

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月1日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360058

研究課題名（和文） ガラスの高付加価値化を実現する新しいレーザ微細加工法に関する研究

研究課題名（英文） A new laser micro-machining to add a glass high value

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）：現在、IT製品などの高機能化、複雑化に伴い、ガラスの微細加工が益々重要となり、今まで不可能であった加工についても要求されるようになった。そこで本研究では、ガラスを加工対象とした以下の新しいレーザ加工法を考案し、それらの実現に成功した。1)3次元切断によるレーザ微細鏡面創成法、2)ガラス箔のレーザ3次元精密微細成形法、3)ナノ粒子分散凝集制御による発色加工法

研究成果の概要（英文）：A present information technology product improves performance more. The structure is complex. Glass is used with the product. Therefore, micro-machining of a glass is important, and more difficult processing of a glass is needed. So, in this study, we have developed some new laser processing which can do what have never done by the conventional laser processing. They are as the following. 1) Laser mirror grooving based on 3D-braking of a glass, 2) 3D laser micro molding of thin glass film, 3) Laser color marking based on controlling distribution and collection of nano-particles.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2010年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

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：(H)特殊加工、(J)超精密加工、(K)ナノ・マイクロ加工

1. 研究開始当初の背景

ガラスは耐熱性、耐薬品性、光学、電気、機械など優れた特性を有し、広い分野で使用される重要な材料である。現在、IT製品、医療、電子製品などの高機能化、複雑化に伴い、ガラスの微細加工が益々重要となり、今まで不可能であった加工についても要求されるようになった。しかし、硬脆材料であるため、機械加工ではかけやすく、精密微細加工が難

しい。一方で、熱して変形させる成形加工では、mm以上の加工は金型を用いてある程度可能であるが、金型は難削材であり、また成形において冷却用の窒素を大量に使用するため高価である。mm以下の加工については未だ困難とされている。イオンビームや電子ビーム加工では μm サイズの加工が可能であるが、真空を必要とし加工サイズに制限がある。また、工業的には効率や費用面で劣っており、

実用レベルに達していないのが現状である。そこで、これらを克服するようなガラスの高付加価値化を実現できる新たな加工法の開発が望まれている。

2. 研究の目的

本研究ではガラスを加工対象とした3つのこれまでにない新たなレーザー微細加工を提案した。

1) 3次元割断によるレーザー微細鏡面溝創成法：医療やバイオの分野では、 μ TASの高機能化が進んでいる。耐薬品性、耐熱性などに優れたガラスは次世代 μ TASとして期待が寄せられている。これには、ガラス表面に薬品が滞りなく流れる鏡面溝の創成が不可欠である。これまでエッチングで加工がなされていたが、効率や環境面で問題があった。レーザー加工でもシドライ環境、短時間の加工が実現できれば、きわめて有益である。

2) ガラス箔の3次元精密微細成形加工法：厚さ $30\mu\text{m}$ のガラス箔は、様々な成形が可能となれば、絶縁構造材料として有効であるが、機械加工では割れやすく、成形では表面張力によって凝集しようとするため、箔そのものを加工することは困難である。もし、吸熱急冷現象が生じるレーザー加工で、もしもガラス箔の成形が可能となれば、大変有益である。

3) コロイド凝集制御による微細領域着色加工法：レーザーマーキングはバーコードなど認識のための高速印字に利用されている。しかし、モノクロ加工でありカラー化が実現できれば用途が格段に広がるとともに、高機能化が進むものと期待される。

これらのレーザー加工法は、まだ世界でも開発されておらず、実現できれば世界初の技術開発となる。本申請は3年間でこれらの実現を目指すことにした。

3. 研究の方法

初年度は実験装置の構築を主に研究を行った。レーザー加工装置の構築、観察分析システムの構築を行った。次年度からは、各レーザー加工方法の基礎実験を行い、本実験、データ解析、シミュレーションを行って加工原理の検証を含めた加工法の開発を行った。

4. 研究成果

各加工法の開発に関する成果を以下に述べる。

1) 3次元割断によるレーザー微細鏡面溝創成法：レーザー割断は熱応力を用いて照射部表面から厚み方向にクラックを垂直に進展させ、材料を鏡面に分断する加工法である。本研究では、まずレーザー割断に着目した。次に、加工対象として結晶化ガラスに着目した。本材

料は熱膨張係数が $-3\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ の低膨張ガラスとして知られている。ただし、加熱され非晶質化すると熱膨張係数は $4.2\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ に急上昇する特徴がある。そこで、 CO_2 レーザーを用いて新たな鏡面溝創成法を考案した。すなわち、図1に示すように結晶化ガラス表面に CO_2 レーザーを照射し、非晶質部を形成すれば、照射終了後に結晶部と非晶質部界面において変態応力と熱応力が生じることになる。これにより界面に沿ってクラックを進展させることが期待される。また、レーザー照射後に非晶質部が収縮することで母材から剥離し、鏡面溝創成が可能と考えられる。

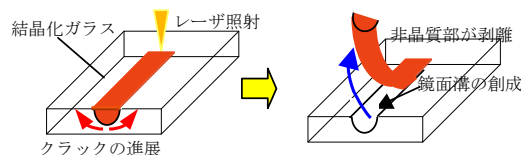


図1 加工原理図

実験の結果、照射部が非晶質化し、剥離することでガラス表面にレーザー走査軌跡に沿って粗さ 7nmRa の鏡面溝を創成することに成功した。溝内部のSEM観察結果を図2に示す。

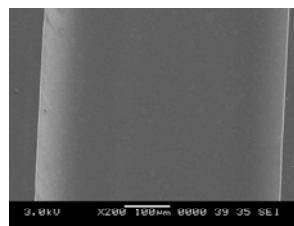


図2 鏡面溝のSEM観察結果

2) ガラス箔の3次元精密微細成形加工法：図3に示すように、表面にレーザー吸収剤を塗布したガラス箔にレーザー光を走査させる。このとき、ガラス箔表面はレーザー光を吸収し、周りが盛り上がった浅い溝を形成する。レーザー照射後は冷却によって収縮し、溝部でガラス箔が屈曲する。この基本原理を用いれば、数十 μm の厚みのガラス箔を型なしで、さまざまな形にすることができると期待される。

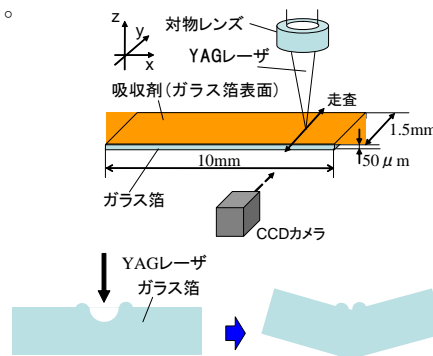


図3 加工原理および装置図

吸収剤を塗布したガラス箔は長さ 10mm、幅 1.5mm、厚さ 50 μ m のものを用いた。レーザーは CW YAG レーザ($\lambda=1064\text{nm}$)を用い、対物レンズ(N. A. =0.13)によって試料上方 1.5mm の位置で集光させた。レーザー出力は 0.96W と一定にし、ガラス箔上を幅方向に 4.14mm/s の速度で繰り返し直線走査させた。

図 4 に実験結果を示す。レーザー照射面側に屈曲していることが確認できた。一方ガラス箔裏面の観察結果から割れが生じず、なめらかな面を保って曲がっていることが確認できた。さらに連続的に加工を行うことで四角渦形状を創成できることがわかった。

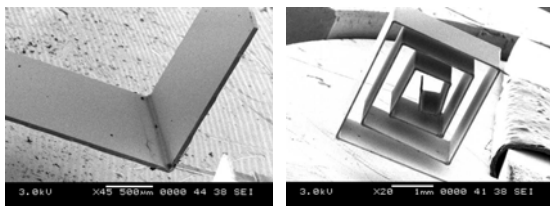


図 4 ガラス箔の屈曲実験結果

3) コロイド凝集制御による微細領域着色加工法：レーザーマーキングのカラー化には、害を及ぼす物質の使用や、いくつもの高価なレーザーを組み合わせる高コストな装置構築は不利である。そこで本研究では、表面プラズモン現象に着目した。ナノ粒子は大きさに応じて発色することが知られている。これはナノ粒子であるが故に、粒子表面に電子雲がにじみ出ている。この電子雲は固有振動数を有しており、電磁波によって振動を起こす。振動は、より小さな粒子で高い振動数を示す。共振周波数となる領域が可視光線の領域にあるナノ粒子は、貴金属ナノ粒子である。例えば、金のナノ粒子の発色は図 5 となる。

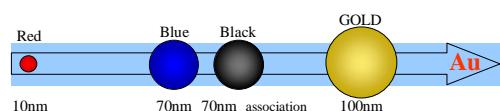


図 5 金ナノ粒子のサイズと発色の関係

レーザー光線が貴金属膜に吸収されれば、熱に変換され、その熱で膜はそこ個々に凝集することが考えられる。したがって、レーザー出力を制御すれば、ナノ粒子の創成が可能となり、その発色をコントロールできると考えた。実験ではガラスの表面に金スパッタを施し、そのスパッタ膜にレーザー光線($\lambda=532\text{nm}$)を照射した。その結果を図 6 に示す。元の金スパッタ膜を AFM 観測した結果を図中左に示す。これに徐々に出力を高めながらレーザーを照射した結果、膜は個々に凝集を起こし、出力が大きくなるほど、大きなナノ粒子を形成することが明らかになった。その結果、発色としては、赤、青の発色が実現できた。

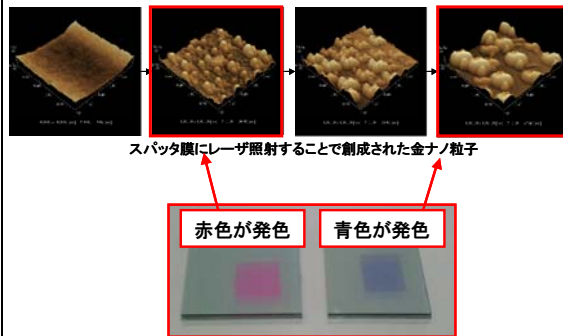


図 6 金ナノ粒子形成による発色

本研究では新たなレーザー加工法を考案し、その実現に向けた検討が 3 年間にわたって行われた。その結果、まず 3 次元切断法を応用した鏡面溝創成法が実現できた。従来の切断は分断するだけであったか、熱膨張率差を利用することで所望の溝形状に切断できることを明らかにした。これにより、様々な形状の溝、流路がチッピングなく鏡面にしかも高速に形成できるようになった。

次に、ガラス箔はレーザーの圧縮熱応力を用いることで自在に屈曲でき、その角度は精密に制御できることもわかった。さらに屈曲方向の制御のみならず、平面を球面にすることや丸めて針状に成形することも可能であった。

最後に、ガラスへの着色としてレーザーカラーマーキングについて検討し、表面プラズモンを利用することで、1 本のレーザーで 1 種類の膜を用いることで、赤と青の発色に成功した。ここでは示さなかったが、金色の発色にも成功している。さらに、ガラスの内部に銀ナノ粒子を含侵させることで化学的に安定させ、色、光のいずれの三原色も発色することに成功した。

以上より、世界初のレーザー加工法を実現でき、目的はほぼ 100% 達成することができた。今後は、新たに開発したレーザー加工法による加工事例を増やすとともに実用化に向けた検討を行っていく予定である。さらに、新たなレーザー加工法の可能性も本研究に見出しており、引き続き世界初のレーザー加工法開発に向けて検討を進める予定である。

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 9 件)

- ① 落合一裕、南部洋平、池野順一、澁谷秀雄、田中文夫、宇都宮康、光学材料の EPD 研磨に関する研究 第 1 報：平板状研磨砥石の開発、砥粒加工学会誌、査読有、53-5、2009、303~308。

- ②若林正毅、池野順一、鏡面微細パターン形状を創成するレーザー微細加工、精密工学会誌、査読有、75-6、2009、762～767。
- ③竹村貴人、斎藤奈美子、池野順一、高橋 学、応用地質的な視点から見た天然砥石の特徴とその産業技術への展望、応用地質、査読有、50-3、2009、160～164。
- ④池野順一、谷 泰弘、EPD 切断法に関する研究—切断機構に関する一考察—、砥粒加工学会誌、査読有、53-10、2009、621～626。
- ⑤若林正毅、池野順一、定在波を援用したフェムト秒レーザー加工の可能性について、砥粒加工学会誌、査読有、54-4、2010、212-217。
- ⑥佐々木 淳、池野順一、レーザー異種金属接合に関する研究—ステンレス鋼と銅の突合せ接合—、砥粒加工学会誌、査読有、55-6、2011、348-353。
- ⑦Makoto SASAKI、Junichi IKENO、Laser Butt Welding of Brass and Stainless Steel、Journal of Advanced Mechanical Design、Systems、and Manufacturing、査読有、Vol. 5、No. 4、2011、347-357。
- ⑧佐々木 淳、池野順一、銅とステンレス鋼のレーザー異種材料接合、精密工学会誌、査読有、78-3、2012、246-250。
- ⑨佐々木 淳、池野順一、レーザー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ー突合せ接合、砥粒加工学会誌、56-5、2012、313-318。

〔学会発表〕（計27件）

- ①菅原大祐、池野順一、Ag ナノ粒子含有ガラスの露光現象に関する研究、2009年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集、2009.9.3、243～244。
- ②伊東宏季、池野順一、鈴木秀樹、国司洋介、YAG レーザを用いたシリコンの薄化技術、2009年度精密工学会秋季大会学術講演論文集、2009.9.10、3～4。
- ③井山陽介、池野順一、鈴木秀樹、国司洋介、フェムト秒レーザーによる有機導電性膜の絶縁化処理技術、2009年度精密工学会秋季大会学術講演論文集、2009.9.10、5～6。
- ④小野寺洋平、池野順一、レーザー微細加工に関する研究—微細配線の作製—、日本機械学会2009年度年次大会講演論文集09-1(4)、2009.9.14、251～252。
- ⑤伊東宏季、池野順一、鈴木秀樹、国司洋介、YAG レーザを用いたシリコンの薄化技術（第2報）、2010年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2010.3.16、825～826。
- ⑥菅原大祐、池野順一、平野健一、ナノ粒子の表面プラズモンを利用したレーザーカラーマーキング法に関する研究（第3報）、2010年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2010.3.16、1061～1062。
- ⑦山内友貴、池野順一、超短パルスレーザーを

- 用いたステンレスの微細加工、2010年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2010.3.16、1063～1064。
- ⑧茶花幸一、池野順一、レーザーを用いたサファイアの薄化技術、2010年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2010.3.16、1065～1066。
- ⑨小野寺洋平、池野順一、山田卓矢、窒化アルミニウムを用いたレーザー配線作製技術に関する研究、2010年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2010.3.16、1071～1072。
- ⑩井山陽介、池野順一、鈴木秀樹、国司洋介、フェムト秒レーザーによる有機導電性膜の絶縁処理技術（第2報）2010年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2010.3.16、1073～1074。
- ⑪池野順一、井山陽介、鈴木秀樹、国司洋介、超短パルスレーザーによる有機導電性膜の加工、2010年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集、2010.8.28、397～398。
- ⑫佐々木淳、池野順一、ステンレス鋼と銅のレーザー異材接合、2010年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集、2010.8.28、405～406。
- ⑬佐々木 淳、池野順一、銅とステンレス鋼のレーザー異材接合、2010年度精密工学会秋季大会学術講演論文集、2010.9.27、809～810。
- ⑭池野順一、伊藤宏季、鈴木秀樹、国司洋介、阿部利香、レーザーライジング技術に関する研究、日本機械学会〔No.10-11〕第8回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集、2010.11.20、77～78。
- ⑮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ー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、2011.3.14、113～114。
- ⑯小野寺洋平、池野順一、窒化アルミニウムを用いたレーザー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、2011.3.14、117～118。
- ⑰佐々木 淳、池野順一、銅合金とステンレス鋼のレーザー異材接合、2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2011.3.14、131～132。
- ⑱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ーライジングに関する研究、2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2011.3.14、157～158。
- ⑲茶花幸一、池野順一、サファイアのレーザーライジングに関する研究、2011年度精密工学会春季大会学術講演論文集、2011.3.14、159～160。
- ⑳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ーカラー

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、2011.3.14、1011
～1012。

- 21 佐々木 淳、池野順一、銅とステンレス鋼
のレーザー異材接合～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、2011.7.7、363～
364。
- 22 森 貴章、池野順一、竹内、レーザーカラー
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、2011.9.7、
365～366。
- 23 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、2011.9.7、367
～368。
- 24 佐々木 淳、池野順一、銅とステンレス鋼
のレーザー異材接合、2011年度精密工学会秋
季大会学術講演論文集、2011.9.21、611～
612。
- 25 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。
2011.9.21、601～602。
- 26 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、2011.9.21、613～614。
- 27 竹内智浩、佐藤健一、池野順一、ナノ粒子
を用いたレーザー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、2011.9.21、599～600。

[図書] (計1件)

- ① 池野順一、水晶ウエーハのダメージレス表
面研削、日本学術振興会第136委員会編、
マイクロ・ナノ領域の超精密技術、オーム
社、2011、34～50。

[産業財産権]

○出願状況 (計5件)

名称：レーザーを用いた導電パターン形成方法
及びその方法に用いる組成物

発明者：池野順一

権利者：埼玉大学

種類：特許

番号：2011-138119

出願年月日：2011.6.22

国内外の別：国内

名称：透明導電膜及びこれを用いた導電性基
板

発明者：池野順一

権利者：埼玉大学

種類：特許

番号：2011-198488

出願年月日：2011.9.12

国内外の別：国内

名称：異種金属接合方法

発明者：池野順一

権利者：埼玉大学

種類：特許

番号：2012-000566

出願年月日：2012.1.5

国内外の別：国内

名称：異種金属の突合せ接合方法

発明者：池野順一

権利者：埼玉大学

種類：特許

番号：2012-000565

出願年月日：2012.1.5

国内外の別：国内

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：2012-020346

出願年月日：2012.2.1

国内外の別：国内

○取得状況 (計3件)

名称：レーザーカラーマーキング

発明者：池野順一

権利者：埼玉大学

種類：特許

番号：第4487072号

出願年月日：2010.4.9

国内外の別：国内

名称：ガラス着色方法及び記録媒体

発明者：池野順一

権利者：埼玉大学

種類：特許

番号：第4731530号

取得年月日：2011.4.28

国内外の別：国内

名称：ナノ粒子生成方法及びレーザーカラーマ
ーキング方法

発明者：池野順一

権利者：埼玉大学

種類：特許

番号：第4792573号

取得年月日：2011.8.5

国内外の別：国内

名称：レーザーマーキングによる他階調画像形
成方法

発明者：池野順一

権利者：埼玉大学
種類：特許
番号：第 4883567 号
取得年月日：2012.12.16
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：1 0 1 8 4 4 4 1

(2) 研究分担者

渋谷 秀雄 (SHIBUTANI HIDEO)
埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：8 0 3 0 3 7 0 9