

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Systematization of hybrid carbon films with high antimicrobial properties and mechanical properties
著者(和文)	LIYUCHENG
Author(English)	Yucheng Li
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12846号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:大竹 尚登,佐藤 千明,平田 敦,赤坂 大樹,平田 祐樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12846号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	LI YUCHENG		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	大竹 尚登	教授	審査員	平田 祐樹	准教授
	審査員	佐藤 千明	教授			
		平田 敦	教授			
		赤坂 大樹	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Systematization of hybrid carbon films with high antimicrobial properties and mechanical properties (ハイブリッド炭素膜の抗菌性と機械的特性の体系化)」と題し、以下の 7 章より成る。

第 1 章「General Introduction (緒論)」では本研究の背景、Diamond-like carbon (DLC)膜の機械的特性向上および医療分野への応用に関する従来研究、表面コーティングによる抗菌特性改善の技術動向を概観し、機械的特性と抗菌性を両立させた炭素系コーティングを確立するという研究目的と本論文の構成について述べている。

第 2 章「Synthesis of Multilayered DLC Films with Wear Resistance and Antiseizure Properties (耐摩耗性と耐焼付性を有する DLC 多層膜の合成)」では、反復焼付防止機能と耐摩耗性を有する DLC と銅(Cu)の積層コーティングを提案している。焼付時に DLC と Cu の単層の組み合わせを剥離させることにより焼付を解除し、その後も新たな DLC 膜を出現させることにより耐摩耗性を維持する機能性コーティングの開発を試み、DLC/Cu/DLC/Cu/DLC の 5 層の積層構造で、上層からの 2 回の剥離が可能であることを示している。そして、DLC と Cu を積層成膜した後に熱処理を施すことで剥離性が増大する一方、耐摩耗性は低下することを示し、この耐摩耗性の低下は、Cu 薄膜堆積時に DLC 膜との界面で相互拡散が発生し、Cu と格子定数が近いグラファイトが形成されるためであることを明らかにしている。

第 3 章「Evaluation of mechanical and antibacterial properties of Cu-DLC composite films (Cu-DLC 混合膜の機械的特性及び抗菌性の評価)」では、メタンを原料としたプラズマ CVD 法と Cu ターゲットを使用したマグネトロンスパッタリング法を同時に行うことにより、シリコン基板上に Cu を約 25 at.% 含む DLC 膜を作製し、機械的特性と大腸菌に対する抗菌性を調べている。そこから、Cu は数十～数百 nm の粒子として DLC 膜内に存在するため膜粗さが顕著に増加すること、ナノインデンテーション硬さは Cu の 2 倍程度であることおよび耐摩耗性は DLC 膜と比較して低いことを示している。さらに、Cu-DLC 複合膜では抗菌試験後の大腸菌の個数が 0 個であり、同試験後に  $10^5$  個程度の DLC 膜と比較して抗菌特性が顕著に向上することを明らかにしている。

第 4 章「Deposition and evaluation of antimicrobial properties of Cu/DLC multilayered films on segmented DLC (セグメント構造 DLC 上への Cu/DLC 多層膜の作製と抗菌性評価)」では、セグ

メント構造の DLC 膜上に Cu/DLC 多層積層膜を作製し、その機械的特性と抗菌性を調べている。Cu/DLC 多層膜は、Cu 含有率が 0 at.%の層と Cu 含有率が 30-40 at.%の層が積層されており、DLC 膜のナノインデンテーション硬さの 12.5 GPa より 3 GPa 程度低いナノインデンテーション硬さを示す一方、高い耐摩耗性を有することを示している。また、微小な摩耗進行に伴い Cu/DLC 多層積層膜は大腸菌に対して十分な抗菌活性を示す一方、黄色ブドウ球菌に対しては顕著な抗菌活性を示さないことを明らかにしている。

第 5 章「Evaluation of mechanical and microbial properties of multilayered Cu-DLC films with segmented structure (セグメント構造化された Cu と DLC からなる積層膜の機械的特性と抗菌性の評価)」では、DLC 膜とセグメント構造化された Cu 層が Si 基板上に交互に堆積された多層積層膜を作製し、その機械的特性と抗菌性を調べている。この DLC/segment Cu 膜は、ナノインデンテーション硬さで 8.7 ~ 9.6 GPa と DLC 膜の 12.5 GPa より低いものの、ボールオンディスク試験による摩擦係数は SUJ2 に対して 0.2 程度で安定し、優れた耐摩耗性を示すこと、さらに大腸菌の増殖を著しく抑制することから、高い耐摩耗性と抗菌性を併せ持つ膜であることを明らかにしている。

第 6 章「TiO<sub>2</sub>-DLC films prepared by vacuum arc deposition and magnetron sputtering methods (真空アーク蒸着とマグネトロンスパッタリング法による TiO<sub>2</sub>-DLC 膜の作製)」では、真空アーク蒸着とマグネトロンスパッタリング法を用いて合成された TiO<sub>2</sub>-DLC 複合膜の特性について述べている。表面の TiO<sub>2</sub> 粒子の量は成膜時間の増加に伴って増加し、比較的短時間の 2 時間の成膜を行った TiO<sub>2</sub>-DLC 膜のナノインデンテーション硬さは 21 GPa と高く、摩擦係数は 0.3 程度で高い耐摩耗性を示すことを明らかにしている。一方で、光触媒効果のない暗条件下では抗菌活性を示さず、今後の課題として UV 照射下での抗菌試験による TiO<sub>2</sub> の効果の検証が必要であることを述べている。

第 7 章「Conclusions and discussions (結論と考察)」では、本論文で得られた結果を体系化し、今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は DLC 膜に Cu もしくは TiO<sub>2</sub> を導入することにより、機械的特性と抗菌性を改善し、さらに両者を併せ持つ膜の設計指針と作製方法を提示したものであって、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) 論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。