング加工面の測定・分析

#### ③-1 レーザビームの形状測定

#### ③-1(1) はじめに

シリコンウェーハのダイシングに適したレーザビームの成形技術や、レーザダイシング加工装置の開発を行う上で、シリコンウェーハを実際に加工し、その加工形状やデブリの状態を測定する必要がある。そこで、本章ではレーザダイシング加工機の最適化を図るために必要な、レーザ加工面の表面形状を測定・評価する技術について検討した。

#### ③-1(2)研究内容

レーザ加工面の形状測定を行うために、走査型電子顕微鏡を使用する、触針式表面粗さ計を用いる等、研 究期間中さまざまな測定方法を検討してきた。その中で、加工サンプルを切断・断面上に見られるダイシング 加工溝の深さを画像処理装置で測定する方法と、走査白色干渉計等を用いてデブリ堆積高さを非接触で測定 する方法が最も適していた。

図 2-3.1 に、全加工条件について、加工溝深さとデブリ堆積高さの相関関係を、1つにプロットした図を示す。 数値的に多少バラツキが大きいが、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して いる。ただし、個々の加工条件について詳細に検討したところ、加工溝深さが約 100 µ m 以上になると、デブリ 堆積高さの増加量が鈍化することが分かった。



図 2-3.1 加工溝深さとデブリ堆積高さの相関関係

また、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観察すると、加工変質層を比較的明確に確認できることも分かった。図 2-3.2 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。 レーザの発振周波数が 50kHz から 80kHz で比較的安定した加工が得られ、レーザ出力 13W 前後で加工変質層幅は 18μm 程度になった。



# ③-2 ダイシング加工面の測定・評価

③-2(1) はじめに

レーザダイシング加工を製品に適用する場合、切断加工面の表面形状と共に、ダイシング加工面に付着し たデブリ等の成分や、加工変質層(ひずみ)の状態も重要な課題である。電子顕微鏡(電子プロープマイクロア ナライザー)等の各種分析装置を用いて、レーザダイシング加工面の評価技術について検討した。

### ③-2(2)研究内容

シリコンウェーハ表面を斜め研磨加工して分析対象範囲を拡大した上で、電子顕微鏡を用いた分析結果を 図 2-3.3 に示す。加工溝側面から細かなクラックが入り、微小な固まりを形成する状態が観察できた。これは、 シリコン内部まで熱が瞬間的に伝わり、融解・再凝固が生じたためと推察される。また、炭素(C)と酸素(O)の 反応は加工溝表面部に強く、シリコン内部までは反応しないことも分かった。





(a)斜め研磨面の電子顕微鏡写真
 (b)斜める
 (b)斜める
 図 2-3.3 電子顕微鏡を用いた分析結果

(b)斜め研磨面の面分析結果

さらに、ラマン分光分析方法を用いてダイシング面のひずみを分析し、レーザダイシング加工面の評価・検討 を行った。図 2-3.4 に分析結果を示す。本研究で開発したレーザダイシング加工装置の性能を評価するため、 他社装置でレーザダイシング加工した試料も分析を行った。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。従来加工方法であるブレードダイシング加工の場

合よりは大きな残留応力が発生するが、他社装置でレーザダイシング加工した場合と比較すると、本研究で開 発した装置は加工変質層を低減していた。



図 2-3.4 ラマン分光分析結果

#### 第3章 全体総括

平成 19 年度より3 年間の期間で、シリコンウェーハに最適なレーザダイシング技術について、レーザビー ム形状の制御、ビーム形状の最適化、ビームノイズ成分の抑制、出力の高安定化したレーザ光を用いて最適 な集光経路を色々な条件を変えることで、繰り返しシリコンに照射し、量産製品に適用できるレーザ照射条件 による加工アプリケーションの開発とその光学系を制御するシステムを完成させることができた。

今後は、今回開発した加工アプリケーションを利用した受託加工分野での事業化に向けた取り組み体勢を どのように取るかに重点を移していく。同時に、現在、レーザ加工の応用分野はシリコンでは多孔質層間絶縁 膜等の加工応用が既に始まっているが、今回の加工アプリケーションをまずはこの分野に量産適用し、併せ て LED の基板であるサファイヤや、省エネ電力等で注目されているシリコンカーバイド(SiC)やガリウムナイト ライド(GaN)といった最先端パワーデバイスへの適用や化合物半導体への適用も課題として進めたい。

現在のレーザダイシング加工の市場はまだまだ小さいが、今後はこの技術を利用する製品の加工を中心に 現在主流となっているブレードダイシングでは加工できない製品の加工を取り込み、独自技術として更に進ん だレーザ加工を提供できるよう、早い段階で量産技術に移行したい。

最後に、今回の共同研究については、研究メンバーの皆さんはもとより、山梨大学知的財産経営戦略本部 特任調査専門員 理事 田中 正男様はじめ山梨大学の産学官連携の関係者の皆様、甲府商工会議所 中 小企業振興部 小林 明様、花田 智様、山梨中央銀行 営業本部 有井 昇執行役様には、研究場所である 山梨大学のインキュベーションルームの開設等にご協力頂き、本研究が大学の中に設置できたことで非常に 研究環境としてよい場所の提供を受けることができました。また、製品評価に付きましては株式会社ルネサス テクノロジ ダイオード設計部の皆様、分析に付きましては株式会社ルネサス小平セミコン様、他多数の皆様 のご協力を頂き、3 年間の研究を無事終了できましたこと、大変感謝すると共にこの場をお借りしてお礼申し上 げます。