

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2023
課題番号：20H02458
研究課題名（和文）生体親和性に優れたインプラント用TiNbSn合金の創製

研究課題名（英文）Study of biocompatible implant TiNbSn alloy

研究代表者
正橋 直哉（Masahashi, Naoya）

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：20312639
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：インプラント材料から発生する摩耗粉と金属イオンの溶出抑制を目的に、新しく開発した生体用TiNbSn合金を高電圧印加下で陽極酸化処理を施し、模擬体液中でTribocorrosion特性を純Tiと比較した。純Ti陽極酸化では火花放電が起こらなかったが、TiNbSnでは絶縁破壊による火花放電が発生し、前者はアナタースで後者はルチル型TiO₂であった。Tribocorrosion特性は後者の摩擦係数は前者と同様であったがOCPの負電圧シフトは前者は観察されたが、後者では観察されなかった。後者の優れた機能は強固に結合した高強度のTiO₂に起因し、摩耗粒子の発生や金属イオンの溶出が抑制されたと結論した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属系インプラント材料は骨伝導性を有しないために生体適合性に劣るだけでなく、最近需要が激増している人工股関節は異なる材料の集合体であるため、摩擦摩耗により発生する摩耗粉や金属イオンの溶出による疾患が懸念されている。申請者グループはこれらの課題を陽極酸化による表面処理で解決し、安全安心なインプラント治療を提供することに成功した。

研究成果の概要（英文）：In order to suppress the elution of wear particles and metal ions generated from implant materials, a newly developed biomedical TiNbSn alloy was anodized under high voltage application, and its tribocorrosion properties were compared with that of pure Ti in simulated body fluids. Spark discharge did not occur in pure Ti anodization, but occurred due to dielectric breakdown in TiNbSn, and the crystal structure of the formed oxide of the former and latter was anatase and rutile TiO₂, respectively. Regarding tribocorrosion characteristics, the friction coefficient of the latter was similar to the former, but a negative voltage shift of OCP was observed in the former, but not in the latter. It was concluded that the superior functionality of the latter was due to the strongly bonded, high-strength rutile TiO₂, which suppressed the generation of wear particles and the elution of metal ions.

研究分野：金属材料学

キーワード：生体材料 陽極酸化 トライボコロージョン特性 電気化学 二酸化チタン 密着強度 硬度 結晶性

1. 研究開始当初の背景

人体で最大の股関節は、変形性股関節症を発症すると、疼痛や筋力低下による歩行機能障害をおこし、股関節の一部または全部をインプラント材に置換する人工股関節手術が必要となる。人工股関節ステム材料の課題は、ステムネック部は体重を支えるために高強度が必要であるのに対し、大腿骨固定部や遠位部は応力遮蔽による骨萎縮や骨劣化を抑制するため、皮質骨のヤング率 (10~30 GPa) に近いヤング率が必要な点で、トレードオフの関係にある強度とヤング率を満足させなければならない点である。申請者は Ti の near β 相を主相とする TiNbSn 合金の成分制御と加工熱処理により、脆化を起こす ω 相の析出を抑制し、 β 相 $\langle 110 \rangle$ 配向の先鋭化により約 40 GPa の低ヤング率と優れた加工性を得ることを確認した。この TiNbSn 合金の遠位部の低ヤング率を変えずに、近位部を局所加熱することで α 相の微細析出を促進し、高強度化を実現し、低ヤング率と高強度を兼備するステムに仕上げることに成功し、2021 年に厚生労働省から薬事承認を得た。本研究では生体親和性に優れたインプラント用 TiNbSn 合金を創製するために TiNbSn 合金基板に陽極酸化法で TiO_2 を担持し、 TiO_2 による光誘起特性の付与の検証を行う。

2. 研究の目的

生体親和性に優れたインプラント用 TiNbSn 合金の創製を目的に、TiNbSn 表面に陽極酸化処理を施して TiO_2 膜を形成する。陽極酸化試料を疑似体液中で Tribocorrosion 試験を行い、摩擦摩耗と腐食挙動を in-situ で同時に測定し、酸化膜の影響を検討する。また陽極酸化時の電気化学条件 (印加電圧、電流密度、電解液組成等) を制御することで、結晶性の高い TiO_2 を成膜し、抗菌性や有害物質の分解などの光誘起特性の付与を目指す。具体的には高電位印加により、MAO (Micro-arc oxidation) によるスパークを基板表面で誘起し、自己発熱による TiO_2 の結晶性向上により、光照射励起種の再結合サイトになる格子欠陥密度の低減を目指す。これらの確認は励起種から生成する OH ラジカルを、電子スピン共鳴法 (Electron Paramagnetic Resonance: ESR) で測定する。あわせて、光触媒機能を明らかにし、研究分担者グループが抗菌試験を実施する。

3. 研究の方法

陽極酸化は TiNbSn 合金 (以後 TNS) 基板 (25×25×1mm³) を陽極に、100 メッシュの白金網 (100 × 100 mm²) を陰極にし、定電流 (50 mA/cm²) で実施する。所定の電位までは定電流制御、設定電位到達後は定電圧制御で陽極酸化を行った。電解液は 50 mM 酒石酸 Na に 0.7 M H₂O₂ を添加あるいは無添加の二種類とし、10°C の電解液中で 30 分行った後、大気中熱処理 (450°C×5h) を施す。比較材とし Ti6Al4V (以後 64) 基板に対し同条件で成膜する。以後、電解液に H₂O₂ を添加で成膜した試料を (iii) (iv)、無添加を (i) (ii)、熱処理無を (i) (iii)、有を (ii) (iv) とする。各酸化膜は、TEM 断面観察、レーザー顕微鏡観察、薄膜 X 線回折、GDOES 分析、UV-Vis 分光測定により、組織・相構造・結晶性・膜厚・分光特性を調べた。Tribocorrosion 性能は、人工股関節の大腿骨ステムと大腿骨の間、または大腿骨頭と大腿骨ステムの間の界面でおこる fretting 摩耗を、疑似体液 (Hank's 液) 中で、 ϕ 4.76 mm の SiC 球を相手材に、印加荷重 1N、摺動振幅 100 μ m、往復回数 2000 回で実施し、体内環境を模した環境下での摩耗特性を調べる。実験では、開回路電位 OCP (Open circuit potential) を in-situ で測定することで腐食挙動を同時に測定する。また本研究で整備した、薄膜密着強度測定装置にて、陽極酸化膜と基板との密着強度を測定し、摩耗挙動解析に加え、基板との密着性の観点も取り入れて、tribocorrosion 特性を調べた。一方、抗菌試験は、大腸菌、黄色ブドウ球菌、MRSA の三種の菌について、reference として暗所あるいはガラスの二通りで実験を行う。また別途行う、JIS に準拠した紫外線照射下でのメチレンブルー色素 (以後 MB) の分解試験から光触媒活性を把握し、ESR 法とテレフタル酸法を用いて、抗菌性や触媒活性の原因と推察される OH ラジカルの定量化を行う。以上を通して生体親和性に優れたインプラント用 TNS 合金の確立を目指す。

4. 研究成果

図 1 は、H₂O₂ を添加した電解液で 64 (a) と TNS (b) 基板への陽極酸化を施した時の電解曲線であるが、共に定電流制御で反応が進行していることが判る。図から、64 基板の陽極酸化では電圧は fluctuation を伴いながらなかなか増加せず、所定の時間 30 分後は、約 240V で頭打ちであったのに対し、TNS 基板では 400V 近くまで単調に電圧が増加した。また、TNS 基板では、陽極酸化の約 90 s 後から基板表面でスパークが発生したが、64 基板ではスパークは観察されなかった。電解液の温度は、共に反応と共に増加するが、TNS 基板陽極酸化の方が 64 基板陽極酸化より高い。酸化膜の組織は 64 ではグラッシーだが、TNS は

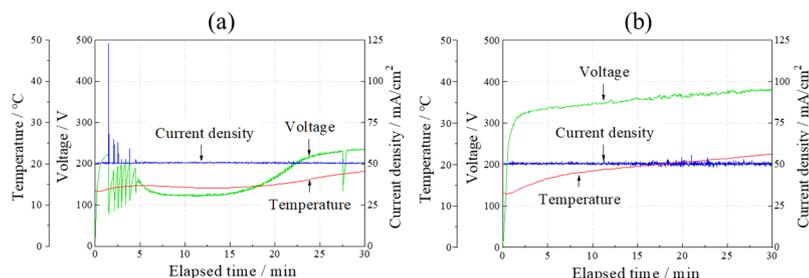


図 1 64(a)と TNS(b)基板上陽極酸化の電解曲線

多孔質であった。図 2 は 64 と TNS 合金基板上陽極酸化膜 (条件(iv)で成膜)の断面 TEM 組織である。64 では基板と平行な界面が多数観察でき、解析の結果、ポア密度の高い層と低い層が積層していることが明らかとなった。一方、TNS 基板上陽極酸化膜では、膜中にポアが不均一に分散しており、ポアの密度は低い。また制限視野回折から、前者はアナタース構造の TiO_2 を、後者は高温で安定なルチル構造の TiO_2 を示した。図 3 は薄膜 X 線プロファイルで、(a)は 64 基板、(b)は TNS 基板上の陽極酸化膜で、下表は Williamson-Hall プロットから算出した不均一歪みと、Clark の経験式から算出した酸化膜中のルチルの分率である。(a)はアナタース型 TiO_2 が主体で半価幅が大きいのに対し、(b)は陽極酸化条件によらず、ルチル型 TiO_2 が主体で、前者より半価幅が小さい。また表記載の解析結果から、TNS 基板上陽極酸化膜の不均一歪みは 64 に比べて小さく、結晶性が高いことがうかがえる。

図 4 は XPS の半定量分析結果 (a)64 基板、(b)TNS 基板上陽極酸化膜)で、酸化膜は TiO_2 と基板合金の構成元素の酸化物によって構成され、各酸化物の分率は右の横棒グラフのように計算できる。グラフ上部の青字の数値が基板分析値から算出した酸化物分率 (予測値)で、64 基板上酸化膜においては、Al と V の酸化物の実測値が予測値より高い。一方、TNS は Nb 酸化物の実測値が予測値より高いが、Sn 酸化物は低いことが判る。つまり、64 基板では陽極酸化膜中に合金元素の酸化物が予測値より多く存在するのに対し、TNS 基板では Nb 酸化物のみが予想値より多い。以上から、共存する合金元素の酸化物は有意な量であり、陽極酸化膜の機能に合金の添加元素が影響を与える可能性があるかと推察する。

摩耗特性は表面層の硬度と、表面層と基板との密着力の影響が大きいと言われている。そこで、陽極酸化膜のビッカース硬度とナノインデント硬度、そして超薄膜スクラッチ試験で求めた基板密着強度を調べた (図 5)。成膜条件に関わらず、両硬度も基板との密着強度も、64 基板上陽極酸化膜より TNS 基板上陽極酸化膜の方が高いことが判る。

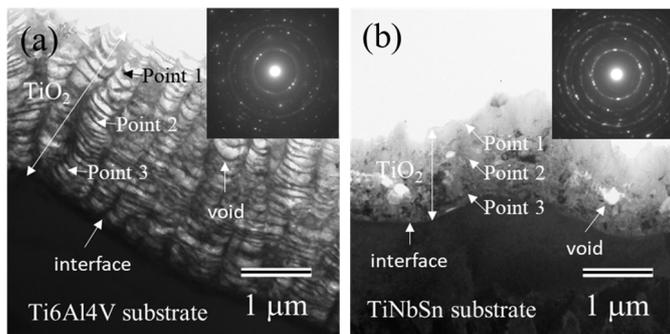
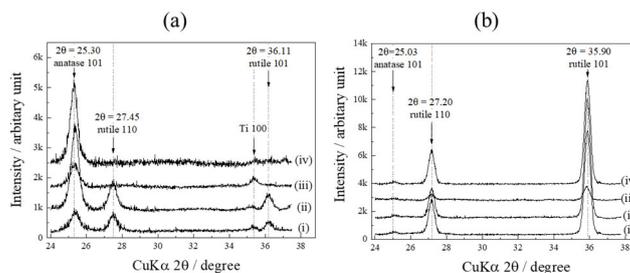


図 2 64(a)と TNS(b)基板陽極酸化膜の断面 TEM 組織



Sample	Ti6Al4V		TiNbSn	
	fraction of rutile	lattice strain ϵ in anatase / rutile	fraction of rutile	lattice strain ϵ in anatase / rutile
(i)	0.13	0.12 / 0.43	0.99	---- / 0.12
(ii)	0.20	0.12 / 0.13	0.96	---- / 0.01
(iii)	0.08	2.50 / ----	0.87	5.19 / 1.10
(iv)	0.00	1.10 / ----	0.97	---- / 0.02

図 3 64(a)と TNS(b)基板陽極酸化膜の薄膜 X 線回折 Profile と解析結果 (下表)

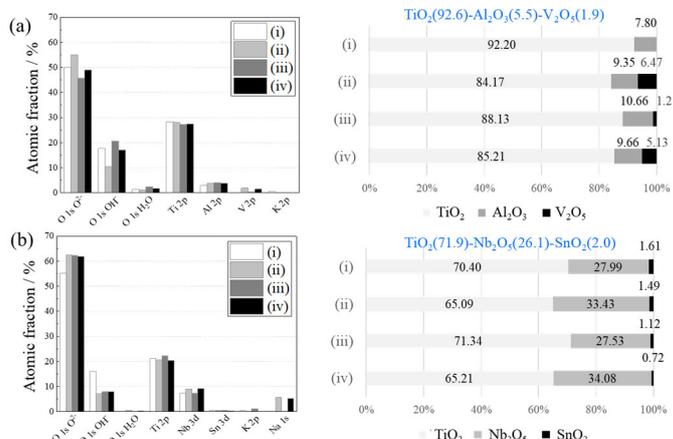


図 4 64(a)と TNS(b)基板陽極酸化膜の XPS 分析による検出された化学種の分率

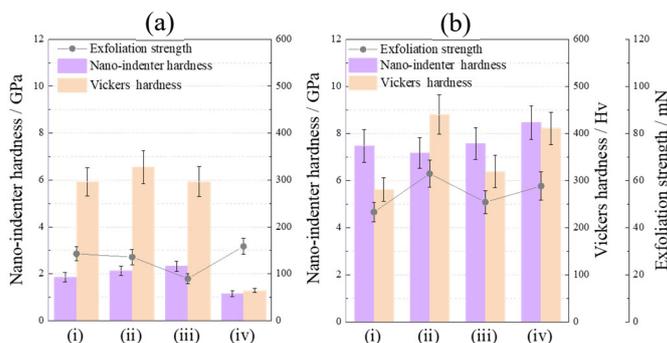


図 5 64(a)と TNS(b)基板陽極酸化膜のナノインデント硬度およびビッカース硬度と密着強度

図6は tribocorrosion 試験結果で、上は動摩擦係数 COF、下は OCP の時間依存性である。上図から陽極酸化を施さない場合(黒線)、COFは高く摩擦が進んでいるが、陽極酸化を施すことでCOFは減少し、酸化膜が摩擦損傷を抑制していることが判り、TNSも同様の結果を示している。一方、腐食は fretting 開始と共に、OCPが低下し不動態膜による基板保護が損なわれ、終了と共にOCPが増加し不動態膜再生がうかがえる。陽極酸化材では64はOCPが低下し、TNSはある条件からOCPの低下が起こらない。つまり64は陽極酸化を施しても腐食を抑制できないが、TNSは抑制できることを示唆する。

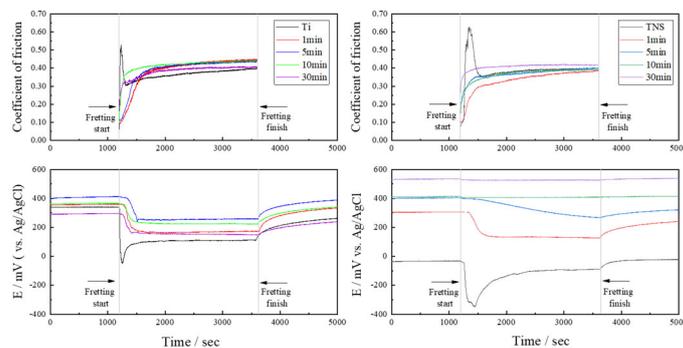


図6 Ti (a)と TNS(b)基板陽極酸化膜の Tribocorrosion 試験結果:動摩擦係数(上)と OCP(下)

図7に64基板とTNS基板に成膜した陽極酸化膜のMB分解の反応速度定数を示す。反応速度定数はMB分解反応をLindemann-Hinshelwood機構に基づいて算出した、試料ごとに示している。図中の差し込み図は条件(iv)で成膜した酸化膜のMB分解性能を示す吸収スペクトルで、MBの吸収波長664nmのピークが、TNSでは照射時間とともに大きく減少しているが、64では減少が小さいことが明白で、前者が後者より光照射によるMB分解能が優れていることが判る。TNS基板酸化膜の反応速度定数は64より高く、両基板とも条件(iv)で成膜した試料が最も光触媒活性に優れていることが判る。

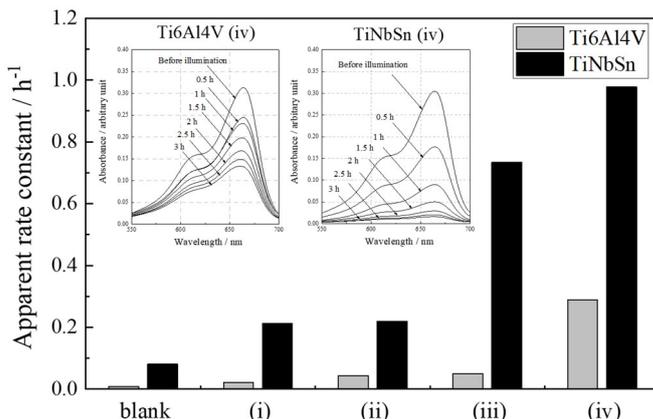


図7 64 (a)と TNS(b)基板陽極酸化膜のメチレンブルー分解の反応速度定数

図8に図7で最も活性が高かった条件(iv)で成膜した酸化膜に対し、黄色ブドウ球菌を用いた抗菌試験結果を示す。図ではreferenceとして、陽極酸化を施していないガラス板と、陽極酸化を施した試料の暗所(光を照射していない)の二通りで算出し、算出は図中に挿入した式で行った。図から、どちらのreferenceにおいても、TNSの抗菌活性値が64より高いことが判り、前者はJISが設定する抗菌性の指標である抗菌活性値が2を越えており、「抗菌性がある」と結論することができる。また抗菌は、MB分解性能と相関があり、両反応は同一のメカニズムに準拠すると推察できる。

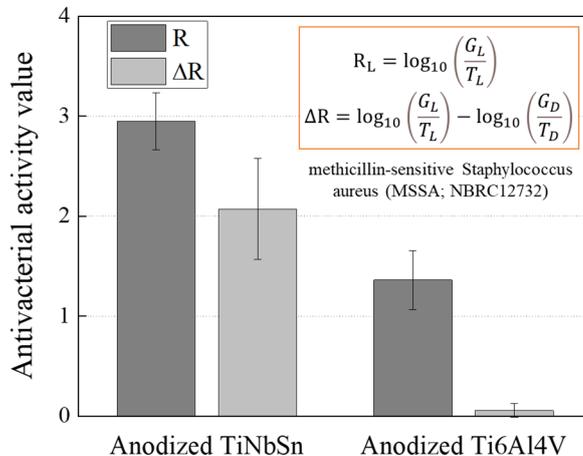


図8 64とTNS基板陽極酸化膜(条件(iv)で成膜)の抗菌試験結果

図9は光照射で発生したOHラジカル量をESRにより測定し、その生成量の光照射時間依存性を示す。図には15分光照射

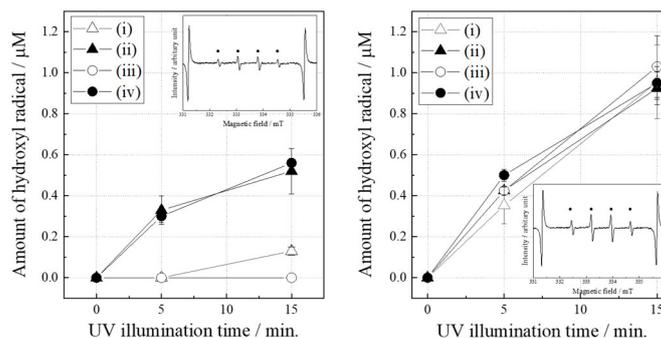


図9 64 (a)と TNS(b)基板陽極酸化膜の光照射により発生するOHラジカル量の光照射時間依存性

時の ESR スペクトルを挿入するが、スペクトルのアスタリスク印のピークが OH ラジカル由来のシグナルである。TNS 基板陽極酸化膜の方が、64 基板陽極酸化膜よりシグナル強度が高いことが判る。図から、64 では OH ラジカルの生成には熱処理が必要であるが、TNS は熱処理の有無にかかわらず OH ラジカルを生成し、その生成量は 64 より多量であることがわかる。別途、テレフタル酸法でも OH ラジカル量を測定したが、同様の結果を得たことから、TNS の高い MB 分解性能や抗菌活性値は光照射により生成する多量の OH ラジカルに起因すると結論できる。

OH ラジカルは光照射によって生成した電子と正孔の励起種が、大気中の酸素や水分子と反応して生成するが、正負が逆で相互に近接するため、容易に再結合して消滅する。再結合は酸素空孔、 Ti^{3+} などの異配位イオン、転位等の欠陥で起こるため、結晶性の高い酸化膜ほど再結合が抑制され、OH ラジカルの生成量は高い。TNS 基板陽極酸化膜の結晶性が高い理由は、陽極酸化時のスパークが関与する。スパークは、導電性に劣る酸化物の成長による絶縁破壊に起因する。図 10 は陽極酸化膜の膜厚の印加電圧依存性であるが、酸化膜の成長速度は TNS が 64 や純 Ti より高いことがわかる。これは 5 価の Nb の酸化が 3 価の Al や 4 価の Ti よりエネルギー的に起こり易いため、基板の添加元素が酸化膜の成長速度に影響すると推察する。図 2 において、64 酸化

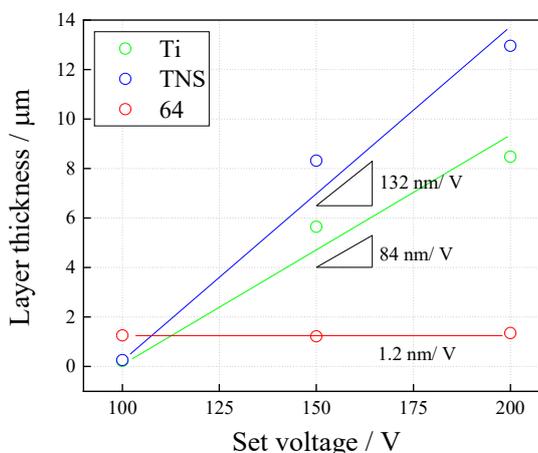


図 10 純 Ti、64、TNS 基板上陽極酸化膜の膜厚の印加電圧依存性

膜で空孔層が観察できたのは、3 価の Al が酸素を消費しきれず、酸素イオンが合体し気体酸素を形成したことを示唆する。それに対して TNS は 5 価の Nb を 22% 含有し、酸素を効率的に消費するため、酸化膜中の空孔密度は低い。TNS 基板では導電性に劣る酸化物の成長速度が速いため、スパークが観察されたと考えられるが、スパークによるジュール熱は 8000K に達すると言われている。このような熱エネルギーが付与されることで、酸化膜中の拡散が促進されて欠陥が減少し、再結合が抑制されたと考える。一方、図 3 で示した様に、酸化膜中には合金元素の酸化物が TiO_2 と共存していたことを踏まえ、各酸化物のバンド構造を図 11 に示す。図から 64 基板酸化膜(a)では、 V_2O_5 の価電子帯の上端電位が最も高く、伝導帯の下端電位が最も低いことがわかる。すなわち、励起種である電子と正孔は、エネルギー的に安定な V_2O_5 に集まること有利で、再結合し易い。一方、TNS 基板酸化膜(b)では、正孔は価電子帯の上端電位が最も低い Nb_2O_5 に、電子は伝導帯の下端が最も高い SnO_2 に移動し、電荷分離 (Charge separation) が起こり、再結合は起こり難い。以上のモデルは、一般には異なる半導体接合物質の機能の説明に用いられるが、本研究では陽極酸化膜に検出された異なる金属酸化物に適用した「ヘテロジャンクションモデル」を提案し、これまでにないメカニズムである。

本研究の結果、TNS 基板に陽極酸化を施すことで、高い触媒活性と抗菌性を付与でき、陽極酸化膜の高い結晶性による再結合抑制とヘテロジャンクションモデルでその原因を説明した。

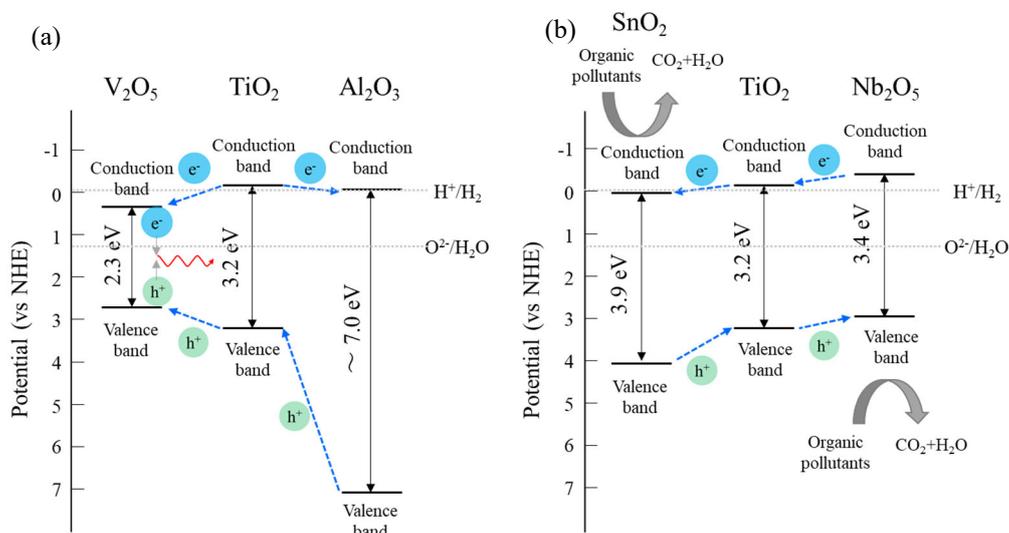


図 11 64 (a)と TNS(b)基板陽極酸化膜のバンド構造モデルによる励起種の移動方向

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 M. Hatakeyama, N. Masahashi, Y. Michiyama, H. Inoue, S. Hanada	4. 巻 56
2. 論文標題 Wear resistance of surface-modified TiNbSn alloy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Mater. Sci.	6. 最初と最後の頁 14333-14347
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10853-021-06213-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. Hatakeyama, N. Masahashi, Y. Michiyama, H. Inoue, S. Hanada	4. 巻 825
2. 論文標題 Mechanical properties of anodized TiNbSn alloy for biomedical applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mater. Sci. Eng. A	6. 最初と最後の頁 141898
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.msea.2021.141898	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 N. Masahashi, Y. Mori, H. Kurishima, H. Inoue, T. Mokudai, S. Semboshi, M. Hatakeyama, E. Itoi, S. Hanada	4. 巻 543
2. 論文標題 Photoactivity of an anodized biocompatible TiNbSn alloy prepared in sodium tartrate / hydrogen peroxide aqueous solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Surf. Sci.	6. 最初と最後の頁 148829 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apsusc.2020.148829	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Mori, N. Masahashi, T. Aizawa	4. 巻 15
2. 論文標題 A Review of Anodized TiNbSn Alloys for Improvement in Layer Quality and Application to Orthopedic Implants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 5116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ma15155116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 H. Kurishima, Y. Mori, K. Ishii, H. Inoue, T. Mokudai, S. Fujimori, E. Itoi, S. Hanada, N. Masahashi, T. Aizawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Antibacterial Activity of an Anodized TiNbSn Alloy Prepared in Sodium Tartrate Electrolyte	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers Bioeng. Biotech.	6. 最初と最後の頁 883335_1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbioe.2022.883335	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Ito, Y. Mori, M. Kamimura, M. Koguchi, H. Kurishima, T. Koyama, N. Mori, N. Masahashi, S. Hanada, E. Itoi, T. Aizawa	4. 巻 480
2. 論文標題 Beta-type TiNbSn Alloy Plates With Low Young Modulus Accelerates Osteosynthesis in Rabbit Tibiae	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Clin.Orthop.Relat.Res.	6. 最初と最後の頁 1817-1832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/CORR.0000000000002240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Masahashi, M. Hatakeyama, Y. Mori, H. Kurishima, H. Inoue, T. Mokudai, K. Ohmura, T. Aizawa, S. Hanada	4. 巻 13
2. 論文標題 Photoinduced properties of anodized Ti alloys for biomaterial applications	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sci. Rep	6. 最初と最後の頁 13916 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-41189-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Mori, S. Fujimori, H. Kurishima, H. Inoue, K. Ishii, M. Kubota, K. Kawakami, N. Mori, T. Aizawa, N. Masahashi	4. 巻 16
2. 論文標題 Antimicrobial Properties of TiNbSn Alloys Anodized in a Sulfuric Acid Electrolyte	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 1487_1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma16041487	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Kubota, N. Masahashi, H. Inoue, Y. Michiyama, K. Ohmura, S. Hanada	4. 巻 462
2. 論文標題 Fretting tribocorrosion properties of anodized TiNbSn implant alloy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Fretting tribocorrosion properties of anodized TiNbSn implant alloy	6. 最初と最後の頁 129492_1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.surfcoat.2023.129492	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 畠山美樹, 久保田真彩, 正橋直哉, 道山泰宏, 井上博之, 花田修治
2. 発表標題 陽極酸化を施したインプラント用TiNbSn合金の機械的性質
3. 学会等名 日本金属学会第171回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 正橋直哉, 久保田真彩, 目代貴之, 森優, 栗島宏明, 井上博之, 相澤俊峰, 花田修治
2. 発表標題 陽極酸化TiNbSn合金の光誘起機能
3. 学会等名 日本金属学会第171回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保田真彩, 正橋直哉, 畠山美樹, 道山泰宏, 井上博之, 花田修治
2. 発表標題 インプラント用陽極酸化TiNbSn合金のトライボコロージョン特性
3. 学会等名 日本金属学会第171回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Koguchi, Y. Mori, K. Ito, T. Koyama, M. Kamimura, N. Masahashi, S. Hanada, T. Aizawa
2. 発表標題 Effect of low Young's modulus Ti-Nb-Sn alloy locking plate on bone healing
3. 学会等名 2023 ORS annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 正橋直哉, 久保田真彩, 畠山美樹,, 森優, 井上博之, 花田修治
2. 発表標題 陽極酸化Ti合金の光誘起および力学機能におよぼす基板の影響
3. 学会等名 日本金属学会第172回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 久保田真彩, 正橋直哉, 畠山美樹, 井上博之, 花田修治
2. 発表標題 インプラント用陽極酸化TiNbSn合金の光触媒活性
3. 学会等名 日本金属学会第172回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 正橋直哉
2. 発表標題 生体用金属材料 - ステンレスとチタンの比較 -
3. 学会等名 日本鉄鋼協会・日本金属学会中国四国支部 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 正橋直哉, 久保田真彩, 花田修治, 森優, 井上博之, 目代貴之
2. 発表標題 陽極酸化TiNbSn合金の光誘起特性
3. 学会等名 日本金属学会第173回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森優, 正橋直哉, 相澤俊峰
2. 発表標題 陽極酸化処理によるTiNbSn合金の抗菌性能付与と骨親和性改善効果
3. 学会等名 第42回整形外科バイオマテリアル研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 正橋直哉, 花田修治, 森優, 相澤俊峰
2. 発表標題 低ヤング率TiNbSn合金の表面改質によるバイオ機能の付与
3. 学会等名 第6回日本金属学会第7分野講演会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 正橋直哉, 久保田真彩, 花田修治, 森優, 栗島宏明, 相澤俊峰, 井上博之, 目代貴之
2. 発表標題 陽極酸化TiO ₂ の光触媒活性に及ぼす基板依存性
3. 学会等名 日本金属学会第174回講演大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 生体用チタン合金及びその製造方法	発明者 正橋直哉、花田修治、森優、井樋栄二、目代貴之、井上	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-125634	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

インプラント用Ti合金への骨伝導性の付与 http://www.trc-center.imr.tohoku.ac.jp/52.pdf

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森 優 (Mori Yu) (70634541)	東北大学・大学病院・講師 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------