Osaka University Knowledge Archive

Title	生体適合性向上のための短パルスレーザー照射によるチタン材の表面構造制御に関する研究
Author(s)	篠永, 東吾
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34456
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

様式3

論　文　内　容　の　要　旨

〔　題　　名　〕生体適合性向上のための短パルスレーザー照射によるチタン材の表面構造制御に関する研究

学位申請者　　篠　永　東　吾

本研究では、フェムト秒レーザープロセスの特徴である『多光子プロセスによる欠陥生成』及び『アブレーションを利用した周期的微細構造形成』によってチタン（Ti）材料に対して新機能を付加することを目的とした。Ti材料としては、近年Tiの生体適合性を向上させる材料として有望視されている酸化チタン（TiO_2）膜や、新しい金属材料として着目されているTi基金属ガラスを用いた。エアロゾルビーム照射によって形成したTiO_2膜上へのフェムト秒レーザー照射による周期的微細構造形成についてはこれまでに明らかにされておらず、筆者が初めて試みた。また、TiO_2膜上へのフェムト秒レーザーを用いた周期的微細構造形成のメカニズムについても未解明である。エアロゾルビーム照射TiO_2膜形成プロセス及び、TiO_2膜上へのフェムト秒レーザーを用いた周期的微細構造形成プロセスにより、細胞伸展制御を行った研究についてもこれまでに報告されてない。

本論文は結論である第6章を含めて全6章で構成される。第1章は、本研究の背景、目的及び構成について述べてあり、レーザープロセスによるTi材料への新機能付加の可能性について示した。第2章では、フェムト秒レーザーの特徴である多光子プロセスを利用したTiO_2膜への酸素欠陥の生成による新機能付加について検討した。機能の評価としては電気抵抗値の測定を行った。また、CWファイバーレーザーを用いた真空下での局所加熱プロセスによる電気抵抗値の減少について示した。第3章では、フェムト秒レーザー照射によりエアロゾルビームを用いて形成したTiO_2膜表面へ周期的微細構造が形成される条件を実験的に検討した。レーザーの波長を変化することでTiO_2膜に形成される周期的微細構造の周期の変化について明らかにした。実験結果を元にTiO_2膜表面への周期的微細構造の形成メカニズムについてSPP励起による可能性について実験結果を元に議論した。さらに、Ti基金属ガラスへの微細構造形成について示す。第4章では、Ti基金属ガラス基板表面に対してフェムト秒レーザーを照射することでTi基金属ガラスのアモルファス状態を維持した微細構造形成を検討し、形成した微細構造が生体適合性に与える効果について示した。生体適合性向上のための方法としてはハイドロキシアパタイト（HAp）の析出量を評価した。第5章では、TiO_2膜に対して形成した周期的微細構造が生体適合性の向上に与える効果について示した。生体適合性の評価としては細胞試験を用い、周期的微細構造形成による細胞伸展制御について検討した。また、伸展した細胞数の割合についても評価することで、周期的微細構造形成によって伸展した細胞数を減少させない細胞伸展制御についても検討した。第6章は、結論であり、本研究で得られた結果を統括している。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　篠永　東吾　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　准教授	塚本　雅裕
	副 査　教　授	平田　好則
	副 査　教　授	田中　学
	副 査　教　授	中野　貴由

論文審査の結果の要旨

本論文は、フェムト秒レーザープロセスの特徴である多光子プロセスによる欠陥生成及びアブレーションを利用した周期的微細構造形成によってチタン（Ti）材料に対して新機能を付加することを目的としており、純 Ti の生体適合性を向上させる材料として有望視されている酸化チタン（TiO_2）膜をエアロゾルビームにより形成し、フェムト秒レーザーを用いて TiO_2 膜上へ周期的微細構造を形成することで、TiO_2 膜上の細胞伸展制御が可能であることを初めて明らかにしている。また、新しい金属材料として着目されている Ti 基金属ガラスにフェムト秒レーザーを用いて微細構造を形成することで、ハイドロキシアパタイト（HAp）の析出量が向上することを明らかにしている。

第 1 章は、本研究の背景、目的及び構成について述べてあり、生体材料としての TiO_2 膜の有用性や、TiO_2 膜の形成方法としてエアロゾルビームが有効な手法の一つである理由、細胞伸展制御による生体適合性向上、細胞伸展制御を行う上でのフェムト秒レーザー照射による周期的微細構造形成の有効性について解説しており、フェムト秒レーザープロセスによる Ti 材料の生体適合性向上の可能性について示している。

第 2 章では、フェムト秒レーザー照射時において周期的微細構造が形成されるより低いレーザーフルーエンスでの TiO_2 膜とレーザー光との相互作用を理解するため、フェムト秒レーザーの特徴である多光子プロセスを利用した TiO_2 膜への酸素欠陥の形成による新機能付加について検討している。TiO_2 膜にフェムト秒レーザーを照射するとレーザー照射部の電気抵抗値がレーザーフルーエンスの上昇に伴い低下することを明らかにしている。また、CW ファイバーレーザーを用いた真空下での局所加熱プロセスを行うと、フェムト秒レーザー照射の場合と比較してレーザー照射部の電気抵抗値が更に減少することを明らかにしている。

第 3 章では、エアロゾルビーム照射により形成した TiO_2 膜表面へ、フェムト秒レーザーを照射することにより周期的微細構造が形成される条件をレーザーフルーエンス及び掃引速度を変化させることで実験的に明らかにしている。レーザーの波長を変化することで TiO_2 膜上へ形成される周期的微細構造の周期が変化することを明らかにしている。比較として、Ti 基板にも周期的微細構造形成を試みているが、形成される周期的微細構造の周期が TiO_2 膜の場合はレーザー波長の 0.3 倍程度、Ti 基板の場合はレーザー波長の 0.7 倍程度と異なることを明らかにしている。TiO_2 膜表面への周期的微細構造の形成メカニズムについて、多光子プロセスによる電子励起から高密度電子励起層が生じ、高密度電子励起層と TiO_2 膜そのものの界面で SPP が形成されることで周期的微細構造が形成される可能性があることが実験結果との比較により示唆されている。また、Ti 基金属ガラスへの微細構造形成についても示している。

第 4 章では、Ti 基金属ガラス基板表面に対してフェムト秒レーザーを照射することで、Ti 基金属ガラスのアモルファス状態を維持した微細構造形成領域が形成可能であることについて明らかにしている。フェムト秒レーザーによる微細構造形成プロセス及び水熱電気化学処理法によるチタネートナノメッシュ層形成の複合プロセスを行うことで、

Ti 基金属ガラスの生体適合性を向上（HAp の析出量が向上）することが可能であることを明らかにしている。

第 5 章では、エアロゾルビームを用いて形成した TiO_2 膜に対して、フェムト秒レーザーを照射することで形成した周期的微細構造が生体適合性の向上（細胞伸展）に与える効果について示している。細胞の伸展方向が、レーザーを照射していない TiO_2 膜上ではランダムに伸展するが、周期的微細構造を形成した TiO_2 膜上では細胞が周期的微細構造の溝に沿って伸展した箇所が存在することを明らかにしている。レーザー波長変化により周期を変化した場合においても周期的微細構造の溝に沿って細胞が伸展した箇所が存在する結果が得られている。細胞の伸展方向の角度と細胞数の割合についての統計をとることで、周期 230 nm の場合が最も細胞伸展制御に有効である可能性があることを示している。以上の結果は、エアロゾルビーム照射による TiO_2 膜形成プロセス及び、フェムト秒レーザー照射による周期的微細構造形成プロセスにより、初めて TiO_2 膜上の細胞伸展制御が可能であることを明らかにした結果である。

第 6 章は、結論であり、本研究で得られた結果を要約して統括しており、フェムト秒レーザープロセスが TiO_2 膜や Ti 基金属ガラスといった Ti 材料への生体適合性向上に有効であることについて言及している。

以上のように、本論文は、これまで明らかにされていなかった TiO_2 膜上の細胞伸展制御が、エアロゾルビーム照射による TiO_2 膜の形成プロセス及びフェムト秒レーザー照射による周期的微細構造形成プロセスにより示されている。TiO_2 膜上の周期的微細構造形成におけるメカニズムにも取り組んでいることから、レーザー工学、生体材料分野のみならず、生産工学の発展に寄与するところが大きい。

したがって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。