

## Streszczenie

### rozprawy doktorskiej mgr Anny Krzyżewskiej pt: **Spin-orbit driven transport effects in a two-dimensional electron gas with selected forms of Rashba and Dresselhaus spin-orbit interaction**

Postęp technologiczny w dziedzinie miniaturyzacji urządzeń elektronicznych w ostatnich dziesięcioleciach stwarza potrzebę głębszego zrozumienia zjawisk fizycznych zachodzących na poziomie mikroskopowym. W rezultacie zaczęto badać układy o niskiej wymiarowości, takie jak cienkie warstwy, które można traktować jako struktury dwuwymiarowe.

Obiecującym obszarem w tej dziedzinie jest spintronika, która uwzględnia nie tylko ładunek elektronu, jak konwencjonalna elektronika, ale także jego spin. Jednym z kluczowych zagadnień spintroniki jest oddziaływanie typu spin-orbita,

W ramach niniejszej pracy doktorskiej badano właściwości transportowe układów dwuwymiarowych z oddziaływaniem spinowo-orbitalnym (SO), wykorzystując metody teorii pola w fizyce ciała stałego, w szczególności formalizm funkcji Greena z podejściem diagramowym. W pracy analizowane są oddziaływania SO typu Rashby i Dresselhausa, ze szczególnym uwzględnieniem ich form kubicznych.

Badany układ, dwuwymiarowy gaz elektronowy (2DEG), jest wykorzystywany do modelowania heterostruktur półprzewodnikowych oraz interfejsów i powierzchni tlenków perowskitowych.

Przedłożona dysertacja doktorska składa się z cyklu sześciu artykułów naukowych, poprzedzonych wstępem teoretycznym, uporządkowanych w kolejności ich publikacji.

W ramach rozprawy rozważana jest nierównowagowa polaryzacja spinowa wywołana zewnętrznym polem elektrycznym (CISP) w dwuwymiarowym gazie elektronowym z liniową i kubiczną formą oddziaływania SO typu Dresselhausa. Wykazano, że w takim układzie obecność członu kubicznego zmniejsza polaryzację spinową. Z kolei, w przypadku magnetycznego 2DEG, przykładowo, gdy próbka jest umieszczona na podłożu magnetycznym, pojawia się dodatkowa, odporna na domieszkowanie w układzie składowa polaryzacji spinowej.

W pracy analizowany jest także anomalny efekt Halla (AHE), charakteryzujący się przepływem prądu ładunkowego w kierunku prostopadłym do zewnętrznego pola elektrycznego, w magnetycznym 2DEG z izotropową i anizotropową formą kubicznego oddziaływania SO typu Rashby. Wyniki, jakościowo podobne w obu modelach, wskazują na dominującą rolę wkładu do AHE od stanów poniżej poziomu Fermiego.

Ponadto zbadano spinowy efekt Halla (SHE), czyli przepływ prądu spinowego w kierunku prostopadłym do zewnętrznego pola elektrycznego, w 2DEG z izotropową formą kubicznego oddziaływania SO typu Rashby. Wykazano, że obecność magnetyzacji w kierunku prostopadłym do płaszczyzny układu zmniejsza SHE, zwłaszcza gdy magnetyzacja dominuje nad oddziaływaniem SO.

Część rozprawy poświęcona jest analizie nieliniowych zjawisk transportowych. Pokazano, że w magnetycznym 2DEG z kubiczną formą oddziaływania SO typu Rashby, nieliniowy efekt Halla można kontrolować za pomocą

pola magnetycznego w płaszczyźnie, przy czym wkład od stanów z morza Fermiego jest największy, gdy pole magnetyczne i elektryczne są przyłożone prostopadle względem siebie. Z kolei biliniowy magnetoopór, wywołany nierównowagową polaryzacją spinową w układzie, jest proporcjonalny do wartości zarówno pola elektrycznego, jak i magnetycznego.

Praca obejmuje także analizę efektów termoelektrycznych. Poprzeczna odpowiedź ładunkowa wywołana gradientem temperatury, znana jako anomalny efekt Nernsta, nie różni się znacząco zarówno w układzie z izotropową jak i anizotropową formą oddziaływania SO typu Rashby. Zaobserwowana zmiana znaku anomalnego przewodnictwa Nernsta w funkcji potencjału chemicznego odzwierciedla współzawodnictwo pomiędzy oddziaływaniem SO a magnetyzacją w układzie.

Z kolei składowa polaryzacji spinowej wywołanej gradientem temperatury (TISP) równoległa do kierunku siły wymuszającej, w 2DEG z oddziaływaniem SO typu Dresselhausa, jest związana z CISP poprzez relację Motta. TISP przyjmuje większe wartości przy niższej gęstości nośników i może być sterowana za pomocą magnetyzacji i wartości oddziaływania SO, tj. poprzez napięcie bramkujące.

Podsumowując, niniejsza dysertacja stanowi wkład do zrozumienia własności transportowych indukowanych oddziaływaniem spinowo-orbitalnym, które odgrywa kluczową rolę w projektowaniu urządzeń spintronicznych, umożliwiając tym samym rozwój technologii przetwarzania i przechowywania danych.

Struktura niniejszego opracowania jest następująca. W rozdziale pierwszym przedstawiono cel oraz motywację badań, a także wprowadzono pojęcia charakteryzujące badane układy dwuwymiarowe, w tym rozważane formy oddziaływania spinowo-orbitalnego. Rozdział drugi został poświęcony opisowi metody, tj. formalizmowi funkcji Matsubary-Green'a w reżimie liniowej odpowiedzi w podejściu diagramowym. W rozdziale trzecim opisano analizowane w pracy efekty transportowe. Z kolei rozdział czwarty zawiera przedruki artykułów wchodzących w skład dysertacji, wraz z komentarzem. Opracowanie jest zakończone podsumowaniem, gdzie zebrano najistotniejsze rezultaty badań.