

【本件リリース先】
12月12日(金) 15:00
(資料配付)

文部科学記者会、科学記者会、
原子力規制庁記者会(仮称)、
高崎記者クラブ



平成25年12月12日
独立行政法人日本原子力研究開発機構
学校法人早稲田大学
国立大学法人大阪大学

高い細胞接着性を持つ生体に優しいプラスチックの開発に成功 － 集束イオンビームを使って医療材料の微細加工に新しい道 － (お知らせ)

【発表のポイント】

- 集束イオンビームで熱に弱いプラスチックを微細加工する技術を開発
- 細胞接着性を局所的に制御した生体に優しいプラスチックの開発に成功
- 医療やバイオ研究に用いる生体親和性材料の創製技術として期待

独立行政法人日本原子力研究開発機構(理事長 松浦祥次郎)量子ビーム応用研究部門環境材料プロセッシング研究グループの大山智子任期付研究員は、学校法人早稲田大学(総長 鎌田薫)理工学術院の大島明博客員准教授、鷲尾方一教授、国立大学法人大阪大学(総長 平野俊夫)産業科学研究所の田川精一招聘教授らと共同で、集束イオンビーム¹⁾を使うことにより、局所的に細胞接着性の高い部分を持つ生体に優しいプラスチックの開発に成功しました。

医療や医療応用に向けたバイオ研究の先端技術である医療マイクロマシン²⁾やlab-on-a-chip(ラボチップ)³⁾の開発では、細胞接着性をはじめとする特定の機能を自由に制御した生体親和性材料の創製がカギとなります。生体親和材料は熱に弱いものが多く、微細な加工を精密に行うことは困難でした。この課題を解決するために集束イオンビームを使った微細加工⁴⁾技術の最適化を行い、熱に弱いプラスチックでも、60 nm幅の溝などの超微細構造を±10 nm以下の精度で加工することに成功しました。さらに、加工と同時にダイヤモンド・ライク・カーボン⁵⁾様の表面状態を作ることによって、局所的に細胞接着性の強弱を制御することが可能になりました。

今後も材料表面の微細加工技術(形状パターニング)と局所的な機能化(機能パターニング)という2つの技術の融合による材料創製技術の高度化を進め、医療材料の実用化を進めていきます。

本研究成果は、米国の応用物理学専門誌『Applied Physics Letters』オンライン版に10月15日に掲載されました。

【本件に関する問い合わせ先】

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

(研究内容) 量子ビーム応用研究部門 環境材料プロセッシング研究グループ 大山智子 TEL:027-346-9385

(報道担当) 広報部 報道課長 中野裕範 TEL:03-3592-2346

集束イオンビーム(FIB)装置は、原子のはじき出し(物理スパッタ)作用によって Si 基板や金属といった硬い材料を加工することができます。物理スパッタに加え、照射によって起こる放射線分解反応を利用することによって、プラスチックの削り出し加工(ダイレクトエッチング)にも応用できることが分かっています。照射によって発生する熱で容易に変形してしまうような熱に弱い(柔らかい)プラスチックの精密加工はこれまで困難でしたが、今回、FIB の照射条件を調整することによって、熱に弱いプラスチックでも 60 nm 幅の溝などの超微細構造を±10 nm の精度で微細加工することが可能になりました。さらに、ダイヤモンド・ライク・カーボン(DLC)様の表面を加工と同時に形成することにより、局所的に高い細胞接着性を持たせることに成功しました。

本研究では、生体適合性と生分解性を併せ持つポリ乳酸⁶⁾を試料として選択しました。ポリ乳酸は、治癒後に体内で分解・吸収される縫合糸やインプラントなどに使われている代表的な医用プラスチックです。

ポリ乳酸フィルムに直径 50 nm 以下に絞った加速電圧 30 kV のガリウム FIB を照射し、照射条件が加工精度に及ぼす影響を調べました。その結果、照射線量や線量率の増加に伴い加工できる深さは増すものの、徐々に表面が荒れたりエッジが丸くなったりと、加工精度が劣化しました。ポリ乳酸はガラス転移⁷⁾温度(約 60°C)以上で容易に熱変形を起こすため、より加熱される加工条件(高線量・高線量率・大面積照射)や熱が拡散しにくい試料条件(厚い試料)では精密な加工が困難であることが分かりました。

こうした加工条件の検討をもとに、線量率や試料の作製方法など最適化することによって熱の効果を抑制し、直径 80 nm の穴(図1A)や幅 60 nm の溝(図1B)を作ることに成功しました。この方法を使うと任意形状を精密に加工でき、図1Cのような突起構造を作ったり、図1Dのような文字列を書いたりすることもできます。

さらに、照射により掘削した溝の底面の化学結合変化を、X 線光電子分光法(XPS)⁸⁾を用いて分析した結果、図2に示すように、照射によって炭素の二重結合(C=C)が増加したことが分かりました。このことは、物理スパッタと放射線分解反応による分解物の脱離によって酸素と水素が減少し、試料表面が DLC 様の表面状態に変化したことを示しています。DLC 様の表面は C=C の割合によって細胞接着性の強弱が変わることが報告されており、FIB を用いた微細加工技術によって、局所的に高い細胞接着性を付与した生体に優しいプラスチックが開発できました。

今回、FIB を用いた高精度の微細加工と機能化によって、細胞接着性を局所的に制御した生体に優しいプラスチックの開発に成功しました。本成果は、量子ビームを用いた微細加工技術と材料改質技術の融合によって実現した新奇材料創製の一例であり、医療や医療応用に向けたバイオ研究における先端技術である医療マイクロマシンや lab-on-a-chip (ラボチップ)に用いる生体親和性材料の創製技術として今後の応用が期待されることから、引き続き、イオンビームや電子線、γ線といった様々な量子ビームを複合的に利用し、医療やバイオ研究に幅広く応用できる材料の開発を進めていきます。

なお、この研究の一部は、日本学術振興会特別研究員奨励費(24-9069)、文部科学省の物質・デバイス領域共同研究拠点共同研究(2012257)と ナノテクノロジープラットフォーム・大阪大学ナノテクノロジー設備供用拠点(F-12-OS-0026、F-13-OS-0023)の支援を受け実施しました。

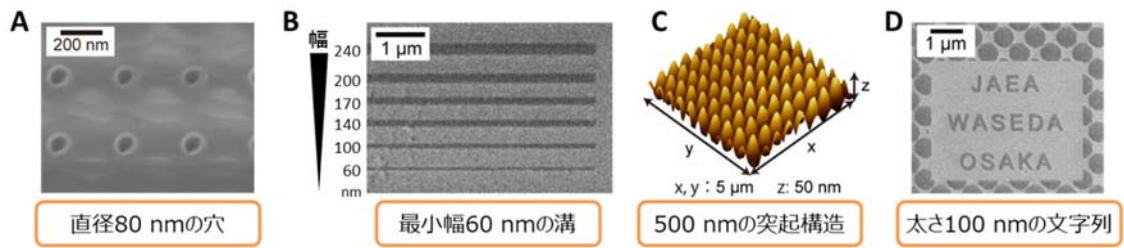


図1. FIB を用いたポリ乳酸の微細加工例

(A) 厚さ 200 nm のポリ乳酸に開けた直径 80 nm の貫通穴

(B) 厚さ 80 nm のポリ乳酸上に作った最小幅 60 nm、深さ約 50 nm の溝

(C) 厚さ 80 nm のポリ乳酸上に作った直径約 500 nm、深さ約 50 nm の突起構造

(D) 厚さ 80 nm のポリ乳酸上に書いた太さ 100 nm、深さ約 50 nm の文字列

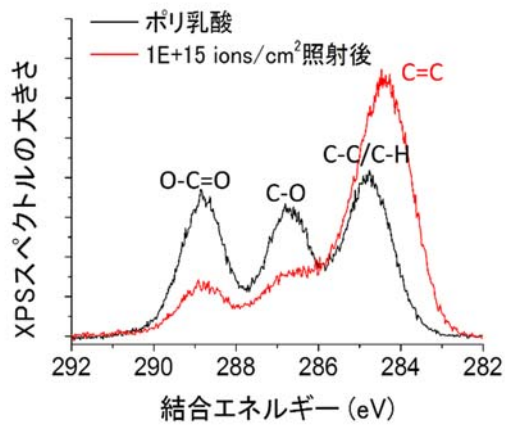


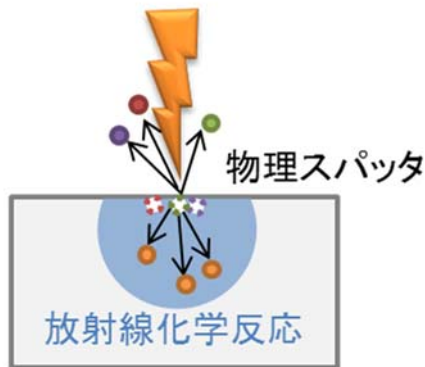
図2. 微細加工したポリ乳酸の掘削底面の化学結合変化

加工前のポリ乳酸に固有の3つのピーク(黒線)と比べて、加工後(赤線)には酸素との結合が減少し、284 eV に観測される炭素の二重結合のピークが増大していることが分かる。

【用語解説】

1) 集束イオンビーム(FIB)

FIB は細く絞ったガリウムなどのイオンと試料の原子核衝突による原子のはじき出し(物理スパッタ)によって試料を削る装置です。透過型電子顕微鏡(TEM)の試料切片切り出しなどに用いられています。



2) マイクロマシン

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)と同義。微細加工技術⁴⁾によって電子回路やセンサなどを基板上に集積した小型機械を指します。

3) lab-on-a-chip (ラボチップ)

微細加工技術⁴⁾によって微小空間での化学反応や生体運動などを制御する機能を持ったデバイスの総称です。

4) 微細加工

ナノテクノロジーの代表的な基盤技術のひとつであり、我々の目では見ることのできないマイクロメートル(10^{-6} m)、ナノメートル(10^{-9} m)といった極小さなスケールで材料を加工する技術です。

5) ダイヤモンド・ライク・カーボン(DLC)

炭素と水素で構成され、ダイヤモンドと黒鉛との間の物性を有する非晶質の硬い材料を指します。

6) ポリ乳酸

植物から取り出したデンプンを発酵して得られる乳酸を重合した透明性や剛性の高い高分子材料です。生体適合性を持ち、生体内で加水分解されることから、治癒後に体内で分解・吸収される縫合糸やインプラントなどに使われています。

7) ガラス転移温度

硬く流動性がない状態(ガラス)から、粘度が下がり軟化し始める境目の温度を指します。

8) X線光電子分光法(XPS)

X線照射によって試料から放出される光電子のエネルギー分布を測定し、試料表面の元素の種類や存在比、化学結合状態を評価する手法です。

【論文名・著者名】

Micro/Nanofabrication of Poly(L-lactic acid) Using Focused Ion Beam Direct Etching.

Tomoko Gowa Oyama, Toru Hinata, Naotsugu Nagasawa, Akihiro Oshima, Masakazu Washio, Seiichi Tagawa, and Mitsumasa Taguchi

Applied Physics Letters 103, 163105 (2013).