

学位論文の要旨

Abstract of Thesis

研究科 School	自然科学研究科
専攻 Division	産業創成工学専攻
学生番号 Student No.	5 1 4 2 6 3 1 0
氏名 Name	西 則男

学位論文題目 Title of Thesis (学位論文題目が英語の場合は和訳を付記)

ナノ秒パルスレーザーによる透明導電膜の除去メカニズムに関する研究

学位論文の要旨 Abstract of Thesis

本論文は、レーザー光による透明導電膜の除去加工に関する検討を行ったものである。透明導電膜は可視域において高い透過性を示しながら高い導電性を有することから、フラットパネルディスプレイやタッチセンサ、太陽光発電パネルなどの機器に電極材料として使用されており、機器の構成に不可欠な存在である。この透明導電膜はガラスやフィルムなどの基材へ製膜し一部を除去することで電気回路を形成しており、この除去方法の一つにレーザー加工が適用されている。透明導電膜の材料として透明導電性酸化物 (TCO) である Indium Tin Oxide (ITO) が広く使用されているが、ITO に含まれるインジウムは希少金属であることから継続的な供給に懸念があり、脆性材料であるために柔軟性に乏しい材料である。近年の機器はフレキシブル化の要求が高まっていることから、柔軟性や延性も有する透明導電膜が求められている。そこで、ITO の代替え材料として期待される酸化亜鉛 (ZnO) や銀ナノワイヤを用いた透明導電膜の研究開発が盛んに行われており、今後これらの材料に適応した除去加工が必要になると考えられる。しかし、透明導電膜の除去加工は電氣的な絶縁性の確保だけでなく、基材への損傷、変色や透過性の低下等の品質上の問題を最小限に抑制することが要求される。

以上のような観点から、本研究はナノ秒パルスレーザーによる ZnO 透明導電膜と銀ナノワイヤ透明導電膜の除去加工特性を検討し、除去プロセスを解明することでレーザー光による最適な除去加工法を検討したものである。

第1章は序章で、研究の背景、目的および本論文の構成と概要について述べている。

第2章では、ナノ秒パルスレーザーによる各種 TCO 膜に対する除去加工特性と、ZnO 膜に対する除去加工における高品質化を目的とした加工方法について述べている。波長 1060nm, 532nm, 355nm の3種類のナノ秒パルスレーザーによるガウシアンモードのレーザー光強度分布を用いた ITO 膜、酸化スズ (SnO₂) 膜、及び ZnO 膜の除去加工では、レーザー光の波長、パルス幅ともに長い方が良好な加工が可能である適

正パルスエネルギーの範囲は広くなり、ITO 膜および ZnO 膜では加工溝周囲のバリがパルス幅を短くすることで低減できた。一方、SnO₂ 膜は加工溝周囲にバリがほとんど確認されなかった。同様に、3 種類の波長のナノ秒パルスレーザーによるトップハットモードのレーザー光強度分布を用いた ZnO 膜の除去加工では、ガウシアンモードと比較して高いエネルギー密度を必要とするが、ビームモード端でも十分なエネルギーを受け取ることができることからバリの発生が低減された。そこで、波長 1060nm のナノ秒ファイバレーザーを用いたトップハットモードのレーザー光強度分布に、円形マスクや単レンズとアクロマティックレンズを組み合わせてビームモード端の強度分布を調整して加工を行ったところ、単レンズを用いた場合は適切な円形マスクのサイズを選択することにより、加工溝周囲に生じるバリ及びクラックを抑制できた。一方、アクロマティックレンズは円形マスクを用いなくても加工部周囲への影響が少ない良好な溝形状が得られるが、安定した絶縁状態を得られなかった。この要因は、単レンズはレーザースポット中心から膜を押し出すように除去が進展し、アクロマティックレンズはレーザースポット全体に膜を押し付けるように除去が進展するためであることを高速度観察により明らかとした。そこで、トップハットモードのレーザー光強度分布に、単レンズとスリットマスクを光路中に用いてレーザー光走査方向とレーザー光走査方向に垂直な方向のそれぞれに異なった特性のレーザー光強度分布を与えたところ、良好な絶縁状態を得ながらバリの少ない良好な溝形状を得ることができた。

第 3 章では、銀ナノワイヤ透明導電膜に対するナノ秒パルスファイバレーザーを用いた除去加工特性について述べている。本透明導電膜においては、オーバーコート層内の銀ナノワイヤが除去されることにより絶縁状態を得られる。この時、銀ナノワイヤが飛散するために空洞として除去痕が形成されることから、加工品位に影響を及ぼすと考えられる除去痕の比率を除去面積比率として定義して検討した。その結果、長いパルス幅の方が除去面積比率は小さいが、良好な絶縁状態を得るためには、パルス幅の長い方が大きなフルエンスを必要とした。一方、視認性の変化を評価するために色差計を用いて除去加工部の測定を行ったところ、パルス幅一定の場合はフルエンスの増加にともなって銀ナノワイヤが短時間で除去され、オーバーコート層への熱影響の時間が短縮されることから色差は小さくなった。一方、加工部の光拡散状態はパルス幅一定の場合に、フルエンスの増加にともなって光が拡散する状態、拡散が少なく光が透過する状態、再び光が拡散する状態へと遷移した。したがって、色差を抑える条件においては、比較的大きい除去面積比率が得られる大きなフルエンスにおいて加工痕による散乱を生じさせることで未加工部と類似した光の拡散になった。よって、視認性の変化を抑えるためにはレーザー光照射前後で拡散性に変化が無く、色差の値が変化しない状態を両立することが望ましいことから、各パルス幅において良好な絶縁性を得ながら色差と拡散性の変化を抑える適切なフルエンスの存在が明らかとなった。

第 4 章は総括として、本研究によって得られた成果を各章ごとにまとめた。

以上のように本研究によって、ナノ秒パルスファイバレーザーを用いた ZnO 透明導電膜と銀ナノワイヤ透明導電膜の選択的除去加工における加工メカニズムを明らかにすることができ、良好な絶縁状態を有しながら良好な加工形状や視認性の変化を抑制する加工方法を見出すことができた。