



| | |
|--------------|--|
| 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 | 大阪大学, 2009, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/23477 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

| | |
|---------------|---|
| 氏 名 | い ざわ ゆう さく 井 泽 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 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) 教授 乗松 孝好 (副査) 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のレーザーアプ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プレーションの波長依存性、およびImaging Pump Probe装置によるc-Siアプ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プ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応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。

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いている。特に最近はパルス幅がフェムト秒(fs)クラスのレーザーの增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プレーションの発生しないエネルギー密度(180~210 mJ/cm²)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溶解がレーザー照射とほぼ同時に発生し、数ピコ秒(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10¹² 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/cm²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/cm²のフルー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、電気的溶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片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:YVO₄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。