



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Jakub Jankowski
Politechnika Poznańska

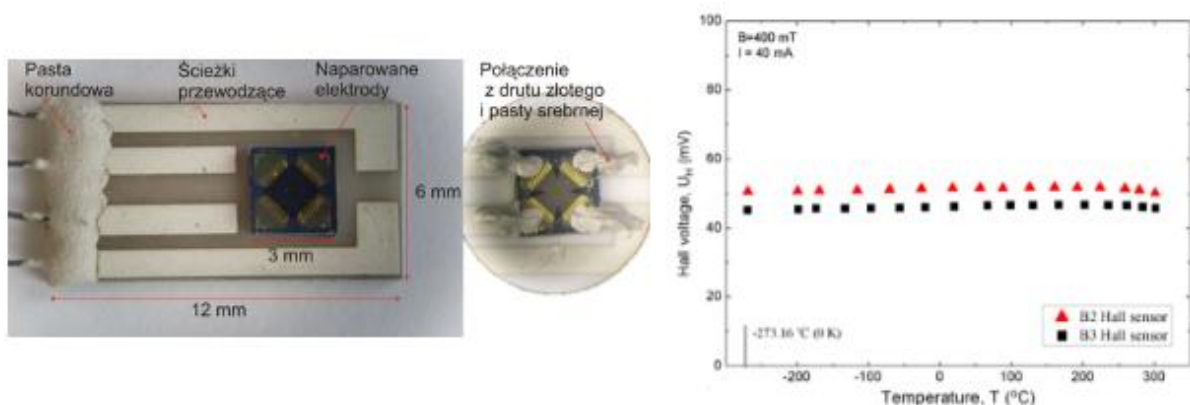
Stypendysta projektu pt. „Wsparcie stypendialne dla doktorantów na kierunkach uznanych za strategiczne z punktu widzenia rozwoju Wielkopolski”, Poddziałanie 8.2.2 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki

Czujnik Halla na ekstremalny zakres temperatur, odporny na promieniowanie neutronowe

Celem pracy doktorskiej pt. „Czujnik Halla na ekstremalny zakres temperatur, odporny na promieniowanie neutronowe” jest wytworzenie czujnika pola magnetycznego o ponadprzeciętnych właściwościach. Owa ponadprzeciętność obejmuje tutaj dwa zagadnienia. Pierwszym jest rozszerzenie temperatury pracy czujnika Halla na temperatury bardzo niskie, jak i bardzo wysokie. Produkowane obecnie, dostępne w sprzedaży czujniki Halla, mogą pracować w temperaturach z zakresu $(-100 \div 180)^{\circ}\text{C}$. Jest to przedział zbyt wąski dla rozwijającej się właśnie gałęzi elektroniki, jaką jest *elektronika na ekstremalny zakres temperatur* (Extreme Temperature Electronics). Wytworzone w ramach pracy doktorskiej czujniki Halla (Extreme Temperature Hall Sensors – ETHS) mogą stabilnie pracować w o wiele szerszym zakresie temperatury, od ok. 2 K (-271°C) do 573 K (300°C) [1]. Obecnie prowadzę badania nad rozszerzeniem tego zakresu w stronę temperatur jeszcze wyższych, do ok. 350°C . Drugim zagadnieniem podjętym w pracy doktorskiej jest wytworzenie czujnika Halla odpornego na promieniowanie neutronowe. Sprawa jest tutaj o tyle skomplikowana, że żaden materiał nie jest całkowicie odporny na takie promieniowanie. Stąd, czujnik taki musi być zbudowany z materiałów o wysokiej odporności na nie, co więcej, jego degradacja nie może mieć wpływu na mierzony sygnał hallowski. Moje dotychczasowe badania [2,3], które prowadziłem podczas studiów doktoranckich na Wydziale Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej (WFT PP) potwierdziły złożoność zagadnienia, dostarczyły wielu cennych informacji i wytyczyły kierunek badań na przyszłość. Oba wspomniane zagadnienia połączone razem doprowadzą do wytworzenia produktu unikalnego w skali światowej.

Budowa produkowanych czujników Halla oparta jest o cienką, epitaksjalną warstwę z antymonku indu (InSb), otrzymaną przy pomocy parowania wybuchowego (flash evaporation) na podłożu z izolującego arsenku galu (GaAs). Technologia otrzymywania

takich warstw jest na PP znana i rozwijana od dawna. Dzięki studiom magisterskim a obecnie doktoranckim biorę czynny udział w tych pracach. InSb jest półprzewodnikiem o wąskiej przerwie energetycznej, stąd już w temperaturze pokojowej odgrywać zaczyna przewodnictwo samoistne. Aby temu zapobiec, cienką warstwę InSb należy odpowiednio zdomieszkować. Wcześniejsze prace prowadzone na PP dowiodły, że silne domieszkowanie donorowe, do koncentracji elektronów na poziomie ok. $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, prowadzi do uniezależnienia współczynnika Halla od temperatury, w szerokim jej zakresie. Wskazało to na możliwość użycia antymonku indu jako idealnego materiału na pomiarowe czujniki Halla, które mogłyby pracować w szerokim zakresie temperatury. Grubość cieniej warstwy została dobrana tak, aby z jednej strony zapewnić stabilność parametrów w szerokim zakresie temperatury, a z drugiej aby mierzony sygnał był jak najwyższy. Wymogi te zostały spełnione dla grubości warstwy ok. $1 \mu\text{m}$. Ze względu na przeznaczenie czujnika do pomiaru w ekstremalnym zakresie temperatur, również obudowa czujnika musi spełniać wiele wymogów, np. dobra przewodność cieplna i podobna rozszerzalność cieplna do struktury InSb/GaAs. Na rys. 1 po lewej stronie przedstawiono strukturę InSb/GaAs (chip) umieszczoną na podłożu z AlN (ceramika) ze ścieżkami przewodzącymi oraz ten sam czujnik po połączeniu elektrod chipu ze ścieżkami za pomocą złotego drutu i pasty srebrnej. Badania czujnika w przedziale temperatury od 4,2 K do 573 K umożliwiły obliczenie dla tego przedziału temperaturowego współczynnika zmiany napięcia Halla (pomiar napięcia Halla po prawej stronie na rys. 1). Współczynnik ten mówi jak bardzo napięcie Halla zmienia się z temperaturą. Dla naszego przypadku współczynnik ten jest bardzo niski i wynosi ok. 0,04 %/K. Oznacza to praktycznie stałość mierzonego sygnału dla całego zakresu temperatury [1]. Napięcie Halla wytworzonego czujnika jest liniowo zależne od pola magnetycznego w przedziale (0 ÷ 5) T, co umożliwia pomiar silnych pól magnetycznych.



Rys. 1 Widok obudowy czujnika Halla i chipu, przed i po połączeniu oraz sygnał czujnika Halla (napięcie Halla) zmierzone dla zakresu temperatur 4,2 – 573 K [1] (fot. J. Jankowski)

W przypadku zagadnienia odporności cienkiej warstwy InSb na promieniowanie neutronowe, mamy tutaj do czynienia z dwoma rodzajami energii neutronów. Promieniowanie niskoenergetyczne, prowadzące do przemiany atomów indu w cynę (domieszkowanie transmutacyjne) oraz promieniowanie wysokoenergetyczne, odpowiedzialne za degradację struktury krystalicznej (spadek ruchliwości elektronów).

Do celów napromieniowań budowa czujnika została lekko zmodyfikowana, wszystkie elementy srebrne zostały zastąpione złotymi, ze względu na długi czas radioaktywności srebra po napromieniowaniu neutronami. Wstępne badania, gdzie doza neutronów osiągnęła aż 10^{18} cm^{-2} , pokazały, że silne domieszkowanie donorowe cienkich warstw pozwoli na wytworzenie czujnika odpornego na promieniowanie niskoenergetyczne, a „średnio” domieszkowane na budowę czujnika odpornego na promieniowanie wysokoenergetyczne [3].

W dalszym etapie badań, będących kontynuacją mojej pracy doktorskiej, będzie otrzymanie struktury $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Sb}$ ($0 < x < 0,5$), w której po silnym domieszkowaniu donorowym możliwe będzie uzyskanie koncentracji elektronów na poziomie ok. 10^{19} cm^{-3} (więcej o prawie rząd wielkości w porównaniu do InSb). Pozwoli to zwiększyć temperaturę pracy czujnika do ok. 350°C oraz wpłynie na zmniejszenie wrażliwości na niskoenergetyczne promieniowanie neutronowe (liczba powstałych za sprawą przemian jądrowych donorów będzie niska na tle donorów już istniejących). Badania te aktualnie realizowane są w ramach projektu pt. *Zbadanie wpływu napromieniowania neutronowego na elektryczne własności InGaSb* (grant PRELUDIUM Narodowego Centrum Nauki).

Wytworzenie przeze mnie czujnika Halla oraz pomiary w zakresie pola magnetycznego ($0 \div 1$) T oraz w temperaturze ($77 \div 623$) K zostały przeprowadzone na WFT PP. Pomiary w zakresie pola magnetycznego ($0 \div 8$) T dla temperatury helowej (4,2 K) oraz pokojowej przeprowadzone zostały w Międzynarodowym Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych i Niskich Temperatur we Wrocławiu. Napromieniowania próbek neutronami przeprowadzono we współpracy z Instytutem Fizyki Plazmy w Pradze (reaktor LVR-15) oraz z Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku (reaktor MARIA).

Ze względu na unikalność czujników będących tematem mojego doktoratu, odbiorcami tego produktu byłyby firmy/laboratoria na całym świecie, w tym również w Wielkopolsce. Zastosowań czujników Halla o tak niestandardowych właściwościach szukać można w takich dziedzinach techniki jak: inżynieria lądowa (transport), elektrotechnika i elektronika (automatyka i robotyka, systemy automatyzacji i kontroli), inżynieria mechaniczna (mechanika stosowana, inżynieria lotnicza, kosmiczna, jądrowa), inżynieria materiałowa (inżynieria korozyjna, powierzchni, spajania materiałów), inżynieria środowiska (geotechnika, inżynieria naftowa, energetyka, górnictwo i kopalnictwo, inżynieria morska). Innymi słowy, czujniki takie będą potrzebne tam gdzie obecnie są one stosowane, z tą jednak różnicą,

że temperatura nie będzie już tak bardzo ograniczać procesów wytwarzania, kontroli, pomiarów itd.

Jeśli chodzi o zastosowania czujnika ETHS w wersji odpornej na promieniowanie neutronowe, to w 2013 roku zakończył się projekt pt. *Preparation of High-Temperature Hall Sensor for Future Applications in Measurements of Magnetic Field in fusion reactors*, gdzie członkami byli Politechnika Poznańska oraz Euratom-IFPiLM (Euratom – Europejska Wspólnota Energii Atomowej, IFPiLM – Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy). W ramach umowy prowadzone były badania nad opracowaniem czujnika pola magnetycznego mającego służyć do pomiaru i kontroli plazmy w budowanym we Francji tokamaku ITER. ITER będzie eksperymentalną elektrownią termojądrową działającą w oparciu o magnetyczne uwięzienie plazmy. Przewidywane temperatury w miejscu pracy czujnika to ponad 200°C, a doza neutronów podczas całego czasu pracy reaktora (kilkadziesiąt lat) może wynieść 10^{18} cm⁻². Obecnie prowadzę prace nad wytworzeniem czujnika, który sprostałby tym wymaganiom. Moje badania mają za cel nie tylko poszerzenie wiedzy na temat pomiaru pola magnetycznego w ekstremalnych warunkach, ale mają znaczenie praktyczne i są istotnym elementem badań nad fuzją termojądrową.

1. **J. Jankowski**, S. El-Ahmar and M. Oszwałdowski, Hall Sensors for Extreme Temperatures, *Sensors*, 11, 876-885, 2011.
2. I. Duran, M. Oszwałdowski, K. Kovarik, **J. Jankowski**, S. El-Ahmar, L. Viererbl, Z. Lahodova, Investigation of Impact of Neutron Irradiation on Properties of InSb-based Hall Plates, *Journal of Nuclear Materials*, 417, 846-849, 2011.
3. **J. Jankowski**, S. El-Ahmar, M. Oszwałdowski, On Possibility of Application of InSb-Based High-Temperature Hall Sensors for ITER Magnetic Diagnostics, *Proceedings of Electrotechnical Institute*, 258, 149-156, 2012.