

令和元年5月28日現在

機関番号：13901
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2016～2018
課題番号：16K18256
研究課題名(和文)チタン/アモルファス炭素微細テクスチャーによる高骨形成能・骨接着性表面の創製

研究課題名(英文)Fabrication of titanium/amorphous carbon micropattern which promotes bone formation

研究代表者
稗田 純子(Hieda, Junko)
名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40566717
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、Ti表面と新生骨との良好な接着強度を得るため、アモルファス炭素膜を微細パターン化し、骨との親和性を有するTiと骨芽細胞との親和性を有するアモルファス炭素の微細テクスチャーを作製することで、高骨形成能・高骨接着強度を有する材料表面の創製を目指した。プラズマ化学気相成長(CVD)法を用いて、アモルファス炭素膜をTi基板に成膜し、Ti/アモルファス炭素微細パターンを作製することができた。さらに、細胞接着性タンパク質であるフィブロネクチン水溶液に浸漬し、その吸着について調査した。真空紫外光照射により、アモルファス炭素膜へのフィブロネクチンの吸着量が増加することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高周波やマイクロ波プラズマCVD法を用いて、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)や高分子状等、異なる構造のアモルファス炭素膜をTi上に作製し、細胞接着性タンパク質の吸着を調査した。様々な組成・構造のアモルファス炭素膜があり、本研究成果はどのような組成・構造のアモルファス炭素膜が骨形成に有用であるかに対する知見の一つとなることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to obtain good adhesion strength between Ti surface and new bone, Ti/amorphous carbon micropattern was fabricated since amorphous carbon has affinity for osteoblast and Ti has affinity for bone. To fabricate Ti/amorphous carbon micropattern, amorphous carbon films was deposited on Ti substrates by plasma enhanced chemical vapor deposition (CVD). Furthermore, it was immersed in an aqueous solution of fibronectin, which is a cell adhesion protein, and its adsorption was investigated. It was found that vacuum ultraviolet light irradiation increased the adsorption amount of fibronectin to the amorphous carbon film.

研究分野：材料工学

キーワード：チタン アモルファス炭素 微細テクスチャー 骨形成能

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

事故、疾病あるいは加齢により骨や歯を損傷・喪失した場合、骨折固定具、人工関節や歯科インプラント等、体内埋入型の医療部材による治療を行う。これらの体内埋入型の医療部材には主に、骨との親和性という他の金属材料にない特性を持つチタン(Ti)およびその合金が用いられる。このような骨と接着する医療部材では、その表面において①体内に埋入してから骨形成までにかかる期間、②部材と生体骨との接着強度が極めて重要である。骨形成までにかかる期間が長いと生活する上で患者の負担が増加し、また医療部材と生体骨との接着強度が十分でないと、医療部材のゆるみや脱落が生じ、再手術が必要になる。Ti およびその合金を体内に埋入すると、体液中に含まれるカルシウムおよびリン酸イオンがその表面に吸着し、骨の無機成分であるハイドロキシアパタイト(HAp)が形成される。その後、HAp への細胞接着性タンパク質および骨芽細胞の接着、石灰化が生じ、やがて、生体骨と接着する。本来、金属材料は細胞との親和性に乏しいが、Ti およびその合金では、表面に HAp が形成されることで、それを介して細胞接着性タンパク質および骨芽細胞が接着するため、良好な骨形成能を示す。しかし、Ti およびその合金を体内に埋入後、生体骨と強固に接着するまでには数ヶ月を有する。より高い骨形成能を有する Ti およびその合金を使用すれば骨形成が促進され、治癒期間の短縮が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、Ti 表面に骨芽細胞との親和性を有するアモルファス炭素膜を導入することで、Ti 表面への骨芽細胞の接着を促進させ、骨形成期間の短縮・早期生体骨との接着の実現を目指す。アモルファス炭素膜は、炭素と水素より構成され、炭素の sp^2 、 sp^3 結合を有するアモルファス膜である。生体内での耐食性にも優れ、医療方面への応用としては、カテーテルやステント等への抗血栓性コーティング材料としての研究が進んでいる。本研究では、Ti 表面と新生骨との良好な接着強度を維持するため、アモルファス炭素膜を微細パターン化し、骨との親和性を有する Ti と骨芽細胞との親和性を有するアモルファス炭素の微細テクスチャーを作製することで、高骨形成能・高骨接着強度を有する材料表面の創製を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、高周波 (RF) あるいはマイクロ波 (MW) プラズマ化学気相成長 (CVD) 法を用いて、アモルファス炭素 (a -C:H) 膜を作製した。

RF プラズマ CVD 法による a -C:H 膜の作製では、Ar、 CH_4 を用い、RF 電源の出力を 100、200 W、全圧 10、30 Pa で、鏡面研磨した Ti 基板上に a -C:H 膜を作製した。Ti/ a -C:H 膜微細パターンは、Ti 基板上に SUS316 のメッシュを固定し、 a -C:H 膜を成膜することで作製した。作製した a -C:H 膜の構造評価をラマン分光法により行った。作製した Ti/ a -C:H 膜微細パターンの形状観察を、レーザー顕微鏡、走査型電子顕微鏡 (SEM)、微細形状測定機により行った。さらに、作製した Ti/ a -C:H 膜微細パターンを細胞接着性タンパク質であるフィブロネクチン (Fn) 水溶液に浸漬し、フィブロネクチンの吸着の有無を原子間力顕微鏡 (AFM) で調べた。

MW プラズマ CVD 法による a -C:H 膜の作製では、Ar、 CH_4 を用い、MW 電源の出力を 150、200W、全圧約 60 Pa で、鏡面研磨した Ti 基板上に a -C:H 膜を作製した。Ti/ a -C:H 膜微細パターンは、RF プラズマ CVD 法による作製と同様の方法で作製した。作製した a -C:H 膜の水滴接触角の測定、ラマン分光法による構造評価、フーリエ変換赤外吸収分光法 (FT-IR) による表面官能基の調査を行った。さらに、作製した a -C:H 膜を Fn 水溶液に浸漬し、Fn の吸着量をビシンコニン酸法により評価した。

4. 研究成果

[1] RF プラズマ CVD 法による Ti/ a -C:H 膜微細パターンの作製と特性評価

作製した膜のラマンスペクトルを図 1 に示す。1300 cm^{-1} 付近に D-Band、1500 cm^{-1} 付近に G-band のピークが見られた。図 2 に作製した Ti/ a -C:H 膜微細パターン表面のレーザー顕微鏡像および小型微細形状測定機で測定した断面プロファイルを示す。メッシュ開口部に沿って膜厚 280 nm 程度、約 100 μm 四方のパターンが確認できた。メッシュ形状に沿ったパターンが形成され、Ti 基板との密着性も良好であった RF 出力 200 W、全圧 10 Pa で作製した Ti/ a -C:H 膜微細パターンに対して、SEM による観察および EDS による元素分析を行った(図 3)。元素マッピングから、メッシュの開口部で C、溝の領域で Ti が確認され、Ti/ a -C:H 微細パターンの形成を確認できた。

図 4 に Fn 水溶液に浸漬した Ti/ a -C:H 膜微細パターンの a -C:H 領域の AFM 像を示す。粒子

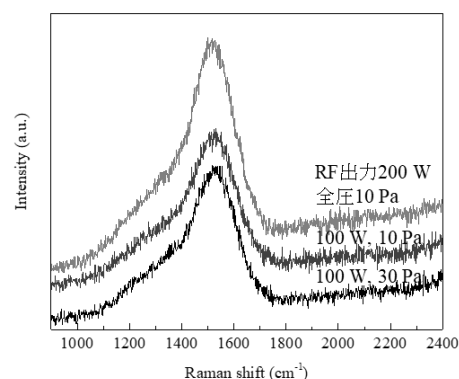


図1 RF プラズマ CVD 法で作製した a -C:H 膜のラマンスペクトル

状の物質が見られ、*a*-C:H 表面に Fn が吸着したと考えられる。

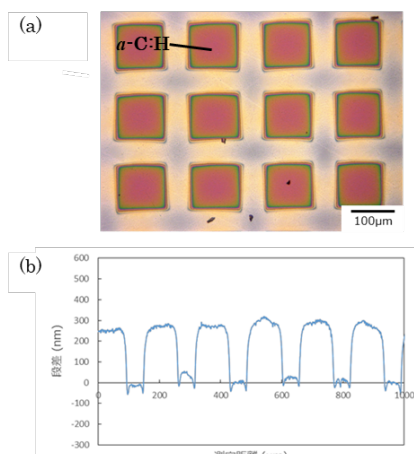


図2 作製した Ti/*a*-C:H 膜微細パターンの (a)レーザー顕微鏡像および(b)断面プロファイル

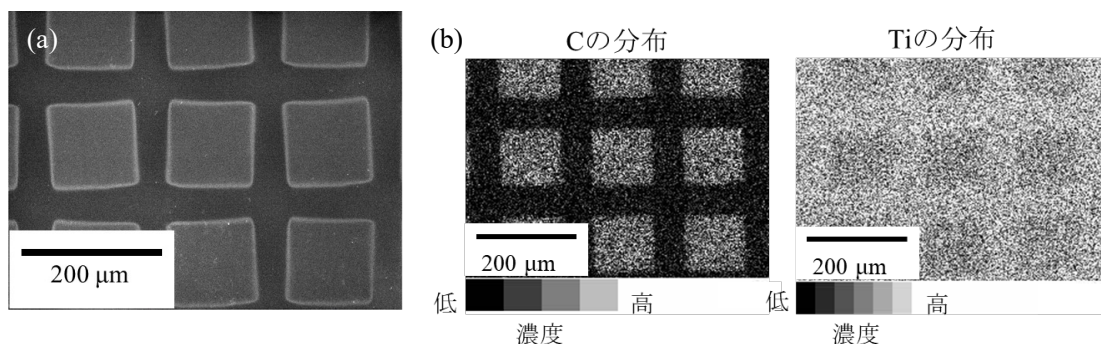


図3 作製した Ti/*a*-C:H 膜微細パターンの (a)SEM 像および (b)EDS の元素マッピング

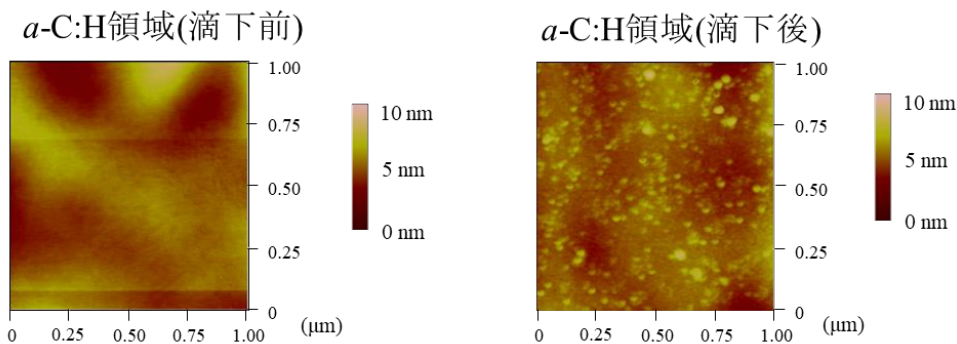


図4 Fn 水溶液滴下前後の Ti/*a*-C:H 膜微細パターンの *a*-C:H 領域の AFM 像

[2] MW プラズマ CVD 法による Ti/*a*-C:H 膜微細パターンの作製と特性評価

本成膜装置を用いて MW プラズマ CVD 法で作製した膜は、ラマンスペクトルにおいて D-Band および G-Band が見られず、高分子状であることがわかった。作製した *a*-C:H 膜の水滴接触角は、MW 出力 150W で作製した場合、約 60°、200W で作製した場合、約 50°であった。作製した *a*-C:H 膜上への Fn の吸着量をビシンコン酸法にて測定した。MW 出力 150、200W で作製した *a*-C:H 膜上への Fn の吸着量は約 8μg で、MW 出力による違いは見られなかった。さらに *a*-C:H 膜へ波長 172 nm の真空紫外光(VUV)

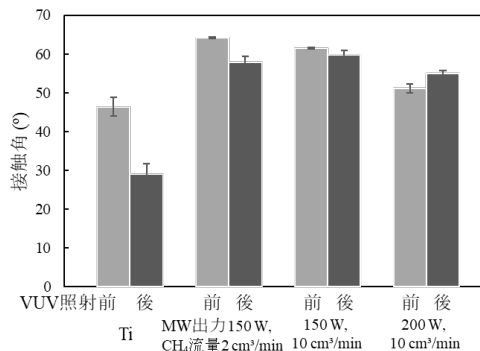


図5 VUV 照射前後での水滴接触角

照射を行った場合、VUV 照射前後で α -C:H 膜の水滴接触角に大きな変化はなかったが (図 5)、Fn の吸着量が増加した (図 6)。一方、Ti に VUV 照射を行った場合、水滴接触角は低下し、Fn の吸着量が減少した。

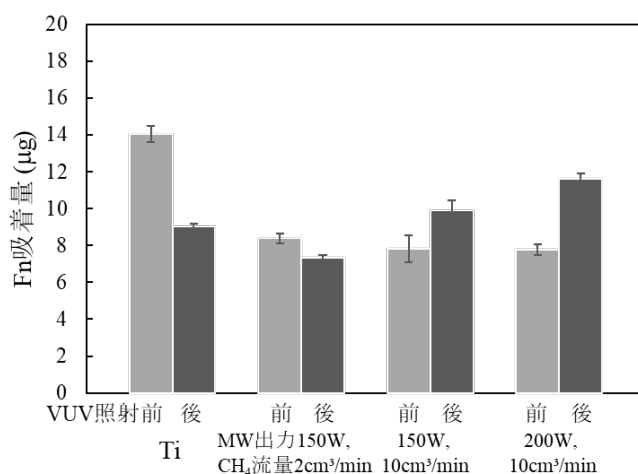


図 6 VUV 照射前後での Ti および α -C:H 膜への Fn の吸着量

5. 主な発表論文等

なし

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし