

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 4月 27日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656095

研究課題名（和文） 硬脆材料のインテリジェントレーザスライシング法に関する研究

研究課題名（英文） Study on an Intelligent laser slicing method of both hard and brittle materials

研究代表者

池野 順一（IKENO JUNICHI）

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10184441

研究成果の概要（和文）：

シリコンを透過するレーザを用いて内部に亀裂を発生させることができる。この原理を利用して面状に微小亀裂を形成すれば、無駄なくインゴットをスライスすることが可能と考えた。実験の結果、剥離によってウエハを作成することに成功した。さらに、切断時に3次元微小構造を形成しつつスライシングすることにも成功した。これは従来方法では全く不可能な加工法である。以上より、新しいスライシング法を実現し、そのインテリジェント化に成功した。

研究成果の概要（英文）：

Micro-crack occur in the inside by a laser penetrates (20%) silicon. If this principle is used, a crack would be made to develop in the flat-shaped inside silicon, and the silicon could be wafering by the crack. It is expected to reduce slicing waste by the new method. The new silicing method is called "Laser slicing". We found out some strong points, for example, forming 3D-structure on sliced surface, slicing waste can reduce to 1/10.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：(8)特殊加工、(9)超精密加工、(10)ナノマイクロ加工

## 1. 研究開始当初の背景

シリコンウエハは半導体基板や太陽光発電パネルとして重要な基板である。しかし、インゴットから従来の機械加工で切り出すと50%が加工屑になり、最終工程までには90%に至る。将来はウエハの薄化がより進むため、加工屑割合は増加の一途を辿ることが予想される。

## 2. 研究の目的

本申請では、加工屑を飛躍的に削減して環境に優しく、微細構造を切断面内に形成して高機能を付加する新しい“インテリジェントレーザスライシング（ILS）法”を提案し実

現することを目的とした。

## 3. 研究の方法

平成23年度はレーザスライシング装置およびそのシステムの構築に重点をおいて研究活動を行った。まず、装置およびシステムを構築した。次に、装置性能評価のための基礎実験として、AF機構による深さ方向とクラックの発生頻度の関係を明らかにし、加工可能な深さを同定した。図1に原理図を示す。

平成24年度はシリコンウエハの加工実験と分析を行った。まず、スライシング本実験として、加工条件の選定、加工の高速化のための条件選定を行うとともに、結晶方位の

影響についても検証した。次に、シリコン加工試料の分析を行い、シリコン試料の加工痕における応力状態、結晶状態をラマン分光法によって分析した。最後にインテリジェント化の検討を行った。

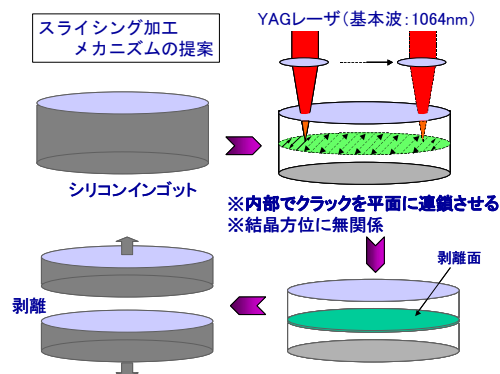


図1 レーザスライシング法の原理

#### 4. 研究成果

シリコンウエハなど硬脆材料のスライシングは、これまでマルチワイヤソーで切断されてきた。しかし、前述したように50%が切りくずとなってしまったため、せっかく、高精度に単結晶成長させた高価な材料を無駄にしてしまっていた。さらにエネルギーロス、環境への負荷など課題は多く存在している。しかし、ここで提案するレーザスライシングは、基本的に剥離であり、切り屑はほぼ0となる。この加工法は、本研究者らが世界に先駆けて考案した加工法であり、上記の課題を全て解決できる可能性をもつ加工法である。したがって、太陽光発電パネルはもとより、半導体基板の製造工程にも大きなインパクトを与える加工法である。生産性の飛躍的な向上により、市場競争に抜本的な強みを発揮する加工法である。

装置、システムの構築を完了させ、加工実験を行った。加工事例として10mm四方のシリコンに対して水雷寝具を行ったものを図2に示す。これにより、ラッピング面のような平面をえることに成功した。さらに分析を行った結果、内部加工にもかかわらず、加工部以外には、結晶欠陥が発生せず、クリーンで高品位な加工が可能であることがわかった。

本研究でのねらいは、インテリジェント化である。すなわち、レーザスライシング法が、従来のマルチワイヤソーよりも加工屑を1/10にできることのみが利点だとすれば、インテリジェント化されたとは言えない。ここでは、従来のスライシング法では絶対にできず、レーザスライシング法で初めて可能となる加工を見出すことを目的とした。すなわち、スライシング面は通常の加工では、ワイヤが通った軌跡に従うため平面しかできない。

しかし、レーザスライシングでは、レーザ焦点の軌跡に切断面形状は依存している。したがって、レーザ焦点を3次元に光速スキャンすれば、切断面上に3次元微小形状を創成しつつ、スライシング加工が可能となる。太陽光発電パネルでは、太陽光の吸収率を高め、発電効率を上げるためにシリコン表面にエッチングで微細パターンを形成する後工程が必要である。レーザスライシングでは一度にパターンニングもでき、行程短縮が図れるメリットがある。作成した装置に3次元モーションコントロールシステムを構築した装置によって、インテリジェント化に成功した。微細パターンを形成したスライシング面の計測結果を図3に示す。

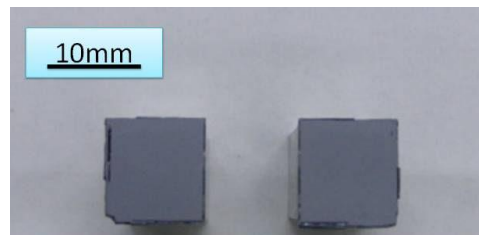


図2 シリコンのレーザスライシング例

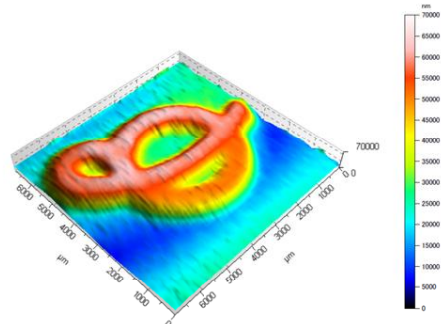


図3 3次元加工されたスライシング面

今後は、スライシング面の単結晶かを同時にレーザを用いて行う技術を開発し、切りくずが完全に0になる加工法に育成していく予定である。さらに3次元加工の可能性が得られたことを受けてMEMSやマイクロナノ加工技術としての展開も図っていく予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件) 全て査読有り

- ① M. R. Zainudin, Y. Ishida, S. Yoshida, J. Ikeno, The formation of micro-glass ball and its applications, Proceedings of the 12th euspen international

conference (Stockholm), 査読有り, vol. 2, 533-536, 2012. 6. 7

- ②佐々木 淳, 池野順一, レーザ異種金属接合に関する研究 ～第2報: 真鍮とステンレス鋼のレーザ突合せ接合, 砥粒加工学会誌, 査読有り, 56-5, 313-318, 2012.
- ③佐々木 淳, 池野順一, 銅とステンレス鋼のレーザ異種材料接合, 精密工学会誌, 査読有り, 78-3, 246-250. 2012
- ④Makoto SASAKI, Junichi IKENO, Laser Butt Welding of Brass and StainlessSteel, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing 査読有, Vol. 5, No. 4, 347-357, 2011.
- ⑤佐々木 淳, 池野順一, レーザ異種金属接合に関する研究—ステンレス鋼と銅の突き合わせ接合—, 砥粒加工学会誌, 査読有, 55-6, 348-353, 2011.

[学会発表] (計22件) 全て査読なし

- ①栗幅将樹, 森 貴章, 池野順一, アクリル樹脂のレーザ内部加工に関する研究, 2013年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 607-608, 2013. 3. 15 (東京工業大学)
- ②石田雄一, 上柳将大, 池野順一, 結晶成長を利用したレーザ微細加工に関する研究, 2013年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 601-602, 2013. 3. 15 (東京工業大学)
- ③関根大輔, 池野順一, 篠塚信裕, 鈴木秀樹, 3次元レーザスライシングに関する研究, 2013年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 597-598, 2013. 3. 15 (東京工業大学)
- ④水川 健, 菅野雄登, 池野順一, 阿部耕三, SiCのレーザエッチングに関する研究, 2013年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 591-592, 2013. 3. 14 (東京工業大学)
- ⑤池野順一, 有機材料のレーザ微細加工に関する研究, 日本機械学会 機械材料・材料加工部門第20回機械材料・材料加工技術講演会論文集 CD, 2012. 12. 1 (大阪工業大学)
- ⑥関根大輔, 大橋一樹, 池野順一, 澁谷秀雄, 松尾利香, 篠塚信裕, 鈴木秀樹, レーザスライシング法に関する研究, 日本機械学会 [No. 12-11] 第9回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, 2012. 10. 27 (秋田県立大学)
- ⑦森 貴章・池野順一・柴田圭輔, アクリル導光板のレーザ微細加工に関する研究, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 811-812, 2012. 9. 14 (九州工業大学)
- ⑧石田雄一, Muhammad Razif, 池野順一, 表面張力を利用したレーザ加工とその応用, 2012年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, 425-426, 2012. 8. 31 (同志社大学)

- ⑨佐々木淳, 池野順一, 銅合金とステンレス鋼のレーザ突合せ接合, 2012年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 11-12, 2012. 3. 14 (首都大学東京)
- ⑩竹内智浩, 佐藤健一, 池野順一, ナノ粒子を用いたレーザカラーマーキング法の研究, 2011年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 599-600, 2011. 9. 21 (金沢大学)
- ⑪松尾利香, 国司洋介, 鈴木秀樹, 茶花幸一, 白石真之, 池野順一, シリコンウエハのレーザスライシングに関する研究(第2報), 2011年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 613-614, 2011. 9. 21 (金沢大学)
- ⑫水川 健, 池野順一, 松尾利香, 国司洋介, 鈴木秀樹, 銀ナノワイヤ透明導電性膜のレーザ絶縁処理に関する研究(第二報), 2011年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 601-602. 2011. 9. 21 (金沢大学)
- ⑬佐々木 淳, 池野順一, 銅とステンレス鋼のレーザ異材接合, 2011年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 611-612, 2011. 9. 21 (金沢大学)
- ⑭茶花幸一, 白石真之, 池野順一, 松尾利香, 鈴木秀樹, 国司洋介, 2011年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, 367-368, 2011. 9. 7 (中部大学)
- ⑮森 貴章, 池野順一, 竹内, レーザカラーマーキングに関する研究, 2011年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, 365-366, 2011. 9. 7 (中部大学)
- ⑯佐々木 淳, 池野順一, 銅とステンレス鋼のレーザ異材接合～試料表面におけるレーザ反射率の影響～, 2011年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, 363-364, 2011. 9. 7 (中部大学)
- ⑰菅原大祐, 竹内智浩, 森 貴章, 池野順一, 森田恭隆, 朝岡淳一, 野崎喜敬, 多幡能徳, 表面プラズモンを利用したレーザカラーマーキング法の研究, 2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 1011-1012, 2011. 3. 14 (東洋大学)
- ⑱茶花幸一, 池野順一, サファイアのレーザスライシングに関する研究, 2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 159-160, 2011. 3. 14 (東洋大学)
- ⑲伊東宏季, 池野順一, 松尾利香, 国司洋介, 鈴木秀樹, シリコンウエハのレーザスライシングに関する研究, 2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 157-158, 2011. 3. 14 (東洋大学)
- ⑳佐々木 淳, 池野順一, 銅合金とステンレス鋼のレーザ異材接合, 2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 131-132, 2011. 3. 14 (東洋大学)
- ㉑小野寺洋平, 池野順一, 窒化アルミニウムを用いたレーザ配線作製技術に関する研究(第二報), 2011年度精密工学会春季大会

学術講演論文集, 117～118, 2011. 3. 14 (東洋大学)

- ②水川 健, 池野順一, 松尾利香, 国司洋介, 鈴木秀樹, 銀ナノワイヤ透明導電膜のレーザ絶縁処理に関する研究, 2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 113～114, 2011. 3. 14 (東洋大学)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: 単結晶加工部材およびその製造方法

発明者: 池野順一

権利者: 埼玉大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-020346

出願年月日: 2012年2月1日

国内外の別: 国内

名称: 内部加工層形成方法、内部加工層形成部材、および、表面3次元構造部材

発明者: 池野順一

権利者: 埼玉大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-038229

出願年月日: 2013年2月28日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://spe.mech.saitama-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

池野 順一 (IKENO JUNICHI)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 10184441

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号: