

## 審査の結果の要旨

氏名 星野 隆行

本論文は立体ナノ構造を造形する手法の一つである集束イオンビーム励起表面反応を用いた造形法を発展させ、従来困難であった真横方向へオーバーハング状の構造を堆積により造形させる方法を開発し、これを神経インターフェースである神経再生型電極の構造作製へ応用したものである。従来不可能であった真横方向への堆積・成長を可能とする条件について考察し、これを実際にシステムを構築することにより、オーバーハング形状を初め任意の形状の造形を実現するシステムの開発を行い、さらに同システムを用いて神経電極における神経再生経路に用いるマイクロ・ナノ構造を作製し、その特性について報告を行っている。

第 1 章は「序論」であり、生体の構造が微細な構造から構築されている事、および、これらの構造の持つ特性や機能を明らかにしていく方法として、生体と同様の微細な立体の構造物を用い、より生体に近い状態において解析を行う事が有用である事を述べ、そのためには微細な任意の形状の立体構造を作製できる方法が必要であるという本研究の第一の目的と意義を明らかにしている。次いで、現在行われているマイクロ・ナノスケールの立体構造物の造形・加工法とその特徴について述べ、その中で集束イオンビーム励起表面反応法を取り上げ、現状における同法の問題点とその解決の可能性について説明し、その問題点の解決により、本造形法が神経インターフェースである神経再生型電極の問題点のひとつを解決しうることを明らかにし、本研究での第二の目的である神経インターフェースへの応用に対する本研究で開発した造形法の位置付けを述べている。

第 2 章は「集束イオンビーム励起表面反応」であり、これまで研究されてきた集束イオンビーム励起表面反応による堆積のモデルを拡張し、イオン飛程がオーバーハング構造を透過することが側方成長を可能にする機構である事を提案している。次いで、このモデルにおいてオーバーハング構造が可能であることをシミュレーションによって明らかにし、その生成過程において生じる堆積物の挙動を示している。また、このときの加工条件と造形される構造の形状との関係を示し、第 3 章で述べる造形システムの設計指針としている。

第 3 章は「立体ナノ構造造形法」であり、第 2 章で示された結果を踏まえ、実際に集束イオンビーム励起表面反応による化学気相堆積法を用いた立体ナノ構造造形法とこれを実装したビームスキャニングシステムの開発を行なっている。3D-CAD の形状データから描画データを生成するための変換アルゴリズムを構築しビームスキャニングシステムへの実

装を行いこの装置の評価を行なった。任意の形状を造形するための描画データには描画位置データのほかに、ビーム条件によるデポジション速度、デポジション範囲、描画ピッチ、ビーム照射待ち時間および過去の描画位置との 3 次元的な位置関係から決定される描画順番が必要であることを実験により明らかにしている。この装置を用い、オーバーハングや中空構造、100 nm ピッチの微細構造を有する立体ナノ構造物を造形し、3D-CAD モデルのデータが造形できることを示している。現システムは未だプロトタイプであり、一部歪みなどの問題は残存しているが、造形される形状は高さ方向に 100 nm 程度の精度があることを光学的に確認している。

第 4 章は「末梢神経とのインターフェースに対する FIB-CVD 法の応用」である。生体の制御情報が詳細に計測、提示可能な神経インターフェースを目指して、末梢神経の多数の神経線維との接続を考慮した超多チャンネル神経再生の開発を行うため、末梢神経の「一旦切断されても軸索は再生する」という性質を利用した神経再生型電極を紹介している。この種の電極はこれまで 2 次元的な構造で作製されていたために、多数の配線の実施が困難である事やランビエノードを捉えにくいなどの問題があったが、第 3 章で述べた造形法がこれらの解決法となりうることを論じている。軸索の再生経路を立体構造として、一旦この再生経路の密度を減少させ、空いた空間に立体的に配線を行う事により、超多チャンネル電極の構築が原理的に可能であることを示した。次いで第 3 章で開発した造形法により、軸索再生経路を Diamond like carbon (DLC) を材料としたマイクロチューブを作成し、この DLC マイクロチューブの生体親和性等を検証するために、神経様培養細胞である PC12 を用いて軸索がその中を伸展するかどうかの評価を行なっている。結果として軸索は DLC マイクロチューブ上に伸展可能であることを確認しており、基本的な構造の造形が可能である事、また、材料として基本的な生体適合性があることを確認し、神経インターフェースへの利用可能性を示した。

第 5 章は「結論」であり、本論文の結果をまとめ、今後の課題について言及している。

第 6 章は「今後の展望」であり、以上の結果に述べられた造形形状の歪み、造形時間の長さや、神経電極としての課題など、本論文で残された問題を論じ、その解決法を述べている。

以上、これまで困難といわれていた真横方向への堆積を含む任意の形状の造形を集束イオンビーム励起表面反応を用いて行い、その特徴を生かして神経再生型電極へ応用の可能性を示した本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。