

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | パルスレーザー誘起構造変化の計測とその応用 : フェムト秒レーザーによる半導体超高速相転移およびナノ秒レーザーによるデブリフリーダイシング技術の開発        |
| Author(s)    | 井澤, 友策  |
| Citation     |   |
| Issue Date   |   |
| Text Version | ETD   |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/11094/23477">http://hdl.handle.net/11094/23477</a> |
| DOI          |   |
| rights       |   |
| Note         |   |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

|            |   |
|------------|---|
| 氏名         | 井 澤 友 策   |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工 学)   |
| 学位記番号      | 第 2 2 9 8 1 号   |
| 学位授与年月日    | 平成 21 年 3 月 24 日  |
| 学位授与の要件    | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>工学研究科環境・エネルギー工学専攻                                     |
| 学位論文名      | パルスレーザー誘起構造変化の計測とその応用－フェムト秒レーザーによる半導体超高速相転移およびナノ秒レーザーによるデブリフリーダイシング技術の開発－ |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 乗松 孝好<br><br>(副査)<br>教授 猿倉 信彦 准教授 河仲 準二                        |

## 論文内容の要旨

本論文は、パルスレーザー照射によって、Siとガラスの表面または内部に誘起される様々な構造変化に対して実験的および解析的に研究を行い、また、その応用としてデブリフリーのレーザーダイシングの開発を行った成果をまとめたものである。

前半の2~4章においては、フェムト秒レーザー照射によって超高速で発生するSiの超高速構造相転移について、後半の5~7章においては、ナノ秒レーザーによって発生するSiとガラスの内部構造変化を利用した、デブリフリーレーザーダイシングについて述べており、緒論、本章6章、結論の全8章で構成される。

第1章では、緒論としてレーザープロセスの現状を示すとともに、本研究の意義と目的について述べた。

第2章ではc-Siのレーザーアブレーションのパルス幅依存性、c-Siのフェムト秒レーザーアブレーションの波長依存性、およびImaging Pump Probe装置によるc-Siアブレーションの時間分解計測について述べた。ここでは、フェムト秒レーザーアブレーションがレーザー照射後数ps経過した後で発生することを示した。

第3章ではフェムト秒レーザー照射による、c-Siアモルファス化の加工特性とImaging Pump Probe法によるアモルファス化における超高速融解現象の測定結果について述べた。また、波長1550 nmのパルスレーザーによるSi内部加工についても同時に示した。

第4章では、波長267 nm, 400 nm, 800 nmのフェムト秒レーザーによって発生したa-Siの結晶化に対して行ったHRTEM観察、加工閾値測定、Imaging Pump Probe 測定の結果について述べた。得られた成果からフェムト秒レーザーによるSiのアモルファス化はキャリア励起に起因した電気的融解によるもので、結晶化は熱的な融解によるエピタキシャル成長によるものであることを明らかにした。

第5章では従来のレーザーダイシング関連技術を述べた後、我々が新たに開発したデブリフリーレーザーダイシングをガラスに適用した成果について述べた。ここで、我々の装置はレーザー走査速度700 mm/secで加工できるため、非常に高いスループットを実現できることを示した。

第6章では、デブリフリーダイシングのレーザー加工量やレーザーパルス幅によるSiウエハ加工特性について述べた。

第7章では第5章、第6章の結果を踏まえて開発した、ハイブリッドレーザーダイシング装置および自動チップ化装置について述べた。本装置を用いることで、ガラス・Si積層MEMSウエハに対しても安定かつ高速でデザイン

グを実現した。

第8章は結論とし、得られた成果をまとめ本論文の総括を行った。

## 論文審査の結果の要旨

レーザーはエネルギーを短時間に極小の領域に集中できることから各種製品に特化した加工法として発展し続けている。特に最近パルス幅がフェムト秒 (fs) クラスのレーザーの増幅技術の進展により、新しい応用の分野が開けている。本論文はそのような fs レーザーによる半導体の相転移の現象を詳細に分析したもので、新しい加工技術の可能性を示している。後半は fs レーザーも含む種々の波長、パルス幅のレーザーを用いた加工残渣のほとんど発生しない半導体基板のダイシング (チップ化) 技術の開発を行ったものである。

単結晶シリコンの表面に波長 800 nm、パルス幅 100 fs の Ti サファイアレーザーをアブレーションの発生しないエネルギー密度 (180~210 mJ/cm<sup>2</sup>) で照射することにより深さ数十 nm にわたってアモルファス化することが分かった。この過程は申請者が応用開発した Imaging Pump Probe 法により反射率の 2 次元画像を高い時間分解能で捕らえた。波長 267 nm のレーザーを用いた加工ではプローブ光の反射率の時間変化を観測することにより、多数のキャリアが生成される電気的融解がレーザー照射とほぼ同時に発生し、数百ピコ秒 (ps) の内に熱融解が発生し、600 ps 内に溶融した全ての領域がその 10<sup>12</sup> K/s という急速な冷却でアモルファス化することが分かった。加工レーザーのパルス幅が 8 ps を超えると、溶融領域が厚くなり冷却に時間がかかるので、再結晶化してアモルファス化はできないことが分かった。電気的融解には閾値が存在し、波長 800 nm、パルス幅 100 fs の Ti サファイアレーザーを照射した場合、<0.18 J/cm<sup>2</sup> では電気融解の状態を作ることなく、通常の熱融解に移行する。

単結晶シリコンの上にスパッタ法でアモルファス層を形成した後、fs レーザーを 100~140 mJ/cm<sup>2</sup> のフルエンスで照射することにより、アモルファス層を結晶化することができることを発見した。この結晶化は基盤側からのエピタキシャル成長によって発生したもので、100 パルスで全てのアモルファス層を結晶化することができた。Imaging Pump Probe 法により反射率の時間変化を分析した結果、電気的融解状態を経由することなく、熱的融解状態に移行し、エピタキシャル成長していることが分かった。本研究で得られた結果は新しい半導体加工技術の可能性を示している。

申請者はレーザー加工の特性を調べる過程で加工品のほとんど発生しないチップ化技術を開発した。波長、パルス幅を適正に選択することにより、ガラス又はシリコン基板中にプラズマを形成し、幅 1 μm 長さ 60 μm 程度のマイクロクラックを断続的に発生させることにより、厚さ 300 μm クラスの基盤を加工幅 1 μm 程度の精度で切断する方法を開発した。固体中にプラズマは形成されるため、破片は閉じ込められ、基盤を汚染することはない。シリコンウエハの場合、熱の進入深さは 1 μm 程度であり、必要な加工シロは 10 μm 程度である。パルス幅 10 ns の Nd:YVO<sub>4</sub> レーザーとパルス幅 200 ns の Yb ファイバーレーザーを用いたハイブリッドレーザーダイシング装置を用いることにより、低ストレスで破片のほとんど発生しない加工法が実現した。

以上のように、本論文はフェムト秒レーザーを用いた相転移による新しい表面改質加工の可能性を示すと共に、ハイブリッドレーザーシステムによるデブリのほとんど発生しない加工技術を開発した。今後より精度が要求される半導体加工の分野への貢献が期待される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。