

Title	YAGレーザーを用いたSnO ₂ 系導電薄膜の微細加工とその加工メカニズムに関する研究
Author(s)	臼井, 玲大
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/49534
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	臼井玲大
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 22951 号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学位論文名	YAG レーザを用いた SnO ₂ 系導電薄膜の微細加工とその加工メカニズムに関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 佐藤 了平 (副査) 教授 藤本 公三 教授 平田 好則 准教授 阿部 信行 准教授 岩田 剛治

論文内容の要旨

近年、発達の目覚ましいディスプレイ、コンピュータ、通信、などの電子回路は、ほとんどすべて薄膜の微細回路パターンで形成されている。こうした微細回路パターンを形成する際、従来から行われているホトリソグラフィ・エッチングプロセスを用いた方法では、パターン形成の度に多数の工程を必要とし生産性に難があるうえ、工程の度に大量の化学薬液等を使用し、全て廃棄されるのでコストパフォーマンスが極めて悪く、環境負荷も大きい。そこでこうしたの問題を解決する低環境負荷、高コストパフォーマンスな技術の進歩が強く望まれている。

本研究では、これらの電子回路のなかで、重要な材料の一つである酸化物系透明電極回路に着目し、希少資源であるITOに替るSnO₂系透明電極薄膜回路パターンの形成技術の実現を目指した。しかし、SnO₂はその安定性ゆえに、従来方式による化学エッチングは難しかったため、低環境負荷で高コストパフォーマンスが期待されるナノ秒パルスYAGレーザを用いた微細加工を検討した。その結果、約10ns以上のパルスレーザによって、高精度微細加工が可能であることを見出した。そしてこの加工はTa等のドーパ材や成膜方法によって変化する電子のキャリア濃度に依存して、微細加工の可否が決まるとともに、加工エネルギーも依存することを明らかにした。そして加工達成のためには、 $4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上の高自由電子濃度試料開発が必要であるという指針を得た。さらに高速加工に必要な低加工エネルギーとして、約2.0J/cm²というSnO₂系では最も低い加工エネルギーを達成することができた。また低自由電子濃度でも低エネルギー加工ができることを透明電極材料では初めて見出した。この加工メカニズムの詳細解明に取組み、アモルファスに近い準安定構造においてバンドギャップ内にYAG光子エネルギー(1.16eV)で励起可能な中間準位が形成され、伝導帯への励起による自由電子濃度上昇が生じている可能性を見出し、これまでのメカニズムにプラスしたレーザ加工メカニズムを提案した。推定したエネルギー吸収・加工メカニズムに基づいた適正なSnO₂系材料・プロセス条件を検討した結果、低加工エネルギーでかつ低抵抗な条件(3.0J/cm², $6.6 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$)を見出すことができた。

これにより低環境負荷で高コストパフォーマンスに優れたレーザを用いたSnO₂系薄膜回路パターン形成と加工の基礎物理を明らかにすることが出来、今後高性能電子回路形成・材料設計に本質的で重要な知見を与えるものと期待する。

近年、電子システムのデジタル化により、高度情報化社会の発展が目覚しく、今後益々超高速・高性能・大容量・超小型のシステムが出現し、本格的なユビキタス社会の到来が期待されている。その中核をなす、半導体、通信、ディスプレイや太陽電池、等の電子回路は、ほとんどすべて薄膜の微細回路パターンで形成されており、今後さらに、サステナブルで、高コストパフォーマンスな技術の進歩が望まれている。

本研究では、これらの電子回路のなかで、重要な材料の一つである酸化物系透明電極回路に着目し、希少資源であるITOに替るSnO₂系透明電極薄膜回路パターンの形成技術の実現を目指している。

まずSnO₂系材料は化学エッチングが難しかったため、環境低負荷で高コストパフォーマンスなドライバパターン形成技術として、ナノ秒パルスYAGレーザによる微細加工を検討した。その結果、約10ns以上のパルスレーザによって、高精度微細加工が可能であることを見出している。そしてこの加工クライテリアはTa等のドーパ材や成膜方法によって変化する電子のキャリア濃度に依存し、その濃度が $4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上であることを明らかにしている。さらに高速加工に必要な低加工エネルギーのためには、 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 前後のキャリア濃度が必要で、約2J/cm²というSnO₂系では最も低いエネルギーを達成することができることを見出している。

また、低電子キャリア濃度($1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 前後)でも低エネルギー加工(約2J/cm²)が出来ることを透明電極材料系では初めて見出している。この加工メカニズムを検討した結果、アモルファスに近い準安定構造において、バンドギャップ内にYAG光子エネルギー(1.16eV)で励起可能な中間準位が多数形成され、レーザパルスの初期に励起された電子がプラズマ共鳴吸収を増幅させることで、低エネルギー加工を実現している可能性を見出している。この知見を基に、従来のメカニズムにプラスした新たなレーザ加工メカニズムを提案している。

さらに、この加工メカニズムを考慮して適正なSnO₂系材料・プロセス条件を検討した結果、低加工エネルギーでかつ低抵抗な条件(3.0J/cm², $6.6 \times 10^{-3} \cdot \text{cm}$)を見出すことができ、プラズマディスプレイ、等への産業応用への可能性を得ている。

以上のように、本論文はYAGレーザを用いたSnO₂系導電薄膜の微細加工とその加工メカニズムを初めて明らかにしている。これらの成果は本系に限らず、多くの電子回路の構成材料の一つである酸化物系透明電極に対して、環境低負荷で、高コストパフォーマンスに優れたレーザによる薄膜回路パターン形成に多大な知見を与えるものであり、工業的かつ学術的に大きな意義を与えるものである。よって本論文は博士論文として価値があるものと認める。