

AgPMS

Silver NWs / PVB / melamine sponge electrodes for EEG

KN Neuroinformatyki & "Nanorurki"

Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

13 maja 2025

Streszczenie

Celem projektu jest odtworzenie i ocena skuteczności nowatorskich elektrod EEG z elastycznej gąbki melaminowej pokrytej nanodrutami, które mają zastąpić tradycyjne elektrody żelowe w nieinwazyjnych interfejsach mózg-komputer (BCI). Elektrody te mają zapewniać lepszy kontakt ze skórą bez użycia żelu przewodzącego, przy zachowaniu wysokiej przewodności, stabilności mechanicznej i jakości sygnału EEG. Projekt zakłada weryfikację parametrów opisanych w literaturze oraz ocenę ich przydatności w systemach BCI.

1 Wprowadzenie

Interfejsy mózg-komputer (BCI) to dynamicznie rozwijająca się dziedzina technologii, umożliwiająca bezpośrednią komunikację między mózgiem a urządzeniami zewnętrznymi. Systemy te, poprzez akwizycję i analizę sygnałów elektroencefalograficznych (EEG), otwierają nowe możliwości w wielu obszarach, takich jak diagnostyka i leczenie chorób, wspomaganie osób z niepełnosprawnościami ruchowymi, czy monitorowanie stanu zdrowia.

Jednym z kluczowych wyzwań w rozwoju nieinwazyjnych BCI jest zapewnienie skutecznego i komfortowego kontaktu elektrod ze skórą, szczególnie w obszarach owłosionych. Tradycyjnie stosowane elektrody Ag/AgCl, choć charakteryzują się niską impedancją i stabilnością potencjału, wymagają użycia specjalistycznego żelu przewodzącego. Aplikacja żelu jest czasochłonna, może powodować dyskomfort, podrażnienia skóry, a nawet reakcje alergiczne. Ponadto, żel wysycha, co prowadzi do zmian impedancji i konieczności ponownej kalibracji, utrudniając długoterminowe monitorowanie.

W odpowiedzi na te ograniczenia, w publikacji *"A Flexible, Robust, and Gel-Free Electroencephalogram Electrode for Noninvasive Brain-Computer Interfaces"* [1] przedstawiono innowacyjną, beżelową elektrodę AgPMS. Elektroda ta, zbudowana z nanowarstwy srebra osadzonej na elastycznym podłożu z gąbki melaminowej z dodatkiem PVB, została zaprojektowana w celu przezwyciężenia problemów związanych z włosami i eliminacji potrzeby stosowania żelu. Wykazano, że materiał elektrody charakteryzuje się wysoką przewodnością, elastycznością oraz stabilnością mechaniczną i chemiczną. Co najważniejsze, testy BCI potwierdziły skuteczność elektrod AgPMS zarówno na skórze nieowłosionej, jak i owłosionej, osiągając wyniki porównywalne z konwencjonalnymi elektrodami żelowymi.

Celem niniejszego projektu jest odtworzenie kluczowych wyników badań dotyczących właściwości oraz funkcjonalności elektrod AgPMS, opisanych we wspomnianej publikacji. Projekt zakłada

replikację procesu wytwarzania elektrod oraz przeprowadzenie testów charakteryzujących ich parametry elektryczne, mechaniczne oraz wydajność w ramach prostego systemu BCI.

2 Badania, przyrządy i odczynniki

2.1 Infrastruktura pomiarowa i procesowa

Rodzaj badania / sprzętu	Funkcja
Dynamiczny analizator mechaniczny (DMA)	Pomiar wiskoelastyczności
Układ do cyklicznego sprężania	Pomiary elastyczności i stabilności mech.
Rozpraszanie ramanowskie	Analiz widm
Termograwimetr (TGA/DTA)	Analiza termograwimetryczna
Spektrometr ICP-OES	Pomiar stężenia pierwiastków
SEM	Ocena morfologii NWs po zdeponowaniu
XRD	Ocena struktury AgNPs
XPS	Analiza pierwiastków powierzchniowych
Mieszadło magnetyczne	Mieszanie roztworów podczas syntezy
Komora próżniowa	Usuwanie gazu z porów gąbki
Płyta grzewcza	Synteza AgNWs
Wirówka	Oczyszczanie sedymentacyjne

2.2 Materiały / Odczynniki

Nazwa	Cechy	Rola
Etanol	czysty%	Przemywanie
AgNO ₃	99.8%	Prekursor nanodrutów
CuCl ₂ · 2 H ₂ O	AR	Ziarna indukujące wzrost 1D
NaCl	99.5%	Późniejsza charakteryzacja
PVP (Poliwinylopirolidon)	Mw = 360 000	Capping agent
PVB (Poliwinylobutyral)	Mw = 170 000	Wspomaganie adhezji
Aceton	99.5%	Przemywanie
Glikol etylenowy	99.5%	Redukcja prekursora
Gąbka melaminowa	typu "magic eraser"	Główny szkielet elektrody

3 Synteza i depozycja

3.1 Synteza nanodrutów (AgNWs)

3.1.1 Metoda zastosowana w artykule

Do kolby zawierającej 100 mL EG wprowadzić kolejno:

- 0.8 g PVP
- 1.0 g AgNO₃

mieszając do całkowitego rozpuszczenia. Następnie dodać 1.6 mL roztworu $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ w EG (3.3 mM) i delikatnie mieszać. Całą mieszaninę umieścić w temperaturze 130°C na 3 godziny. Po reakcji, roztwór poddać trzykrotnej sedimentacji (wirówka 3000 rpm przez 10 minut) z acetonem i etanolem. Ostatecznie rozproszyć nanodruity w etanolu, tworząc roztwór 100 mg/g do dalszego użycia.

3.1.2 Zmodyfikowana metoda poliolowa na podstawie *S. Nuriyeva et al.* [2]

Blindtext

3.2 Przygotowanie porowatych elektrod AgPMS

Melaminową gąbkę pociąć na cylindry o wysokości 1.0 cm i średnicy 0.4 cm. Rozpuścić 0.8 g PVB w 100 mL etanolu, ogrzewając do 80°C przez 40 minut, a następnie ostudzić do temperatury pokojowej. Dodać 1.5 g wcześniej przygotowanego roztworu AgNWs w etanolu i mieszać przez 10 minut. Gąbki zanurzyć w otrzymanym roztworze i poddać infiltracji próżniowej (minimum 2000 Pa, 10 minut). Po naturalnym wysuszeniu uzyskuje się gotowe AgPMS.

4 Charakteryzacja

4.1 Skaningowy Mikroskop Elektronowy (SEM)

Należy wykonać charakteryzację SEM w celu oceny morfologii NWs na szkielecie melaminowym oraz jego pokrycie.

4.2 Dyfrakcja Roentgenowska (XRD)

Pomiar dyfrakcyjny ma na celu potwierdzenie obecności krystalicznego srebra. Można go wykonać na wysuszonym, sproszkowanym roztworze AgNWs i PVB.

Literatura

- [1] S. Lin, J. Liu, W. Li, D. Wang, Y. Huang, C. Jia, Z. Li, M. Murtaza, H. Wang, J. Song, Z. Liu, K. Huang, D. Zu, M. Lei, B. Hong, and H. Wu, "A flexible, robust, and gel-free electroencephalogram electrode for noninvasive brain-computer interfaces," *Nano Letters*, vol. 19, no. 10, pp. 6853–6861, 2019. PMID: 31454250.
- [2] S. Nuriyeva, H. Shirinova, K. Hasanov, and F. Hajiyeva, "Controlled synthesis of silver nanowires: Production and characterization," *Acta Physica Polonica A ISSN 1898-794X*, vol. 143, p. 279, Apr. 2023.