

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Agnieszki Mirkowskiej** zatytułowanej „**Nowe piezoaktywne struktury dielektryczne**” wykonanej na zlecenie Komisji ds. Stopni Naukowych w Dyscyplinie Naukowej Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki Politechniki Wrocławskiej z dnia 24 czerwca 2020 roku (204/KSN_AEE/2020)

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Mirkowskiej przedstawiona do recenzji liczy 85 stron i obejmuje: streszczenie rozprawy w języku polskim i angielskim, wykaz stosowanych akronimów i skrótów, zasadniczy tekst monografii w siedmiu rozdziałach oraz bibliografię (92 pozycje). Rozprawa zawiera również 8 załączników.

W pierwszym rozdziale (Wprowadzenie) autorka umiejscawia problematykę rozprawy w szerszym kontekście, omawiając krótko klasy materiałów, w których możliwe jest uzyskanie efektu piezoelektrycznego. Na podstawie danych literaturowych, wskazuje na możliwości uzyskania w kompozytach gaz-dielektryk elektretowy pożądanymi własności mechanicznych, elektrycznych i przetwórczych, w tym dużych współczynników piezoelektrycznych. Ta ostatnia właściwość jest istotna z szczególnie pożądanymi z punktu widzenia zastosowania takich kompozytów w przetwornikach piezoelektrycznych.

Drugi, krótki rozdział poświęcony jest mechanizmom prowadzącym do zjawiska elektrycznego i określenia mechanizmu, będącego przedmiotem dalszych prac.

W rozdziale trzecim omawiane są niejednorodne struktury piezoaktywne. W pierwszych trzech podrozdziałach omawiane są modelowe struktury warstwowe, w których warstwy dielektryczne mają różne współczynniki sprężystości, quasi-statycznym ładunkiem powierzchniowym między warstwami. W czwartym podrozdziale określone są wymagania materiałowe dla składników kompozytów struktur niejednorodnych, a w następnym podrozdziale omawiane są podstawowe rodzaje takich struktur i metody ich wytwarzania. Ostatni podrozdział poświęcony jest aktywacji struktur piezoelektrycznych na skutek wyładowań niezupełnych w fazie gazowej kompozytu.

W czwartym rozdziale określono cel, zakres i tezy pracy. Jako cel pracy przyjęto opracowanie technologii wytwarzania nowych struktur dielektrycznych, wykazujących właściwości piezoelektryczne. Tezy pracy konkretyzują ten cel postulując możliwość utworzenia nowych struktur piezoelektrycznych na bazie rurowatego materiału elektretowego oraz wykorzystania w nowych strukturach - dielektryków elastomerowych. Zakres prac koniecznych do realizacji celu obejmował: opracowanie modeli teoretycznych kompozytów, przygotowanie i zbadanie wybranych struktur piezo-aktywnych oraz analizę wyników badań. Badania eksperymentalne wymagały przygotowania stanowisk pomiarowych do pomiarów parametrów struktur oraz stanowisk do aktywacji ich właściwości piezoelektrycznych.

Stanowiska pomiarowe i metodykę pomiarów przedstawiono w rozdziale piątym rozprawy.

Rozdział szósty rozprawy, zatytułowany „Piezo-rurki” poświęcony był analizie zjawiska piezoelektrycznego w pojedynczej piezo-rurce oraz w strukturach pochodnych (piezo-tkaniny i piezo-kapsuły). Rozważono uproszczony model piezo-rurki, na podstawie którego wyprowadzono zależność, pozwalającą określać przybliżoną wartość współczynnika piezoelektrycznego. Następnie zbadano proces aktywacji piezo-rurek. W ramach tych badań określono rozkłady napięcia zastępczego (odpowiadające rozkładowi ładunku) na powierzchni wewnętrznej piezo-rurki przed i po procesie elektryzacji. Analiza uzyskanych rozkładów potwierdziła najważniejszy postulat wynikający z opracowanego modelu - obecność ładunku bipolarnego wynikający z wyładowań niezupełnych wewnątrz rurki podczas procesu elektryzacji. Należy podkreślić, że przy analizie wyników pomiarów wzięto pod uwagę szereg czynników pobocznych, mogących mieć wpływ na ich interpretację. Końcowe części rozdziału dotyczą badań własności

piezoelektrycznych piezo-rurek oraz piezo-tkaniny na bazie piezo-rurek, stabilności ich własności w czasie po elektryzacji, oraz wpływu parametrów procesu elektryzacji (ciśnienie, napięcie) na uzyskiwane wartości współczynnika piezoelektrycznego w warunkach statycznych i dynamicznych. Uzyskane wyniki pozwoliły na potwierdzenie pierwszej części tezy rozprawy.

W rozdziale siódmym rozpatrzono własności piezoelektryczne kompozytu z warstwami elastomerowymi i elektretowymi. Badania dotyczyły struktury warstwowej elektret-elastomer oraz struktur z piezo-kapsułami elektretowymi zatopionymi w elastomerze. Również w tym przypadku, badania eksperymentalne poprzedzone były analizą zjawisk w uproszczonych układach modelowych. Wyniki badań eksperymentalnych potwierdziły poprawność głównych założeń zaproponowanych modeli i pozwoliły na potwierdzenie drugiej części tezy rozprawy.

Ostatni rozdział „Podsumowanie i wnioski” zawiera syntetyczny opis uzyskanych wyników oraz stwierdzenie o udowodnieniu tezy rozprawy.

Ocena najważniejszych osiągnięć kandydatki

Doktorantka w swojej rozprawie podjęła aktualny temat związany z poszukiwaniem rozwiązań dotyczących przetworników elektromechanicznych z bezpośrednią przemianą energii mechanicznej na elektryczną, mogącym mieć zastosowanie w czujnikach naprężeń mechanicznych, czy też w układach harvestingu energii. Rozważane w rozprawie elementy i struktury piezoelektryczne z wykorzystaniem materiałów elektretowych wydają się być rozwiązaniem obiecującym, wymagającym jednak szeregu badań dotyczących struktury układów, warunków elektryzacji, możliwych technologii wytwarzania oraz stabilności parametrów w trakcie eksploatacji.

Oryginalnym osiągnięciem Doktorantki są zaproponowane i zbadane nowe struktury piezoelektryczne oparte na wykorzystaniu rurowatych materiałów elektretowych oraz kompozytów dielektrycznych elektret-dielektryk elastomerowy. Badania zaproponowanych struktur wykonano zgodnie z klasycznym wzorcem badań naukowych: analiza teoretyczna z wykorzystaniem modeli utworzonych na podstawie źródeł literaturowych i własnej wiedzy, badania eksperymentalne wytworzonych struktur i analiza otrzymanych wyników i ich konfrontacja z układami modelowymi.

Do oryginalnym osiągnięć Doktorantki należy zaliczyć zaproponowane elektromechaniczne modele elementów i układów piezoelektrycznych z wykorzystaniem materiałów elektretowych (piezo-rurek), pozwalających na oszacowanie spodziewanych współczynników piezoelektrycznych badanych struktur. Przy opracowaniu tych modeli, w sposób zasadny, przyjęto pewne założenia upraszczające, nie podważające ich zasadniczej wartości, a zwiększające ich bezpośrednie znaczenie aplikacyjne.

Kolejnym elementem podlegającym ocenie był sposób interpretacji i walidacji wyników pomiarowych. Recenzent z własnego doświadczenia wie, jak trudna jest taka interpretacja przy badaniu własności układów z materiałami wysokorezystancyjnymi, a w szczególności polimerowymi, gdyż na wyniki pomiarów może mieć wpływ wiele czynników, których często nie sposób jest jednoznacznie określić, takich jak: nieliniowość zjawisk, niejednorodność przestrzenną własność materiałów, wpływ dodatkowych zjawisk na styku materiałów, efekty brzegowe itp. Moim zdaniem Doktorantka wykazała się tu należyłą starannością i ostrożnością w formułowaniu wniosków, podając prawdopodobne i przekonujące przyczyny odstępstw do całkowitej zgodności wyników pomiarowych i przewidywanych w modelu (jeśli takie zaistniały). Świadczy to o dogłębnej znajomości rozważanej problematyki i umiejętności korzystania z materiałów źródłowych (na uwagę zasługuje obszerna i prawidłowo dobrana literatura).

Rozprawa ma duże walory poznawcze, a przedstawiony materiał duży „potencjał” aplikacyjny i publikacyjny. Wynikiem wykonanych prac są trzy wnioski patentowe (przyznane patenty) oraz dwie publikacje mające odniesienia w bazie Journal Citation Reports (JCR).

Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Moje zastrzeżenia dotyczą głównie redakcji pracy, a dokładniej jej układu i mają charakter subiektywny.

1. Pierwsze trzy rozdziały wprowadzające w zagadnienie, przed sformulowaniem tezy, mogłyby być przedstawione w postaci jednego rozdziału z podpunktami. Rozdział trzeci jest zbyt lakoniczny, a część zagadnień z rozdział trzeciego, mogłaby być z powodzeniem rozważona w dalszej części pracy. Uniknęłoby się w ten sposób niepotrzebnych powtórzeń.
2. Dla sformułowania syntetycznych i jednoznacznych wniosków w tekście głównym, w sposób niedostateczny wykorzystano bardzo wartościowe, skądinąd, wyniki pomiarów zamieszczone w Załącznikach.
3. Tytuły rozdziałów 6 (Piezo-rurki) i 7 (Struktury piezoaktywne z warstwa elastomerową i elektretową) nie mówią o ich zawartości). Takie sformułowania mogłyby być ewentualnie tytułami podrozdziałów.
4. Nie zauważyłem rażących błędów językowych, choć zdarzają się konstrukcje słowne, utrudniające czytanie pracy. Przykład – ostatni akapit na str. 51.
5. Jak należy rozumieć drugie zdanie w rozdz. 8 (Podsumowanie i wnioski). „Materiały elektretowe w postaci kompozytów gaz-powietrze....
6. Niezrozumiałe są dla mnie oznaczenia osi i wartości liczbowe na rys. 6.9 i 6.10. Czy rys. 6.10 można traktować jako wyniki przecięcia rys. 6.9 płaszczyznami o określonych wartościach, odpowiednio x i y. Jeśli tak, to jaka była powtarzalność (choćby jakościowa) w innych płaszczyznach przekroju.
7. Czy według wiedzy Doktorantki, wartość współczynnika gamma w mechanizmie wyładowań z barierą dielektryczną zależy od własności materiału dielektrycznego.
8. Czy zjawisko relaksacji opisane w rozdziale 6.6 (rys. 6.12) ma charakter relaksacji mechanicznej, czy elektrycznej?
9. Czy opisany proces relaksacyjny ogranicza możliwości zastosowania proponowanych struktur do naprężeń kwazistatycznych?
10. W pracy nie zamieszczono wyników badań stabilności parametrów struktur z piezo-kapsułami (rozumiem, że badania tych struktur są w początkowej fazie, a badania stabilności wymagają bardzo długich czasów obserwacji). W ramach dyskusji na obronie, chciałbym postawić pytanie: jak obecność materiału o małej maxwellowskiej stałej czasu (elastomer) może wpływać na rozkład ładunków powierzchniowych, w sytuacji, kiedy nie możemy założyć, że rzeczywista kapsuła nie wytwarza pola zewnętrznego, jak ma to miejsce przy modelowej podwójnej warstwie ładunku.

Posumowanie

W przedstawionej do recenzji pracy Doktorantka podjęła ważny i aktualny temat dotyczący nowych struktur piezoelektrycznych, mogących znaleźć zastosowanie w przetwornikach elektromechanicznych o bezpośredniej przemianie energii mechanicznej na elektryczną. Struktury te oparte są na wykorzystaniu materiałów elektretowych. Proponowane rozwiązania są oryginalnym osiągnięciem Autorki, a dla zbadania ich własności opracowano modele teoretyczne oraz wykonano badania mające potwierdzić zarówno poprawność założeń modeli, jak również właściwości zaproponowanych konstrukcji. Przy realizacji tych zadań Doktorantka wykazała się dużym zasobem wiedzy w zakresie rozważanej problematyki oraz należyтым podejściem do realizacji procesu badawczego. Należy podkreślić, że proponowane rozwiązania były tematem zgłoszeń patentowych (3 przyznane patenty krajowe). Wykonane badania potwierdziły słuszność postawionych tez rozprawy.

Nieco zastrzeżeń miałem do samego układu pracy, które w moim subiektywnym odczuciu mogłaby być bardziej czytelna. Biorąc jednak pod uwagę wartość merytoryczną pracy, jej walory poznawcze oraz przewidywany potencjał aplikacyjny wnioskuje, by w razie pozytywnego wyniku obrony uznać rozprawę mgr inż. Agnieszki Mirkowskiej za **wyróżniającą**.

Tematyka rozprawy i osiągnięcia naukowe kandydatki lokują się w specjalności elektrotechnologia w zakresie dyscypliny elektrotechnika, dziedzinie nauk technicznych. Poprzez możliwe zastosowania w układach elektronicznych i automatycznych, osiągnięcia te w całości można lokować w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Reasumując, uważam że oceniana rozprawa doktorska mgr inż. spełnia kryteria oceny określone dla rozpraw doktorskich w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21.06.2016 r. poz.882) i może stanowić podstawę do dalszych kroków procedury nadania stopnia doktora nauk technicznych.

Andrzej Kempa