

## Abstrakt

# Modyfikowane fizykochemicznie nanorurki węglowe: otrzymywanie i właściwości elektromagnetyczne

**mgr inż. Anna Kolanowska**

Promotor: dr hab. inż. Sławomir Boncel, prof. PŚ

Promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Giżewski

Nanorurki węglowe (CNTs) mają postać pojedynczej lub wielowarstwowej warstwy grafenowej zwiniętej bezszwowo w „rulon”. Pojedyncza jednościenne nanorurka węglowa (SWCNT), choć 100 000 razy cieńsza niż ludzki włos, jest sześćdziesiąt razy bardziej wytrzymała na rozciąganie niż stal, jest też lepszym przewodnikiem ciepła i prądu elektrycznego niż miedź. Dzięki doskonałym właściwościom CNTs miałyby stanowić element konstrukcyjny wizjonerskiej windy kosmicznej, a naukowcy zaczęli prześcigać się w wymyślaniu kolejnych potencjalnych zastosowań CNTs. Niemniej obecnie liczba wdrożonych do produkcji i sprzedaży rozwiązań wykorzystujących CNTs jest wciąż niewielka. Jest to związane z trudnościami, które pojawiają się przy chęci przeniesienia właściwości pojedynczej CNT do skali makroskopowej. Aby w pełni wykorzystać potencjał CNTs, konieczne jest opracowanie procedur obejmujących zarówno etapy syntezy, oczyszczania, modyfikacji fizykochemicznych jak i samego przygotowania kompozytów czy też różnego rodzaju powłok.

Celem mojej pracy doktorskiej było opracowanie rozwiązań skupiających się przede wszystkim na znakomitych właściwościach elektrycznych CNTs. CNTs miały stać się kluczowym składnikiem przewodzących past i farb wykorzystywanych w materiałach absorbujących promieniowanie radarowe, ekranach elektromagnetycznych oraz inteligentnej odzieży do zastosowań medycznych. Pierwszym krokiem na drodze realizacji tego celu była synteza CNTs wysokiej czystości o wysokim stosunku długości do średnicy i wysokim uporządkowaniu krystalograficznym ścianek o hybrydyzacji atomów węgla  $sp^2$ . CNTs były syntezowane metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD). Optymalizacji podlegał rodzaj substratu węglowego, temperatura i czas prowadzenia syntezy. Kolejny etap stanowiła funkcjonalizacja, zarówno niekowalencyjna (z wykorzystaniem jonowych i niejonowych surfaktantów oraz ferrytów) jak i kowalencyjna (utlenianie, aminowanie, halogenowanie, formylowanie, reakcje Ullmanna), której celem było polepszenie dyspergowalności CNTs w rozpuszczalnikach, wprowadzenie grup umożliwiających stworzenie stabilnych kompozytów oraz polepszenie właściwości elektrycznych i magnetycznych. Ostatnim krokiem było przygotowanie przewodzących farb i past oraz zbadanie właściwości elektrycznych i elektromagnetycznych otrzymanych kompozytów.

Wszystkie modyfikowane fizykochemicznie CNTs zostały przeanalizowane z wykorzystaniem skaningowej (SEM) i transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM) oraz analizy miareczkowej, analizy termogravimetrycznej (TGA), spektroskopii Ramana, spektroskopii rentgenowskiej z dyspersją energii (EDX), spektroskopii fotoelektronów w zakresie promieniowania X (XPS) i spektroskopii w podczerwieni (FTIR). Przygotowane powłoki i ścieżki przewodzące zostały przebadane pod kątem zastosowań w materiałach absorbujących promieniowanie radarowe (komora bezodbićowa) oraz inteligentnej odzieży.

Badania laboratoryjne pozwoliły mi na opracowanie powtarzalnej metody syntezy ultra-długich CNTs o wysokiej czystości. Ponadto udało mi się sfunkcjonalizować CNTs halogenami (bez stosowania czterochlorku węgla, wysokiej temperatury czy niebezpiecznych odczynników halogenujących) oraz wprowadzić wykorzystywane w klasycznej chemii organicznej reakcje Riechego i Ullmanna do chemii CNTs. Formylowanie w reakcji Riechego pozwoliło na selektywne wprowadzenie grup formylowych na powierzchnię CNTs z wysoką wydajnością (4 mmol/g) w ramach jednoetapowej procedury. Reakcja Ullmanna pozwoliła nie tylko na arylowanie CNTs, ale także, poprzez modyfikację 1,3,5-trihydroksybenzenem, na utworzenie elektroprzewodzącego wodnego atramentu o znakomitej stabilności (minimum 6 miesięcy). Modyfikowane CNTs pozwoliły mi na przygotowanie farb przewodzących, które zastosowałam do wykonania elektrod i ścieżek przewodzących w prototypie „koszulki EKG” oraz ekranach elektromagnetycznych (minimalizacja interferencji z innymi urządzeniami przez zredukowanie odbicia) i RAMs (tłumienie na poziomie 10-14 dB konkurencyjne w stosunku do rozwiązań rynkowych). Koszulka pozwoliła na całonocną rejestrację wysokiej jakości sygnału EKG (niewymagającego wzmocnienia ani filtracji), ścieżki nie miały negatywnego wpływu na komfort noszenia koszulki i nie wywołały żadnej reakcji alergicznej.