

機能性ナノシートを用いた生体情報モニタリングシステムの開発

研究代表者 武岡 真司
(先進理工学部 生命医科学科 教授)

1. 研究課題

本プロジェクト研究では、生体情報や環境情報を持続的にモニタリングする薄膜型センサの開発を関連企業と共に行うことを目的としている。測定対象としては、筋電、心電、脳波、脈拍、血圧、温度、pH、酸素、そのほか乳酸値などのバイオマーカーなどであり、要素技術として、皮膚貼付型電極、歪センサ、アンテナコイル、機能性蛍光プローブなどを期間内に確立して新しいバイオエレクトロニクスを開拓する。今年度は、バイオエレクトロニクスを確立するために、伸縮性のあるワイヤ、導電性インク、そして柔軟な基板上へのプリンタブルエレクトロニクスの構築について検討した。

2. 主な研究成果

2.1. フレキシブルエラストマーワイヤの設計と筋電情報の計測

“電子ナノ絆創膏”によって手のひらや足裏など未踏領域の筋電図情報を取る昨年度から研究において、“電子ナノ絆創膏”に接続するフレキシブルなエラストマーワイヤの開発が課題となっていた。今年度は”切り紙”構造フレキシブルワイヤの形状と性能について検討した。具体的には、3種類の構造の異なるパンタグラフ構造のワイヤを設計し、更に切り紙構造のシリコンゴムシートで封止した場合としていない場合とで、機械特性と電気特性を測定し構造の最適化を行った。その結果、切り紙構造のゴムシートによる封止が必要であり、最適な切り紙構造により100%伸長しても接続部にかかるストレスは微増に留まり、100回150%までの伸縮を繰り返しても電気抵抗は1.9倍の増加に留まった。また、手のひらの母指内転筋に貼付したPEDOT/PSSからなる“電子ナノ絆創膏”と上腕部に固定したBluetoothモジュール間を“切り紙”構造フレキシブルワイヤによって接続し、投球動作を行った時に上腕の最大加速度が 20 m/s^2 でもインピーダンスが変化しないことを確認した。他方、“切り紙”構造を持たないワイヤで接続した場合にはインピーダンスが大きく増加し、電子ナノ絆創膏とワイヤとの接続部の破壊が起こっていた。本内容は、特許として出願した(特願 2019-060622 伸縮性弾性体シート)。昨年度に引き続き、アスリートと素人の異なる球種の投球時の母指内転筋の筋電情報について詳細な解析を行い、原著論文を投稿した。

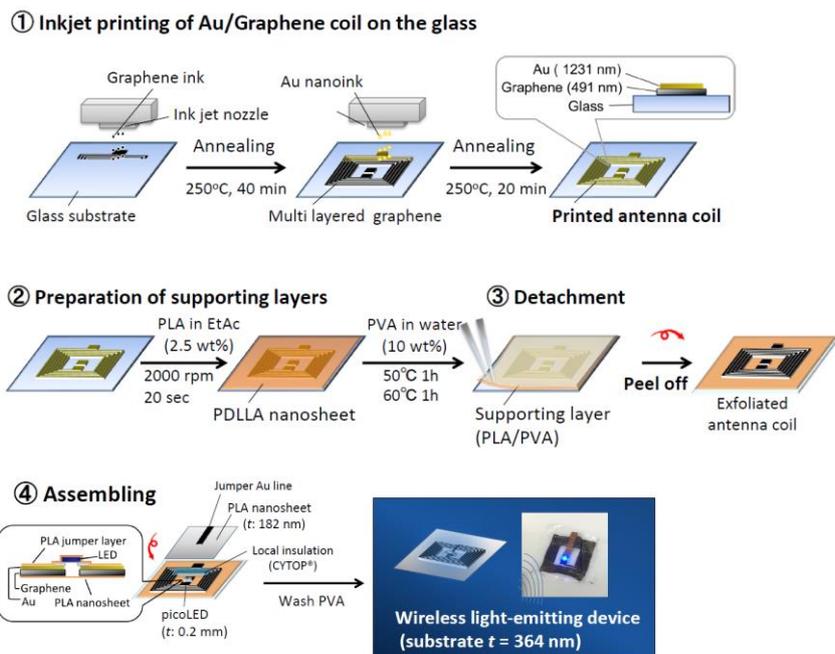
2.2. SBSと銀フレークからなる伸縮性導電インクの開発

従来の導電性インクは印刷の後加熱による焼結処理が必要となるが、フレキシブルな高分子材料を基板とした場合その低い耐熱性のために熱処理が必要ない導電インクの開発が望まれていた。本研究では、ポリスチレン-ポリブタジエン-ポリスチレンブロック共重合体(SBS)と銀フレークを複合させてなる伸縮性導電インクをTHFを溶剤として調製し、導線をステンシル印刷した後室温乾燥させても高い導電性と伸縮性が保持できることを見出した。これは銀フレークのSBSマトリック

ス中で伸縮方向に配向していることによる。従来の溶剤をトルエンとして熱処理した場合と遜色なく、大きなプロGRESSとして高い評価が得られ国際学会での受賞、ならびに論文投稿となっている。

2.3. インクジェット印刷からなる高分子超薄膜を基材としたアンテナコイルの開発

耐熱性の低い高分子超薄膜（ナノシート）に電子回路をインクジェット印刷した後高温で熱処理をすることは不可能である。2.2 では伸縮性の導電性インクの開発であったが、ここではグラフェン転写という全く新しいアプローチを開発した。まず、ガラス基板にグラフェンインクにて電子回路を印刷した後、金ナノ粒子のインクで同電子回路を重ねて印刷をし、250°Cで20分間熱処理を行い十分な導電率を確保した後に、ポリ乳酸(PDLLA)のナノシートをその上にスピコートし、その上にキャスト法にてPVAの支持膜を重ねた。この状態でPDLLA/PVA二重膜をガラス基板から剥離させるとグラフェン/Auインク部はグラフェン部分で剥離し、電子回路がPDLLA/PVA二重膜に転写されることを見出した。更に水溶性のPVA支持膜を水に溶解させると電子回路を搭載させた柔軟なナノシートが得られた。LED素子を搭載し同様に調製したジャンパー部印刷ナノシートを重ねると、ワイヤレスでLEDを点灯できるフレキシブルな電子回路の構築に成功し、現在論文執筆中である。



3. 共同研究者（MS ゴシック、太字、11ポイント）

彼末 一之（早稲田大学スポーツ科学学術院・教授）

永見 智行（北里大学・講師）

藤枝 俊宣（早稲田大学高等研究所・准教授、現東京工業大学・講師）

山岸 健人（シンガポール工科デザイン大学・博士研究員、ナノライフ機構 招聘研究員）

岩田 浩康（早稲田大学理工学術院・教授）

岩瀬 英治（早稲田大学理工学術院・教授）

新井 敏（理工総研 招聘研究員）

朝日 FR 研究所

4. 研究業績

4.1 学術論文

- [1] Someya, D., Arai, S., Fujie, T., Takeoka, S. “Extracellular pH imaging of a plant leaf with a polyelectrolyte multilayered nanosheet”, RSC Advances, 8(62), 35651–35657 (2018). doi:10.1039/C8RA06308G

4.2 総説・著書

- [1] Yamagishi, K., Takeoka, S., Fujie T. “Printed nanofilms mechanically conforming to living bodies”, Biomaterials Science, 7, 520–531 (2019). doi:10.1039/C8BM01290C
- [2] 武岡真司 14 章バイオテクノロジーによる医薬品・再生医療等製品・医療機器の開発、生命科学概論、早稲田大学先進理工学部生命医科学科編、朝倉書店 2019 年 3 月 5 日

4.3 招待講演

- [1] 武岡真司、「健康・医療に向けた高分子薄膜（ナノシート）型デバイスの開発」第 67 回高分子年次大会特別セッション、名古屋国際会議場、2018 年 5 月 25 日
- [2] 武岡真司、「“ナノ絆創膏” “電子ナノ絆創膏” のヘルスケア領域への応用」第 99 回日本化学会春季年会、甲南大学、2019 年 3 月 17 日
- [3] Shinji Takeoka, “Interaction of liposomes comprised of different aminolipids with cells such as platelets and immune cell”, 5th Core-to-Core International Symposium “3D Lab-Exchange Program”, OIST, Japan, 2019/2/26, Keynote Speech.

4.4 受賞・表彰

- [1] Takenori Nakanishi, The Best Poster Award, The 5th International Conference & Exhibition for Nanotechnology (NANOPIA 2018)), Development of sinter-free stretchable conductive inks
- [2] 藤枝俊宜、平成 30 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰、プリンテッドナノ薄膜の創製と生体計測制御に関する研究

4.5 学会および社会的活動

MRS Communications, Editorial Board Member, 2018 年～

5. 研究活動の課題と展望

今後は、2017・2018 年度に得られた研究成果を基にフレキシブルデバイスを更に発展させると共に、スポーツ科学分野への応用として、電子ナノ絆創膏および伸縮配線を繊細な皮膚感覚を有するアスリートの手のひら・足裏に貼付することで姿勢維持・走行・投球等の運動時に生じる筋電図情報を取得し、野球・スキーなどのパフォーマンス評価に応用する。そのためには、取得した生体情報をリアルタイムに PC やスマホに送達するための無線通信技術や、長期間計測・記録を可能にするデータロガーの開発が必須である。また、ノイズキャンセル、安定性と装着性に対する改良も必要となろう。更に、アスリートから一般人、特に高齢者に対しても適用できる汎用型デバイスに向け、企業への技術移転も進めて行く。