

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630015

研究課題名(和文)超短パルスレーザーによる有機透明導電性膜の絶縁効果発現に関する研究

研究課題名(英文)A study on the insulation effect expression of an organic transparent conductive film by the ultra-short 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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：有機透明導電性膜は安価で安定して供給できる。しかし、この膜は視認性が悪く、回路を形成した場合、透明性が得られないという問題があった。そこで、本研究では超短パルスレーザーの光解離作用で、膜を絶縁させることを試みた。その結果、膜を除去することなく回路を形成することができ、視認性を高めることに成功した。さらに、この効果を利用して2枚の回路基板を作製し重ねることでタッチパネルを作製した。その結果タッチパネルとして機能することが確認された。

研究成果の概要(英文)：Organic transparent conductive films can be supplied in low cost and stable. However, this film has poor visibility, the case of forming the circuit, it was a problem that could not be obtained transparency. In this study, it was attempted to isolate the film by photo-dissociation action of ultra-short pulse laser. As a result, it is possible to form a circuit without removing the membranes and was able to enhance visibility. In addition, a touch panel was produced by overlaying to produce two circuit boards by utilizing this effect. It was confirmed to function as a result a touch panel.

研究分野：生産加工

キーワード：レーザー加工 有機導電性膜 超短パルスレーザー 絶縁処理 タッチパネル

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 国内外の研究動向：現在、携帯情報端末などのディスプレイには、感覚的にわかりやすく操作が可能なタッチパネルが多用されている。材料は透明電極として知られるITO膜である。しかしITO膜はレアメタルを含んでおり、高価でかつ安定供給が先行懸念される材料である。そこで、安価で安定供給可能な有機透明導電性膜の利用に期待が寄せられている。

有機透明導電性膜は印刷法やエッチング法で回路パターンを作成するがITOよりも光透過性が僅かに低いため、人の目には膜の有無によるコントラストが認識されてしまう。透明膜としては致命的な課題であるため、未だに実用化ができない状況である。そこで研究代表者は、基礎研究を行い、これまでに課題解決につながる新たな効果を見出すに至った。

(2) 着想に至った経緯：これまでの回路形成は、基板上に導電性膜を回路パターンで附着させるか残留させる考え方に基づいている。しかし研究代表者はこの考え方を“金属配線における常識の継承”と捉え、有機材料には新しい考え方が必要ではないかと考えた。有機透明導電性膜の導電作用を調べると、共役二重結合の電子によって導電性をもつとされていることがわかった。そうであれば、共役二重結合の一部に欠陥を作ってしまうと、機能は喪失すると思った。そこで、超短パルスレーザーを利用し集光部で多光子吸収による紫外領域を創成することで有機物の連鎖を切断できないか試みることにした。その結果、透明度はそのまま照射部のみで絶縁効果の得られることを見出した。

### 2. 研究の目的

現在、スマートフォンなど透明タッチパネルにはITO導電性膜が使用されている。しかしITO膜にはレアメタルが使用されているため高価であり、安定供給への懸念も取り沙汰されている。そこで安価で安定供給可能な有機透明導電性膜が注目されているが、光透過性がITOよりも僅かに低いため、膜の有無によって配線パターンが視認されてしまうという課題を抱えている。本研究代表者は、これまでに基礎研究を行い、有機透明導電性膜にフェムト秒レーザーを照射すると、ピンポイントで絶縁効果が発現することを発見している。本研究ではこの発見を基礎として絶縁性と視認性の両者を満足する新しいレーザー3次元配線技術の確立を目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究体制は研究代表者のほかに、代表者が指導する博士課程学生2名を研究協力者とし合計3名で構成する。学生はレーザー装置や光学素子の扱い、光学設計など基本的な光学知識を十分有しており、レーザー加工に関する専門知識と実験経験も十分有している。

### 平成 25 年度

初年度は装置及びシステムの構築と導電性の調査に重点をおいて研究活動を行った。

#### (1) 装置およびシステムの構築

・加工ヘッド：レーザーは既存の超短パルスレーザー(フェムト秒レーザー =780nm、1kHz、200fs、3Wmax)を使用した。金属顕微鏡にはビームスプリッターを組み込み、レーザー加工ヘッドを構築した。焦点合わせと試料面観察のため既存のCCDカメラを設置した。

・レーザー走査ステージ：2軸自動リニアステージに加工試料を固定し、2次元レーザー走査が可能な加工システムを構築した。制御ソフトは既存のプログラミングソフトで作成した。

#### (2) 装置性能評価

・焦点サイズの測定、光軸調整を行うとともにレーザー出力測定を行った。

・レーザー走査軌跡、ステージ速度を確認し、ハード、ソフトの性能評価を行った。

#### (3) 導電性の調査

・レーザー出力密度と導電性の関係：レーザー照射による絶縁効果を把握するため、レーザー出力密度と膜の電気抵抗の関係を調査した。

・レーザー照射範囲と導電性の関係：レーザー照射で生じる絶縁領域を明らかにし、回路パターンの形成について調査した。

### 平成 26 年度

次年度は、有機透明導電性膜のレーザー照射による構造変化について徹底して分析を行うことで絶縁メカニズムを解明することに努めた。その後、2次元タッチパネルの作製を試み、導電特性評価を行った。

(1) 材料分析による絶縁メカニズムの検討  
レーザー照射した膜の構造変化を詳細に調査するためにX線光電子分光分析を行った。これにより絶縁メカニズムの解明を試みた。

(2) 2次元タッチパネルの作製、特性評価  
・有機透明導電性膜を塗布したPETシートを2枚用意し、XとYの直線回路を形成した。回路の微細領域について電気抵抗測定を行った。

・絶縁効果の高い2枚のシート試料を重ね、2次元のタッチパネルを作製した。これに電池と接点数分の点灯部を接続して導通信号認識装置を構築し、タッチパネルとして使用でき得ることを実証することを試みた。

#### (3) 研究成果の公表

精密工学会、日本機械学会にて成果発表を行った。また、平成27年には本研究成果を基にして高校生を対象とした科学技術演習を計画し、科学技術啓蒙教育プログラムを計画実施することを計画した。

### 4. 研究成果

(1) 初年度には装置およびシステムの構築を計画どおり完了させ、性能評価を行い不備のないことを確認した。(図1)

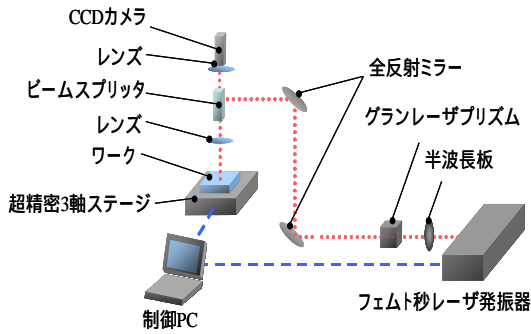


図1 実験装置の概略

(2) 導電性の調査

・レーザー出力密度をデフォーカスによって制御し、導電性との関係を明確にするため、表1の条件で、図2に示すように50 $\mu$ mピッチでレーザー走査し、4mm $\times$ 4mmの範囲を照射した。図3に評価方法を示す。マルチメータの端子を3mm離して電気抵抗の測定を行った。その結果を図4に示す。さらに視認性を評価するため、可視域での処理領域と未処理領域の透過率を調査した結果を図5に示す。

表1 レーザ照射条件

レーザー出力	10mW
走査速度	1mm/s
デフォーカス量	0.6mm ~ 2.4mm
レンズ	長焦点レンズ f=50mm

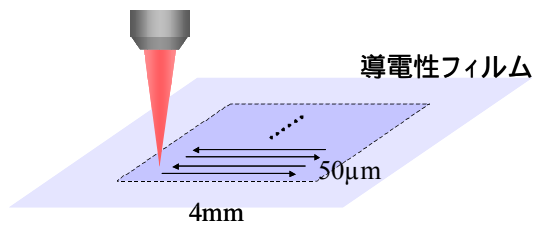


図2 レーザ照射実験 (レーザー走査軌跡)

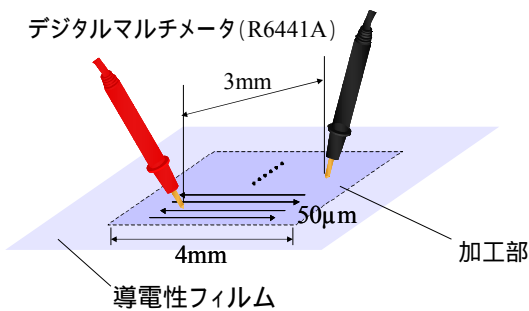


図3 絶縁性の評価方法

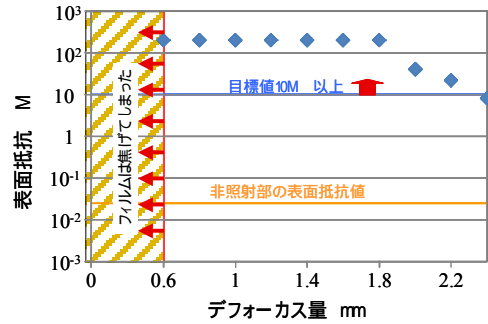


図4 絶縁性の評価結果

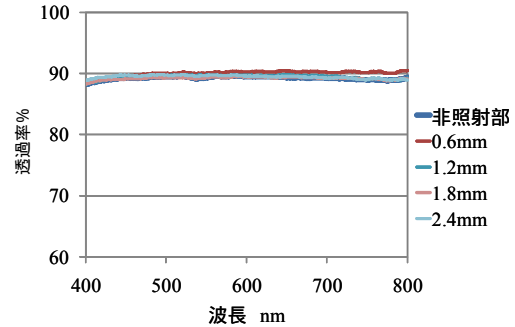


図5 可視領域における透過率

以上より、デフォーカス0.6mm以上で出力密度の低下によって焦げることなく100を超える絶縁性が得られた。また、図5からは、透過率に変化のないこともわかった。

(3) 材料分析による絶縁メカニズムの検討  
レーザー照射した膜の構造変化を詳細に調査するためにX線光電子分光分析を行った。これにより絶縁メカニズムの解明を試みた。



図6 X線光電子分光分析装置

図6の分析により共役二重結合が解離していることを解明できた。

(4) 2次元タッチパネルの作製、特性評価  
・有機透明導電性膜を塗布したPETシートを2枚用意し、XとYの直線回路を形成した。次に2枚のシート試料を重ね、2次元のタッチパネルを作製した。これに電池と接点数分の点灯部を接続して導通信号認識装置を構築し、タッチパネルを作製した。図7にその装置の様子を示す。

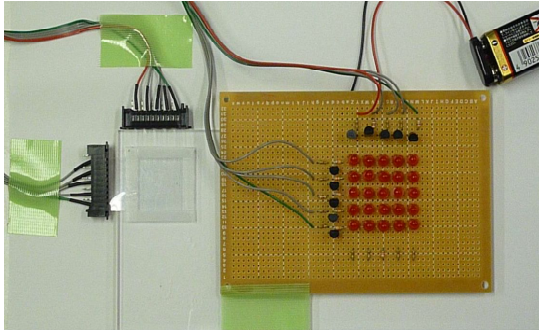


図7 タッチパネルのデモ装置

試作した装置でタッチパネルとして作動することを確認できた。

(5) 研究成果の公表

精密工学会、日本機械学会にて成果発表を行った。下記の「5. 主な発表論文等」で詳述する。また、平成27年に予定していた高校生を対象とした科学技術演習だが、平成26年度に早めてJSTと共にすでに実施済みである。

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)

池野順一、レーザーによる精密・微細加工の現状と将来、先端加工技術 (ISSN 0914-8698) No.95, 1-3, 2015. 査読なし。

池野順一、レーザー加工研究の動向、自動化推進, Vol.43, No.3, 2-4, 2014. 査読なし。

池野順一、レーザーによる微細パターンング技術、機械技術、Vol.62, No.4, 24-28, 2014. 査読なし。

池野順一、温故知新のすすめ、月刊トライボロジー, vol.28, No.3, 11, 2014. 査読なし。

池野順一、ガラス箔のレーザー3次元成形加工法、天田財団助成研究成果報告書, 158-161, 2013. 査読なし。

〔学会発表〕(計10件)

坂本恭平、細川仁志、池野順一、レーザーを用いたシリコンの潜傷探査に関する研究、精密工学会、683-684、2015.3.19.東洋大学(東京都、文京区) 査読なし。

池野順一、金羽木惇二、樹脂のレーザー加工に関する研究、日本機械学会、B44、2014.11.16、徳島大学(徳島県、徳島市) 査読なし。

金羽木惇二、長岡 力、池野順一、フェムト秒レーザー加工による樹脂の3次元加工(第2報)~加工特性の調査および空間創成~、精密工学会、697-698、2014.9.16、鳥取大学(鳥取県、鳥取市) 査読なし。

大橋一樹、金子洋平、池野順一、内部亀裂を利用した結晶材料のレーザー切り抜き加工、

砥粒加工学会、140-141、2014.9.11、岩手大学(岩手県、盛岡市) 査読なし。

南部剛志、金羽木惇二、池野順一、レーザーによるアクリル樹脂の3次元加工~磁力による穴あけ方向の制御~、精密工学会、181-182、2014.3.18、東京大学(東京都、文京区) 査読なし。

金羽木惇二、南部剛志、池野順一、フェムト秒レーザー加工による樹脂の3次元加工~熱処理による連続空間の創成~、精密工学会、179-180、2014.3.18、東京大学(東京都、文京区) 査読なし。

金羽木惇二、南部剛志、池野順一、レーザーによるアクリル樹脂の3次元加工-鋼球を用いた3次元穴あけ加工の試み-、精密工学会、279-280、2013.9.12、関西大学(大阪府、吹田市) 査読なし。

大橋一樹、池野順一、間藤大地、渡辺勇人、鈴木秀樹、篠塚信裕、阿部利香、DOEユニットを使用したマルチビームによるレーザーライシングに関する研究、砥粒加工学会、345-346、2013.8.27、日本大学(東京都、千代田区) 査読なし。

栗幅将樹、森 貴章、池野順一、アクリル樹脂のレーザー内部加工に関する研究、精密工学会、607-608、2013.3.15、首都大学東京(東京都、八王子市) 査読なし。

石田雄一、上柳将大、池野順一、結晶成長を利用したレーザー微細加工に関する研究、精密工学会、601-602、2013.3.15、首都大学東京(東京都、八王子市) 査読なし。

〔図書〕(計0件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

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

(3) 連携研究者

なし