

課題番号 25

可視光応答型 TiO_2 膜を用いた抗菌インプラントの創製

[1] 組織

代表者：上田 恭介

(東北大学大学院工学研究科 材料システム工学専攻)

対応者：小笠原 康悦

(東北大学 加齢医学研究所)

分担者（協力者）：成島 尚之

沈 善用

(東北大学大学院工学研究科 材料システム工学専攻)

研究費：物件費 13 万円

[2] 研究経過

世界的な高齢者人口の増加に伴い、生体埋入デバイスの需要は増大している。特に加齢に伴う歯の喪失により、歯科用インプラントの利用患者数が増加している一方で、インプラントに関連した手術部位感染 (SSI) は少なくとも数%から 30% 発生しているとされている。骨組織は食細胞が少なく生体防御機構が弱いことに加え、加齢に伴う免疫機能の低下により高齢者の SSI リスクはさらに増加する。そのため、SSI 対策として「抗菌性」と「骨適合性」の両方を具備するインプラントの表面処理が強く求められている。

酸化チタン (TiO_2) は安定した酸化物であり優れた骨適合性を有するだけでなく、光触媒材料としての性質を持つ。紫外光 (UV) を照射すると水の分解反応により強力な酸化力を持つラジカルを生成し、細菌を酸化分解・不活化させることができる。光照射時のみ抗菌性を発現するこの性質は、歯科用インプラントへのコーティングとして極めて有効である。しかし、UV は生体為害性を有するため、安全な生体応用のためには「可視光」照射下で光触媒活性を発現させる (可視光応答化) ことが望ましい。

TiO_2 の可視光応答化には元素添加によるバンドギャップ狭帯が有効である。当グループではこれまでに、第一原理計算から TiO_2 への炭素および窒素の共添加がバンドギャップ狭帯に有効であることを明らかにし、実験的にもチタンの熱酸化による軽元素添加 TiO_2 膜を作製して、可視光照射下での抗菌性発現を見出してきた。しかし、従来の熱酸化法では、膜中の軽元素の分布や存在状態、添加量を精密に制御することが困難であるという課題があった。

そこで本共同研究では、熱酸化法に代わるプロセス

として、膜質制御性に優れた「反応性スパッタリング法」に着目した。本研究は、軽元素 (特に炭素・窒素) 共添加 TiO_2 膜を作製し、可視光照射下における光触媒活性および抗菌性を評価することを目的とし、研究を遂行した。

以下、研究活動状況の概要を記す。本研究は、東北大学大学院工学研究科 材料システム工学専攻において、石英基板上に可視光応答型 TiO_2 膜を作製して、抗菌性評価については加齢医学研究所・小笠原康悦教授の研究室と連携しながら、共同研究を進めた。代表者は、これまでに小笠原康悦教授と共同研究を行ってきた実績があり、これまでに加齢研への訪問、研究の打ち合わせ、サンプルの送付と解析と準備を進めてきた経緯がある。本共同研究もこれまでの連携を生かして研究を進めた。

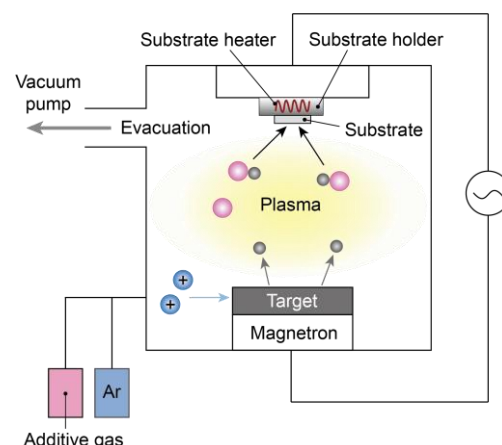


Fig. 1 Schematic diagram of reactive RF magnetron sputtering to fabricate nitrogen-doped TiO_2 films used in this study.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、金属 Ti をターゲットとした反応性 RF マグネトロンスパッタリング法 (Fig. 1) により、 Ar-O_2 を基本ガス、 N_2 ガスを窒素源として、石英基板上に膜厚約 $0.5 \mu\text{m}$ の TiO_2 膜を作製する条件検討を行った。その結果、窒素添加 TiO_2 膜を作製することができ、可視光照射下におけるメチルオレンジ分解を確認できた。すなわち、可視光応答型 TiO_2 コーティング膜の成膜に

成功した。

さらに、加齢医学研究所・小笠原研究室において、大腸菌を用いた可視光照射下での抗菌性評価を実施し、コーティング膜の構造と抗菌性の関係を明らかにすることができた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本技術を歯科用インプラント等に適用することで、免疫機能が低下しがちな高齢者に対しても、より安全で安心なインプラント治療を提供するための強力な基盤技術となることが期待される。

[4] 成果資料

【解説】

- (1) 上田恭介、成島尚之: “スパッタ法による非晶質リン酸カルシウムコーティング膜の作製と Ag 添加による抗菌性の付与” NEW GLASS, 40[1] (2025) (Serial No. 144) 25-30.
- (2) 上田恭介、成島尚之、佐原亮二: “生体用セラミックスを用いたチタンの抗菌機能化表面処理,” バイオマテリアル, 43[2] (2025) 128-133.

【学会発表】

- (1) Sunyong Shim、上田恭介、成島尚之: 「反応性スパッタリング法による炭素添加 TiO₂ 膜の作製および可視光照射下における光触媒活性評価」, 日本金属学会 2025 年秋期 (第 177 回) 講演大会, 北海道大学, 2025 年 9 月 18 日, 講演番号 150
- (2) S. SHIM, K. UEDA, K. OGASAWARA, T. NARUSHIMA: “Visible-light-induced Photocatalytic and Antibacterial Activities of Nitrogen-doped TiO₂ Films Fabricated via Reactive Sputtering,” The 39th International Korea-Japan Seminar on Ceramics, K-J Ceramics 39, Oriental Hotel, Jeju, Korea, November 20, 2025, S4-P1-1 (Poster)
- (3) Sunyong Shim、上田恭介、成島尚之、小笠原康悦: 「反応性スパッタリング法による炭素添加 TiO₂ 膜の作製と可視光照射下における光触媒活性および抗菌性評価」, 2025 年度日本バイオマテリアル学会東北ブロック交流会, 東北大学, 2026 年 2 月 18 日, 講演番号 P-04 (ポスター発表)
- (4) Sunyong Shim、上田恭介、小笠原康悦、成島尚之: 「CO-CO₂ ガスを用いた反応性スパッタリング法による炭素添加 TiO₂ 膜の作製」, 日本金属学会 2026 年春期 (第 178 回) 講演大会, 千葉工業大学, 2026 年 3 月 13 日, 講演番号 51

【基調講演】

- (1) 上田恭介: 「生体用セラミックスを用いた抗菌・

抗ウイルス材料開発」日本材料学会 生体・医療材料部門委員会 第 7 回学生研究交流会, 長岡技術科学大学東京サテライトキャンパス, 2026 年 3 月 10 日

- (2) 成島尚之: 「軽元素メタラジーに基づく生体用金属材料の機能発現」日本金属学会 2026 年春期講演 (第 178 回) 大会, 千葉工業大学, 2026 年 3 月 12 日, 講演番号 32, 増本量賞受賞講演

【受賞】

- (1) 第 32 回増本量賞

成島尚之

「軽元素メタラジーに基づく生体用金属材料の機能発現」

公益財団法人 日本金属学会

2026 年 3 月 11 日