

令和元年6月10日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14126

研究課題名（和文）パルスレーザーによる鏡面の潜傷探査法に関する研究

研究課題名（英文）Study on latent scratch detection method of mirror surface by pulse laser

研究代表者

池野 順一（IKENO, Junichi）

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：10184441

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：半導体材料の研磨では、表面粗さを満足しても、その表面下に潜傷が残ってはいけ  
ない。現在、この潜傷を探査することは容易ではない。そこで、本研究ではSiとSiC基板についてレーザーを利  
用した潜傷探査法を検討した。その結果、Siでは可視域のレーザーを用いて熱応力によって潜傷を検出するこ  
とに成功した。さらに、SiCではUVレーザーを用いて光解離作用とアブレーションによって潜傷を検出するこ  
とに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代パワー半導体基板（SiやSiC）は電気自動車の智能化を促進する重要な部品である。しかし、この半導体  
基板の加工の困難さから車載時期の遅れが懸念されている。その原因の一つに潜傷探査の困難さがあり、本研  
究ではそれを解決する手段を新たに見出すことができた。したがって、本研究の成果は自動車産業をはじめ、エネ  
ルギー分野でも日本の先駆的な開発に貢献できるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：A mirror surface should be created and latent scratch should not be left  
below the surface in the polishing of semiconductor materials.

Currently, it is not easy to detect this latent scratch. So, in this research, the latent scratch  
detection method using a laser was examined about Si and a SiC substrate.

As a result, it was found that latent scratch under the Si surface can be detected by thermal stress  
using a visible light laser. Furthermore, it was found that latent flaws under the SiC surface can  
be detected by photodissociation and ablation using a UV laser.

研究分野：生産加工

キーワード：半導体基板 SiC Si 潜傷 レーザ 研磨加工 加工変質層 評価技術

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

半導体基板や光学ガラスは レベルの鏡面加工と同時に、加工変質層のない無擾乱な高品位表面が求められている。とくに残留応力が鏡面下であれば、先述したように後工程や経年変化で「潜傷」が表面に発生し不良となってしまう。現在、この潜傷を検出するのは容易ではないが、主に2つの探査法が知られている。一つは傾斜をつけて研磨し断面を拡大したところでエッチングによって潜傷を顕在化させる方法、もう一つは断面を TEM で直接観察する方法である。しかしいずれも長時間と熟練のテクニックが必要で労力と時間を要してしまう。さらに研磨では環境負荷、断面 TEM 観察では20万円/回と高価な点も課題である。もっと高速でクリーン、安価な潜傷探査法が開発されれば、鏡面創成の最適加工条件を極めて短時間で選定でき、加工効率と品質の信頼性向上に役立ち有益である。そこで半導体基板材料や光学ガラスの鏡面創成工程では新たな潜傷探査法の開発が切望されている。

### 2. 研究の目的

半導体基板やレンズの加工工程では、長時間をかけてダメージのない レベルの粗さをもつ鏡面が創成されている。しかし、もし鏡面下に僅かな加工変質層(残留応力)があれば、後工程で表面局部に浅い亀裂「潜傷」が生じて不良となってしまう。そこで、潜傷探査が重要となるが、現在高速かつクリーンで安価に行う探査方法はなく、加工現場では新探査法の開発が望まれている。本研究では、これまでに研究代表者が基礎研究で発見した知見を基に新たな潜傷探査法を提案し、半導体基板材料(Si、SiC)、光学ガラスを対象とした高速でクリーンで安価な新潜傷探査としての有効性を実証することを研究の目的とした。

### 3. 研究の方法

研究期間を3年間として、以下の研究計画に基づいて研究を遂行した。

平成28年度:まず新レーザー潜傷探査法を提案しその実験装置を構築する。次に粗研削の後に鏡面創成砥石で鏡面仕上げした半導体基板材料(主にSi)を対象にしたレーザー潜傷探査実験を試みる。ここで残留応力の存在領域と潜傷の出現率の関係を調査し、本法の有効性を明らかにする。

平成29年度:潜傷探査対象をSiCと光学ガラスとし、これらに対する本法の有効性を調査する。

平成30年度:各材料における探査特性を明らかにし、レーザー照射による潜傷顕在化メカニズムを熱衝撃と残留応力緩和の観点から検証する。また探査法としての有効性を定量的に評価し、国内外で広く成果を発表する。

### 4. 研究成果

#### 平成28年度

(1) 実験装置システムの設計・構築を行った。

(2) シリコン基板の鏡面試料作製と研削現象のモニタリングを行って、粗加工がシリコン試料に及ぼす影響についての基礎データを収集した。

(3) パルスレーザーによる潜傷探査の可能性と特性調査を行い、レーザー照射条件(出力、パルス幅)と潜傷の出現率への影響を調査した。パルス可視光レーザーによる熱応力による潜傷探査に成功した。

#### 平成29年度

(1) SiC 試料への適用に向けたレーザーの選定を行った。可視光レーザーは適用できなかったため、UVによる光解離作用によって潜傷探査を試みた。その結果、UV波長355nmによる光解離およびアブレーション作用によって潜傷探査に成功した。

(2) 上述の成果を基に潜傷探査装置の改造を行った。

(3) 試料作成および探査実験、評価の信頼性を高めるため、改造した装置を用いて繰り返し、実験を行った。

(4) 研究成果発表は国内学会(精密工学会、砥粒加工学会)で発表した。

#### 平成30年度

(1) 実験データの整理と解析を進め、メカニズム検証のための補完実験を行った。し

(2) 従来の潜傷探査法と比較実験を行った。その結果、従来法よりも感度の高いことが判明し、本探査法の有効性が実証できた。

(3) 研究成果発表を上記学会に加えて日本機械学会でも行った。また、展示会として SEMICON JAPAN、Laser Tech、Grinding Tech でポスター展示を行い、産業界の技術者と十分な討論を行った。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4件)

(1) 山田洋平、池野順一、鈴木秀樹、「単結晶シリコンの精密レーザースライシング技術」精密工学会誌、85-5、426-431、2019。(2名査読あり)

(2) 阿部達毅、山田洋平、池野順一、「3次元レーザースライシングによるガラス光学素子の作

製」精密工学会誌、85-5、419-425、2019。(2名査読あり)

(3) 藤本俊一、篠崎颯典、山田洋平、池野順一、島本時治、高能率鏡面研磨用砥粒 (MeCCA) の開発 ~ サファイアに対する湿式研磨性能およびウェーハ品質評価 ~、砥粒加工学会誌、63-1、36-41、2018。(2名査読あり)

(4) 山田洋平、金子洋平、青木陸、池野順一、鈴木秀樹、レーザによる微小内部亀裂連鎖に基づく半導体結晶材料の高品位切断加工、精密工学会誌、83(4):375-380 2017。(2名査読あり)

[学会発表](計 23件)

(1) 矢代直人、山田洋平、池野順一、CO<sub>2</sub> レーザを利用したガラスの面取り加工に関する研究、精密工学会 2018 年度秋季大会学術講演会論文集、2018.9.5 (函館アリーナ)

(2) 金子祥大、池永幸平、山田洋平、池野順一、溶融アルカリを用いた SiC の研磨加工装置の作製とその性能評価、砥粒加工学会学術講演会 ABTEC2018 講演論文集 D26、2018.8.31 (金沢大学)。

(3) 豊川陽佑、石丸友己、田口隆一、山田洋平、池野順一、SiC ウエハにおけるレーザ潜傷探査法に関する研究、砥粒加工学会学術講演会 ABTEC2018、E17、2018.8.30 (金沢大学)

(4) 山口 功太郎、高橋 尚也、山田 洋平、池野 順一、阿部 健、真野 稔正、弾性パッドの摩擦を利用した SiC の砥粒レス研磨加工、[No.180-2] 日本機械学会 2018 年度茨城講演会論文集 (2018,8,22,日立市)

(5) 森 和生、佐野侑希、山田洋平、池野順一、高純度 CeO<sub>2</sub> の研磨特性に関する調査、[No.180-2] 日本機械学会 2018 年度茨城講演会講演論文集、716、2018。

(6) 篠崎颯典、遠藤謙太郎、藤本俊一、山田洋平、池野順一、機能性砥粒を用いたサファイアの鏡面研磨に関する研究、[No.180-2] 日本機械学会 2018 年度茨城講演会講演論文集、703、2018。

(7) 高橋尚也、山口功太郎、山田洋平、池野順一、阿部 健、真野稔正、弾性パッドによる SiC の砥粒レス研磨加工に関する研究、2018 年度精密工学会春季大会講演論文集、505-506。

(8) 金子祥大、山田洋平、池野順一、鈴木秀樹、SiC の溶融アルカリを用いた研磨加工に関する研究、2018 年度精密工学会春季大会講演論文集、501-502。

(9) 山田洋平、池野順一、野口 仁、鈴木秀樹、MgO ウエハのレーザスライシング加工に関する研究、2018 年度精密工学会春季大会講演論文集、177-178。

(10) 金子隆典、工藤 岬、山田洋平、池野順一、フェムト秒レーザを用いたアクリル樹脂内部の微細流路作製に関する研究、2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集、371-372。

(11) 山田洋平、阿部達毅、浅原浩和、富士和則、明田正俊、池野順一、SiC のレーザスライシング加工における剥離面性状、2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集、369-370。

(12) 加藤大輝、秋元隆志、山田洋平、池野順一、阿部 健、真野稔正、メカノケミカル弾性砥石の作製と性能評価に関する研究、2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集、25-26。

(13) 佐野侑希、森 和生、池野順一、山田洋平、酸化セリウム砥粒がガラス研磨に及ぼす影響要因に関する研究、2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集、13-14。

(14) 阿部 達毅、Fathin Nadia、山田 洋平、池野 順一、ガラスの 3 次元レーザスライシング加工、2017 年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2017) 論文集、227-228。

(15) 山田 洋平、阿部 達毅、池野 順一 (埼玉大学)、浅原 浩和、富士 和則、明田 正俊、SiC のレーザスライシング加工に関する研究、2017 年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2017) 論文集、225-226。

(16) 高橋尚也、豊川陽佑、山田洋平、池野順一、SiC のレーザ援用研磨加工に関する研究、2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会、519-520、2017.3.15

(17) 大野暁人、太田弘人、山田洋平、池野順一、ダイヤモンドのレーザスライシングに関する研究-材料内部に形成する加工痕の観察-、2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会、429-430、2017.3.13

(18) 阿部達毅、山田洋平、池野順一、ガラスのレーザスライシングに関する研究、2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会、427-428、2017.3.13

(19) 望月 徹、渡部研太、大野暁人、山田洋平、池野順一、アクリル樹脂の 3 次元内部加工に関する研究、2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会、423-424、2017.3.13

(20) 細川仁志、小船心之輔、山田洋平、池野順一、酸化剤を用いた SiC 鏡面研削に関する研究、2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会、213-214 2016.9.8

(21) 本明拓也、金子祥大、山田洋平、池野順一、溶融アルカリ (NaOH) による SiC の高速鏡面化に関する研究、2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会、223-224 2016.9.8

(22) 山田洋平、金子洋平、阿部達毅、池野順一、レーザスライシング技術による単結晶 Si の高品位高速スライス加工精密工学会、2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会、633-634 2016.9.7

(23) 山田洋平、金子洋平、青木陸、池野順一、レーザスライシング技術を応用したレーザ切り抜き加工、砥粒加工学会、2016 年度砥粒加工学会学術講演会、293-294 2016.8

[図書](計 2件)

- 1) 池野順一、ハイテク 50 年史に学ぶ将来加工技術、日本工業出版、2019、167-175.
- 2) 池野順一、レーザ加工、はじめての生産加工学、講談社、2016、57-74.

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

名称：多孔質バフ材と研磨方法

発明者：

権利者：池野順一、真野稔正、阿部 健

種類：特許

番号：

出願年：2019

国内外の別： 国内

名称：弾性バフ

発明者：

権利者：池野順一、真野稔正、阿部 健

種類：特許

番号：

出願年：2018

国内外の別： 国内

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者 4 名

研究協力者氏名：豊川陽佑

ローマ字氏名：Toyokawa Yosuke

研究協力者氏名：金子祥大

ローマ字氏名：Kaneko Yoshihiro

研究協力者氏名：阿部達毅

ローマ字氏名：Abe Tatuki

研究協力者氏名：篠崎颯典

ローマ字氏名：Shinozaki Sosuke

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。