

Streszczenie

W niniejszej pracy doktorskiej prowadziłem badania wzbudzeń dwuwymiarowego gazu elektronowego (2DEG) o częstotliwościach z zakresu promieniowania elektromagnetycznego przypadających na zakres fal terahercowych (THz). Celem pracy było poznanie mechanizmów stojących za generacją oraz detekcją promieniowania THz przez 2DEG oraz zaproponowanie nowych struktur półprzewodnikowych, które mogą znaleźć zastosowanie w konstrukcji generatorów oraz detektorów promieniowania THz. Badania detekcji oraz emisji prowadziłem w niezależnych seriach eksperymentów i wykonywałem je na strukturach półprzewodnikowych, których znaczną część wykonałem techniką litografii elektronowej. W przypadku badań emisji używałem komercyjnych tranzystorów polowych na bazie GaAs/GaInAs oraz próbek wykonanych na heterostrukturze GaAs/GaAlAs. Do badań detekcyjnych używałem próbek zawierających podwójną oraz pojedynczą studnię kwantową CdTe/CdMgTe.

Inspiracją badań dotyczących emisji promieniowania THz były prace teoretyczne M. Dyakonova oraz M. Shura, które przewidują możliwość generacji promieniowania THz przez tranzystory polowe oraz prace doświadczalne, w których była obserwowana emisja z tranzystorów polowych. W niniejszej pracy powtórzyłem część eksperymentów opisanych w pracach doświadczalnych. Celem tego zabiegu było, po pierwsze, lepsze zrozumienie mechanizmów stojących za generacją promieniowania THz z tranzystorów polowych. Po drugie, chciałem zrozumieć przyczyny istniejącej rozbieżności pomiędzy doniesieniami naukowymi o obserwacji emisji promieniowania THz z tranzystorów polowych a faktycznym brakiem opartych na tranzystorach emiterów promieniowania THz. Po upływie prawie szesnastu lat od pierwszej publikacji, w której taką emisję zaobserwowano nadal nie ma komercyjnych rozwiązań w tym zakresie. Pracując nad zagadnieniem emisji promieniowania THz z tranzystorów polowych uzyskałem wyniki eksperymentalne, których analiza wskazuje na to, że po pierwsze, niektóre nanometrowe tranzystory polowe mogą być źródłem promieniowania mikrofalowego o dosyć dużej mocy. Po drugie pokazałem, że użycie detektora InSb strojonego polem magnetycznym do analizy spektralnej wiąże się z uwzględnieniem ograniczeń, nieuwzględnienie których może prowadzić do błędnej interpretacji otrzymanych widm.

Oprócz badań emisyjnych z tranzystorów polowych prowadziłem badania emisyjne ze struktur wykonanych z heterostruktury GaAs/GaAlAs zawierającej dwuwymiarowy gaz elektronowy o wysokiej ruchliwości nośników. Badania te doprowadziły do zaobserwowania rezonansowej emisji promieniowania THz o częstotliwości rzędu 400 GHz. Przeprowadzone pomiary pokazały, że emisja ta nie jest związana z kształtem i geometrią próbek, lecz z samą heterostrukturą, z jakiej próbki zostały wykonane. Analiza wyników eksperymentalnych oraz prac innych autorów sugerują, że emisja może być związana z jonizacją zderzeniową płytkich domieszek znajdujących się w heterostrukturze.

Inspiracją do badań, dotyczących detekcji promieniowania THz była praca S. Mikhailova, w której autor opisuje możliwość wzmocnienia rezonansu plazmonowego poprzez utworzenie na powierzchni próbki, zawierającej dwuwymiarowy gaz elektronowy, siatki dyfrakcyjnej o koncentracji elektronów porównywalnej do koncentracji elektronów w studni kwantowej. Ideę sprzężenia dwuwymiarowego gazu elektronowego w studni kwantowej z promieniowaniem THz przy użyciu siatki dyfrakcyjnej o koncentracji nośników zbliżonej do koncentracji nośników w studni udało się zrealizować przy użyciu odpowiednio sproscesowanej struktury półprzewodnikowej zawierającej podwójną studnię kwantową CdTe/CdMgTe. Realizacja ta polegała

na wytrawieniu w górnej studni rowków w ten sposób, że niewytrawione obszary górnej studni układały się w szereg pasków zawierających 2DEG. Wytworzyłem szereg takich struktur różniących się głębokością wytrawionych obszarów. Dodatkowo, wytworzyłem szereg struktur z „klasycznymi” sprzęgaczami 2DEG z promieniowaniem THz, w postaci złotych siatek dyfrakcyjnych. Struktury pokryte siatkami półprzewodnikowymi i metalowymi zostały przebadane w pomiarach magnetotransmisji (pomiar transmisji promieniowania THz w funkcji pola magnetycznego) w szerokim zakresie częstotliwości promieniowania THz oraz w temperaturze nadciekłego helu. Uzyskane wyniki zostały zinterpretowane w ramach modelu opisującego wzbudzenia magnetoplazmonów (wzbudzenia plazmonów w polu magnetycznym) w 2DEG. Pokazały one, że próbki z siatkami półprzewodnikowymi mogą zostać użyte jako rezonansowe detektory promieniowania THz strojone takimi parametrami, jak: pole magnetyczne, światło białe oraz geometryczne parametry siatki dyfrakcyjnej. Drugim ważnym wynikiem było określenie polaryzacji wzbudzanego w próbkach magnetoplazmonu; stało się to możliwe dzięki zastosowaniu półprzewodnikowych siatek dyfrakcyjnych, które nie wykazują właściwości polaryzacyjnych.

Słowa kluczowe: *promieniowanie THz, spektroskopia THz, tranzystory polowe, dwuwymiarowy gaz elektronowy, magnetoplazmony, rezonans cyklotronowy, InSb, CdTe, GaAs.*