

ANNA SKUBIS
WFIIS AGH
TEMAT PRACY DOKTORSKIEJ : „SYMULACJA DZIAŁANIA BRAMEK
KWANTOWYCH

WYKONUJĄCYCH OPERACJE NA SPINIE ELEKTRONU”.

STRESZCZENIE.

Idea komputera kwantowego powstała już w połowie lat 90-tych XX-go wieku kiedy wykazano, że wykorzystując zasady mechaniki kwantowej można stworzyć algorytmy wydajniejsze od algorytmów realizowanych przez współczesne komputery. Rozpoczęły się poszukiwania kandydata na nośnik informacji kwantowej. Jednym z obiecujących rozwiązań jest wykorzystanie dwóch stanów spinowych elektronu uwięzionego w kropce kwantowej. Spin jest bardzo dobrym kandydatem na nośnik kubitów ze względu na jego odporność na oddziaływanie z otoczeniem. Dzięki temu czas koherencji czyli zachowania spójności funkcji stanu jest wystarczająco długi, żeby można było na nim wykonać odpowiednią sekwencję operacji logicznych realizujących algorytm kwantowy. Pojawiło się zatem zapotrzebowanie na nanourządzenia półprzewodnikowe, w których możnaby wyizolować pojedyncze elektrony, ustawić je w założonym stanie spinowym, wykonywać na nich operacje odpowiadające bramkom komputera kwantowego, a następnie odczytać stan końcowy spinu. Opisaną funkcjonalność zapewniają sterowane elektrostatycznie poziome kropki kwantowe. Kropki te generowane są w nanourządzeniach zbudowanych na bazie planarnej heterostruktury półprzewodnikowej, która posiada postać nałożonych na siebie warstw różnych materiałów półprzewodnikowych. Istotnym elementem heterostruktury jest styk dwóch materiałów tzw. heterozłącze, w którym powstaje schodek energii potencjalnej. W niniejszej pracy są rozważane heterostruktury zbudowane z warstw GaAs oraz stopu AlGaAs, charakteryzującą się doskonałą jakością heterozłącza. Źródło poziomego uwięzienia elektronu w kropce kwantowej stanowią metalowe elektrody nałożone na górną warstwę heterostruktury. Potencjał uwięzienia sterowany jest za pomocą przykładanych do elektrod napięć. Dzięki temu można uwięzić w nich pożądaną liczbę elektronów i wpływać na ich stany spinowe.

Celem niniejszej rozprawy było zasymulowanie i zoptymalizowanie, pod względem doboru heterostruktury i układu elektrod, działania nanourządzenia wykonującego operacje na spinie elektronu. W pierwszej części pracy przeprowadzono symulacje nanourządzenia na bazie heterostruktury nAlGaAs/GaAs użytej w eksperymencie (K. Nowack, F.

Koppens, Science, 318, 1430-1433). Przebadano rozkłady pola elektrostatycznego wytwarzanego przez napięcia przykładane do elektrod na powierzchni heterostruktury oraz obliczono siłę oddziaływań spin orbita Dresselhausa i Rashby. Ponieważ oddziaływania te powodują obrót spinu podczas ruchu elektronu, są one bardzo ważnym parametrem w projektowaniu nanourządzeń wykonujących operacje na spinie elektronu.

W drugiej części pracy przeprowadzono symulacje obrotu spinu w dwóch nanourządzeniach zbudowanych na bazie heterostruktury GaAs/AlGaAs zawierającej symetryczną studnię kwantową: pierwsze z palczastym układem elektrod proponowanym w eksperymencie (K. Nowack, F. Koppens, Science, 318, 1430-1433), drugie z nowo zaprojektowanym układem optymalizującym trajektorie ruchu elektronu. W pierwszym nanourządzeniu ruch elektronu odbywał się po krzywej przypominającej fragment okręgu,

udało się odtworzyć oscylacje Rabiego i uzyskać funkcje bramki Not i Hadamarda. Ponadto omówiono najważniejsze wady i ograniczenia takiego nanourządzenia: problem adiabaticzności ruchu elektronu w zależności od częstotliwości oscylacji studni, niestabilność ruchu elektronu przy zmianie napięcia na elektrodach, a także możliwości i ograniczenia poprawy szybkości uzyskanych bramek logicznych. Kolejnym krokiem było zaprojektowanie nowej architektury elektrod. Zmiana ta pozwoliła zredukować ruch elektronu do jednego wymiaru i zwiększyć jego stabilność. Ustabilizowanie utworzonej przez napięcia parabolicznej studni potencjału w kierunku ruchu, a także zwiększenie jej częstotliwości własnej w kierunku osi prostopadłej do ruchu pozwoliło ustabilizować drgania własne elektronu w studni potencjału i pokonać barierę 20GHz częstotliwości jej oscylacji. Zwiększenie tego parametru jak i wydłużenie trajektorii miało ogromny wpływ na szybkość działania uzyskanych bramek logicznych. Czas ich wykonania udało się poprawić aż o rząd wielkości w stosunku do pierwszego nanourządzenia. Ponadto przeprowadzono analizę doboru amplitudy i częstotliwości zmian napięcia na elektrodach sterujących, a także wpływu oddziaływania Dresselhausa na szybkość uzyskanych bramek.

2

Kraków, 30.09.2016r

