

Wpływ promieniowania protonowego na właściwości cienkich warstw CuO

Katarzyna Ungeheuer¹, A. E. Bocirnea², Konstanty W. Marszałek¹, A. C. Galca²
J. Chojenka³, T. Fodor³ i K. Vad³

¹ Instytut Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

² National Institute of Materials Physics, Atomistilor 405A, 077125 Magurele, Ilfov, Romania

³ Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences, H-4026 Debrecen, Hungary

Tlenki miedzi to znane materiały półprzewodnikowe typu p, które charakteryzują się dużą absorpcją światła, co czyni je bardzo dobrymi kandydatami na warstwy absorbera w cienkowarstwowych ogniwach słonecznych. W połączeniu z materiałami półprzewodnikowymi typu n, takimi jak ZnO lub TiO₂, tlenki miedzi stanowią atrakcyjną alternatywę dla cienkowarstwowych technologii fotowoltaicznych, takich jak CdTe i CIGS, ze względu na ich nietoksyczność i wysoką dostępność surowców. [1] Ponadto, ich produkcja wiąże się z mniejszym zużyciem energii w porównaniu z procesami produkcyjnymi krzemu krystalicznego. W przeciwieństwie do obiecujących perowskitów i materiałów organicznych tlenki charakteryzują się wysoką stabilnością. Pośród tlenków miedzi, CuO jest najbardziej stabilną formą. [2] Poza ich zastosowaniem w fotowoltaice, tlenki miedzi są stosowane także w innych dziedzinach, w tym w fotokatalizie i czujnikach.

Biorąc pod uwagę kluczową rolę systemów fotowoltaicznych w zasilaniu misji kosmicznych, konieczna staje się ocena odporności materiału na szkodliwe działanie promieniowania protonowego, szczególnie obecne w obszarze niskiej orbity okołoziemskiej. Zastosowanie fotowoltaiki cienkowarstwowej zapewnia redukcję masy ogniw i oszczędność kosztów transportu do przestrzeni kosmicznej. W tej pracy przedstawione jest zastosowanie wiązki protonowej w celu zasymulowania wpływu warunków kosmicznych na materiał.

Cienkie warstwy CuO zostały osadzone na podłożach szklanych za pomocą reaktywnego rozpylania magnetronowego. Jedna z próbek została implantowana jonami Cr o energii 10 keV i dozie $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. Następnie warstwy zostały naświetlone wiązką protonów o energii 226.5 MeV i fluencji $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, eksperyment ten przeprowadzono w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie.

Właściwości optyczne materiałów zostały zbadane za pomocą spektrofotometrii U-Vis oraz elipsometrii spektroskopowej. Zastosowanie czteropunktowego pomiaru oporu powierzchniowego pozwoliło ocenić wpływ promieniowania na właściwości elektryczne materiału, które są kluczowe dla zastosowanie w ogniwach fotowoltaicznych. Ocena zmian strukturalnych w materiale została wykonana za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej. Aby lepiej zrozumieć zmiany na powierzchni próbek powodowane przez wiązkę protonów przeprowadzono pomiary rentgenowską spektroskopię fotoelektronów (XPS) dla czystego CuO. Obecność Cr w implantowanej próbce została potwierdzona za pomocą spektrometrii mas cząstek wtórnych (SNMS).

[1] Amador Pérez-Tomás et al. "Chapter 8 - Metal Oxides in Photovoltaics: All-Oxide, Ferroic, and Perovskite Solar Cells". In: *The Future of Semiconductor Oxides in Next-Generation Solar Cells*. Ed. by Monica Lira-Cantu. Metal Oxides. Elsevier, 2018, pp. 267–356.

[2] K. Ungeheuer and K. W. Marszałek. "Pozyskiwanie energii słonecznej w XXI wieku – bezkrzemowe, cienkowarstwowe ogniwa fotowoltaiczne", *Technologie XXI wieku – aktualne problemy i nowe wyzwania* Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, s. 7–28, ISBN: 978-83-67104-07-4 (2021).