

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ナノ材料転写技術を基盤とした薄膜エレクトロニクスの開発と医療デバイスへの応用
Title(English)	Development of Thin-Film Electronics Based on Nanoscale Materials Transfer Methods and Their Applications for Medical Devices
著者(和文)	齋藤優人
Author(English)	Masato Saito
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第329号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤枝 俊宣,徳田 崇,西山 伸宏,岡田 智,小倉 俊一郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第329号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	生命理工学 生命理工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	齋藤 優人		審査員主査： Chief Examiner	藤枝 俊宣

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「ナノ材料転写技術を基盤とした薄膜エレクトロニクスの開発と医療デバイスへの応用」と題し、日本語で書かれ、全 6 章より構成されている。

第 1 章「序論」では、本研究の研究背景として、既存のフレキシブルエレクトロニクスや高分子薄膜の作製技術、ウェアラブル・インプラントデバイスの研究開発動向について述べるとともに、がんを熱と光などのエネルギーを送達することによって治療する方法および必要なエネルギー送達装置について概説している。

第 2 章「研究目的および論文構成」では、本研究の目的としてエネルギーの局所送達可能なデバイスの実現を提起するとともに、論文全体の構成および各章の概要について述べている。

第 3 章「PDLLA 薄膜への印刷配線転写技術の構築とデバイスへの応用」では、金ナノインクからなるインクジェット印刷配線を、医用高分子の一つであるポリ-D,L-乳酸 (PDLLA) 薄膜上へと転写させる手法の構築に取り組んだ。具体的には、高い耐熱性を有するポリイミドフィルムを印刷基材に使用して金ナノインクを印刷、250°C で焼成した後に、PDLLA 溶液を印刷配線表面に塗膜し薄膜を作製した。この時、ポリイミドフィルムと金配線の相互作用よりも PDLLA 薄膜と金配線の相互作用が高い状況にすることで、金配線をポリイミドフィルムから PDLLA 薄膜へと転写する手法を考案した。本手法により、耐熱性に乏しい PDLLA 薄膜上に高温焼成によって優れた導電性能を有する印刷配線を搭載することに成功した。さらに、がん温熱療法への応用を見据えて、非接触給電にて加温可能な発熱デバイスの開発にも取り組んだ。具体的には、誘導加熱の原理で発熱する薄膜状発熱デバイスを考案し、同心正方形コイルのサイズを調節することで交流印加による発熱挙動の制御を可能にし、血流が豊富なビーグル犬の肝臓肝葉表面においても発熱デバイスを作動させることに成功した。

第 4 章「レーザー誘起グラフェン (LIG) を用いた光熱変換薄膜の開発」では、第 3 章で考案した印刷配線転写技術の他のナノ材料への応用について取り組んだ。具体的には、ポリイミドフィルム表面に、CO₂ レーザー加工機を用いて生成した LIG と金ナノインクからなるインクジェット印刷配線をそれぞれ作製し、これらの導電体を PDLLA 薄膜上に転写することで薄膜状発熱デバイスを作製した。この時、PDLLA 薄膜に LIG を転写する前後での発熱性能について、LIG への直流印加による抵抗加熱を通じて生じる発熱挙動と、LIG への近赤外光照射による光熱変換を通じて生じる発熱挙動をそれぞれ比較したところ、PDLLA が LIG の多孔質構造の内部へと浸透し、LIG 表面からの放熱を抑制することで高効率な発熱が達成されることを見出した。また、がん細胞に対する温熱作用の評価では、レーザー加工機の解像度をもとに任意の形状にデザインされた LIG の形状に沿って、局所的な細胞死を誘導することに成功した。

第 5 章「印刷配線転写技術を応用した光線力学療法向け薄膜状発光デバイスの開発」では、薄膜エレクトロニクスのメトロノミック光線力学療法への応用を見据えて、LED によって微弱光を長時間照射し続けることが可能な薄膜状発光デバイスの開発に取り組んだ。具体的には、印刷配線転写技術を用いて、PDLLA 薄膜上に平面コイル配線を転写し、作製した薄膜コイルの性能に応じた LED を搭載した整流回路を設計することで、薄膜状発光デバイスを実現した。デバイスの発光性能をもとに、がん細胞および担がんモデルマウスを用いた *in vitro* ならびに *in vivo* 試験を通じて、光照射部位に局所的な細胞死を発現させること、また、従来のレーザー光を用いた光線力学療法と比べて効率的な抗腫瘍効果を誘導することにそれぞれ成功した。

第 6 章「本研究の総括と将来展望」では、種々の薄膜エレクトロニクスを用いてエネルギーの局所送達を実現した本研究の全体を総括し、本研究の意義および今後の展望を述べている。

以上を総括するに、本論文は、薄膜エレクトロニクス開発のための要素技術となる、高分子薄膜へのナノ材料転写技術を確立し、当該技術を用いて発熱および発光の機能を有する医療応用に向けたデバイスを創製することで、医療分野における局所的なエネルギー送達の有用性を実証したものである。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	生命理工学 生命理工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	齋藤 優人		審査員主査： Chief Examiner	藤枝 俊宣	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis, entitled “Development of Thin-Film Electronics Based on Nanoscale Materials Transfer Methods and Their Applications for Medical Devices,” is written in Japanese and composed of six chapters.

Chapter 1 describes the background of this research, including existing flexible electronics and fabrication technologies of polymeric thin films and research trends in wearable and implantable devices. It also outlines methods for treating cancer by delivering energy, such as heat and light, and claims the necessity of energy delivery devices.

In Chapter 2, the overall structure of the thesis and an overview of each chapter are described.

In Chapter 3, I constructed a method for transferring inkjet-printed wiring made of gold nano-ink onto a poly-D, L-lactic acid (PDLLA) thin film, which is one of the medical-use polymers. Specifically, it was found that transferring Au wiring from polyimide film to PDLLA thin film was developed by strengthening the interaction between PDLLA thin film and Au wiring rather than the interaction between polyimide film and Au wiring. Using this method, printed wirings were mounted with excellent electrical conductivity on the PDLLA thin film, which has poor heat resistance, by high-temperature firing. Furthermore, I developed a thin-film heating device that generates heat using the induction heating principle and succeeded in operating the heating device even on the surface of the liver lobes of beagle dogs, which have abundant blood flow.

In Chapter 4, I applied the printing and wiring transfer technology described in Chapter 3 to other nanomaterials. Specifically, laser-induced graphene (LIG) and inkjet printing wiring made from Au nano-ink were created using a CO₂ laser processing machine on the surface of a polyimide film. Then, these conductors were transferred onto a PDLLA thin film to create a thin film-type heat-generating device. The heat generation performance before and after transferring LIG to the PDLLA thin film was compared, and it was found that high-efficiency heat generation was achieved by PDLLA penetrating the porous structure of LIG and suppressing heat dissipation from the LIG surface.

In Chapter 5, I developed thin-film light-emitting devices that continuously emit weak light for long periods to apply thin-film electronics to metronomic photodynamic therapy. Based on the light-emitting performance, I succeeded in inducing localized cell death at the light irradiation site through *in vitro* and *in vivo* tests using cancer cells and tumor-bearing model mice.

Chapter 6 discusses the overall significance of this research, which has achieved localized energy delivery using various thin-film electronics and prospects.

To summarize the above, this thesis establishes nano-material transfer technology for polymer thin films, an elemental technology for developing thin-film electronics. This technology also demonstrates the usefulness of localized energy delivery in the medical field by creating devices for medical applications with heat-generating and light-emitting functions.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).