



Title	Position-Selective Composition and Crystal Structure Control of Metal Oxides by Laser Irradiation and Its Application to Electronics
Author(s)	堤, 正紀
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/105538
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (堤 正 紀)	
論文題名	Position-Selective Composition and Crystal Structure Control of Metal Oxides by Laser Irradiation and Its Application to Electronics (レーザー照射による金属酸化物の位置選択的組成および結晶構造制御とそのエレクトロニクスへの応用)
論文内容の要旨 金属酸化物は優れた電氣的・磁氣的特性を有するため、コンデンサやインダクタなどの受動電子部品に広く用いられている。スマートフォンなどの電子機器の高度化に伴い、これらの電子部品は小型化が進み、現在では数百マイクロメートルサイズに達している。これを半導体分野における「More Moore」的トレンドと捉えるのであれば、さらなる電子機器の機能向上のために「More than Moore」的アプローチ、つまり受動電子部品の機能および応用の多様化が戦略として考えられる。例えば、バンド絶縁体である二酸化チタン (TiO_2) を用いたコンデンサ上に、金属―絶縁体転移を起こす強相関電子系であるマグネリ相酸化チタン ($\text{Ti}_n\text{O}_{2n-2}$) をパターン形成することで、電流・光・大気などの物理的・化学的入力によるスイッチング機能などを付与することが可能となる。 このような部品を製造するプロセスとして、本研究ではレーザー照射による金属酸化物の位置選択的組成・結晶構造制御に取り組み、 TiO_2 からマグネリ相チタン酸化物 (Ti_3O_5 または Ti_2O_3) への位置選択的転移に成功した。高フリューエンスのレーザー照射ではより還元された酸化チタンが生成され、その支配的要因は積算の照射光エネルギー量ではなく単一パルス内の瞬間的な光エネルギー量であることを見出した。さらに、有限要素シミュレーションを用いたレーザー照射時の温度上昇の推定から、化学反応メカニズムは化学熱力学平衡理論に基づいて解釈できることを明らかにした。この考察から、目的の化学反応に必要なフリューエンス閾値を予測する理論を提案した。これらの結果を基に、レーザー照射による金属酸化物組成のマイクロパターンニングによるガス応答性の向上、および $10\ \mu\text{m}$ の分解能での Ti_3O_5 の形成を実証し、このレーザーパターンニング技術が受動電子部品に様々な機能を付与するプロセスとして応用可能であることを示した。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (堤 正紀)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	田中 秀和 (産業科学研究所)
	副 査	教 授	清水 克哉
	副 査	教 授	倉持 光
論文審査の結果の要旨 本論文は、金属酸化物を利用した受動電子部品の高機能化という重要な工学的課題に対し、レーザー照射による遷移金属酸化物材料の位置選択的な組成および結晶構造の改変制御という新規プロセスを提案し、その有効性を実験および理論の両面から明らかにしたものである。電子機器の高度化に伴う受動部品の小型化を「More Moore」的潮流として捉える一方で、本提案プロセスを利用してマイクロ加工を施すことにより、さらなる機能の多様化を志向する「More than Moore」的アプローチを位置づけている。 申請者は、二酸化チタン (TiO_2) を基盤材料とし、レーザー照射によって基盤材料とは異なる新たな結晶構造を有するマグネリ相酸化チタン (Ti_3O_5 または Ti_2O_3) を、マイクロメートルスケールで位置選択的に形成することに成功した。特に、生成相の結晶構造を決定する要因が積算照射エネルギーではなく、単一パルス内の瞬間的な光エネルギー密度であることを見出した点は、新規性の高い重要な知見である。 さらに、有限要素法による温度上昇シミュレーションと化学熱力学平衡理論に基づき、レーザー誘起による結晶構造生成を還元反応に基づく機構として合理的に説明し、目的とする結晶構造の生成に必要なフルーエンス閾値を予測する理論を提案している。実験結果との整合性も良好であり、工学的にも有用な理論式を提示した。 加えて、本手法に基づくレーザーマイクロパターニングにより、複雑な形状を有するマイクロ細線ガスセンサーを実際に作製し、ガスセンシング応答性の向上や、10 μm 分解能での Ti_3O_5 マイクロパターン形成を実証することで、本手法が受動電子部品に新たな機能を付与する実用的プロセスとして有望であることを示した。 以上より、本論文は学術的価値および工学的意義が高く、博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと認める。			