



Warszawa, 19 lipca 2012

Spintronika: Powstał nowy typ tranzystora, owoc polskiej technologii

Tranzystor spinowy działający według nowych zasad został skonstruowany przez zespół fizyków z Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie i Uniwersytetu w Razyzbonie. Doświadczalna demonstracja tranzystora jest kolejnym krokiem ku upowszechnieniu spintroniki, dziedziny nauki i techniki, która w przyszłości w istotnej części zastąpi elektronikę.

Polsko-niemiecki zespół fizyków zaprezentował nowy typ tranzystora spinowego. Eksperymentalna demonstracja, przeprowadzona na Uniwersytecie w Razyzbonie, była możliwa dzięki unikatowym strukturom półprzewodnikowym, wykonanym w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk (IF PAN) w Warszawie w ramach projektu „Kwantowe nanostruktury półprzewodnikowe do zastosowań w biologii i medycynie” Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Osiągnięcie przedstawiono w artykule w najnowszym wydaniu „Science”, jednego z najbardziej prestiżowych czasopism naukowych świata.

Tranzystory powszechnie stosowane w urządzeniach codziennego użytku działają kontrolując przepływ dużych ilości nośników ładunków elektrycznych. Miniaturyzacja obwodów funkcjonujących na tej zasadzie jest jednak trudna z uwagi na wydzielające się ciepło.

„Tranzystor spinowy wykorzystuje nie ładunek elektryczny, a inną cechę kwantową elektronu: spin, czyli jego wewnętrzny moment pędu”, wyjaśnia prof. dr hab. Tomasz Wojtowicz z IF PAN, który kierował polską grupą zaangażowaną w budowę nowego tranzystora.

Ze spinem nierozdzielnie wiąże się pole magnetyczne. Ponieważ przypadkowe pola magnetyczne są dużo słabsze niż przypadkowe pola elektryczne, pamięci spintroniczne nie traciłyby informacji po odłączeniu zasilania, a procesory spintroniczne potrafiłyby fizycznie modyfikować własne obwody, dopasowując swoją strukturę logiczną do aktualnych potrzeb. Z kolei umiejętność operowania spinami pojedynczych elektronów otworzyłaby drogę do budowy komputerów kwantowych – urządzeń, które zgodnie z przewidywaniami teoretyków będą realizować pewne klasy algorytmów w nieprawdopodobnie krótkim czasie.

Pierwszą ideę budowy półprzewodnikowego tranzystora spinowego przedstawiono w 1990 roku. Pomysł udało się sprawdzić doświadczalnie dopiero trzy lata temu. Otrzymane sygnały były jednak słabe, co wynikało z faktu, że elektrony wstrzykiwano do półprzewodnika z małą wydajnością, a na dodatek szybko traciły one początkowy kierunek spinu.

W tranzystorze spinowym skonstruowanym przez zespół z Uniwersytetu w Razyzbonie, kierowany przez prof. Dietera Weissa, i grupę badaczy z Instytutu Fizyki PAN, wykorzystano „twierdzenie adiabatyczne” mechaniki kwantowej. Twierdzenie to mówi, że orientacja spinu elektronu pozostanie niezmienną, jeśli zewnętrzne zaburzenie zmienia się powoli, czyli adiabatycznie. W takich warunkach informacja spinowa jest zabezpieczona przed utratą, a jej nośniki mogą się poruszać w układzie półprzewodnikowym na odległość nawet kilkunastu mikrometrów (milionowych części metra).

Eksperymentalna realizacja idei była możliwa za pomocą przyrządu półprzewodnikowego wykonanego w IF PAN. Układ studni kwantowych zbudowano z rozcieńczonych półprzewodników magnetycznych należących do II i VI grupy układu okresowego pierwiastków (struktura (Cd,Mn)Te z tellurku kadmu silnie domieszkowanego manganem). Rozcieńczone półprzewodniki magnetyczne charakteryzują się nadzwyczajną czułością spinu elektronu na zewnętrzne pole magnetyczne. Przyrząd z IF PAN skonstruowano w taki sposób, że jego elektrony tworzą dwuwymiarowy gaz. Za pomocą wysokorozdzielczej litografii elektronowej na Uniwersytecie w Razyzbonie na strukturę naniesiono periodyczną siatkę miniaturowych magnesów z rzadkiego metalu, dysprozu. Po namagnesowaniu, wytworzyły one wolno zmieniające się pole magnetyczne o niewielkiej indukcji 50 mT.

W tak skonstruowanym tranzystorze spinowym elektrony poruszały się od źródła do drenu pod wpływem pola elektrycznego. Podczas wędrówki kierunek ich spinu dopasowywał się do aktualnego kierunku pola magnetycznego generowanego przez magnesy z dysprozu. Tranzystor był wtedy w stanie włączonym, czyli jego oporność na drodze źródło-dren była mała.

Po przyłożeniu dodatkowego, zewnętrznego pola o indukcji 50 mT, równoważącego lokalnie pole magnesów z dysprozu, na drodze ruchu elektronów powstawały periodyczne miejsca skompensowanego pola magnetycznego, gdzie elektrony, aby przemieszczać się dalej, musiałyby gwałtownie zmienić kierunek swego spinu. Wskutek związanych z tym zjawisk fizycznych, część elektronów jest w tej sytuacji odbijana i opór źródło-dren wzrasta – tranzystor przechodzi w stan wyłączony. Prototyp tranzystora, przedstawiony przez polskich i niemieckich badaczy, działa w temperaturach kriogenicznych.

„W tym doświadczeniu byliśmy dostawcami technologii półprzewodnikowych o wyjątkowych parametrach”, podkreśla prof. Wojtowicz i dodaje, że ruchliwość elektronów w strukturach (Cd,Mn)Te wytwarzanych w IF PAN jest w tej grupie układów największa na świecie. „To efekt siedmiu lat intensywnej pracy nad obecnymi materiałami i niemal 20 lat naszych doświadczeń nad technologiami epitaksji z wiązek molekularnych, które rozwijamy wraz z profesorami Grzegorzem Karczewskim i Jackiem Kossutem w Środowiskowym Laboratorium Fizyki i Wzrostu Kryształów Niskowymiarowych IF PAN”, mówi prof. Wojtowicz.

„Udział naszego Instytutu w skonstruowaniu nowego tranzystora spinowego to kolejny spektakularny rezultat, który był możliwy dzięki znaczącym środkom finansowym z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka”, podkreśla prof. dr hab. Leszek Sirko, dyrektor Instytutu Fizyki PAN.

Idea adiabatycznego tranzystora spinowego, zaprezentowana dzięki wyjątkowej jakości polskich układów półprzewodnikowych, w przyszłości będzie mogła być zrealizowana także za pomocą materiałów zbudowanych z innych pierwiastków niż kadm i tellur. Nowe tranzystory i urządzenia mogłyby wtedy działać także w temperaturze pokojowej, co byłby wielkim krokiem na drodze do zastosowań spintroniki.

Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk (IF PAN) z siedzibą w Warszawie powstał w 1953 roku jako ogólnokrajowa instytucja zajmująca się wszystkimi dziedzinami fizyki doświadczalnej i teoretycznej. Obecnie Instytut prowadzi badania z fizyki ciała stałego oraz fizyki atomowej i cząsteczkowej, w tym fizyki półprzewodników, promieniowania i magnetyzmu. Przedmiotem szczególnego zainteresowania są spintronika i nanotechnologie. IF PAN uczestniczy w ponad 20 międzynarodowych projektach badawczych, publikuje ok. 300 prac naukowych rocznie.

PRACE NAUKOWE:

„Spin-Transistor Action via Tunable Landau-Zener Transitions”, by C. Betthausen; D. Weiss; T. Dollinger; H. Saarikoski; K. Richter at Regensburg University in Regensburg, Germany; V. Kolkovsky; G. Karczewski; T. Wojtowicz at Polish Academy of Sciences in Warsaw, Poland; Science, 20 July 2012.

INFORMACJE DODATKOWE:

Grant „Kwantowe nanostruktury półprzewodnikowe do zastosowań w biologii i medycynie – rozwój i komercjalizacja nowej generacji urządzeń diagnostyki molekularnej opartych o nowe polskie przyrządy półprzewodnikowe”, wartości ponad 73 mln złotych, jest finansowany w 85% z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013 (POIG.01.01.02-00-008/08). Głównymi uczestnikami grantu, którym kieruje prof. dr hab. Leszek Sirko, są Instytut Fizyki PAN (koordynator), Instytut Chemii Fizycznej PAN i Instytut Wysokich Ciśnień PAN.

KONTAKTY DO NAUKOWCÓW:

prof. dr hab. **Tomasz Wojtowicz**
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
tel. +48 22 8436601, w. 3123, 2551
email: wojto@ifpan.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

http://www.physik.uni-regensburg.de/index_e.phtml

Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Ratyźbonie (wersja angielska).

<http://info.ifpan.edu.pl/nanobiom/>

Strona konsorcjum NANOBIOM, realizującego projekt „Kwantowe nanostruktury półprzewodnikowe do zastosowań w biologii i medycynie”.

<http://www.ifpan.edu.pl>

Strona WWW Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifpan.edu.pl>

Serwis prasowy Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

IFPAN120719b_fot01s.jpg

HR:

http://press.ifpan.edu.pl/news/12/07/IFPAN120719b_fot01.jpg

Fizycy z Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie i Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Ratyźbonie zbudowali nowy typ tranzystora spinowego. W półprzewodnikowej strukturze z tellurku kadmu silnie domieszkowanego manganem, wykonanej w IF PAN, elektrony tworzą dwuwymiarowe morze. Pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego elektrony w morzu zaczynają się przemieszczać, dopasowując swój spin do kierunku lokalnego pola magnetycznego generowanego przez magnesy z dysprozu. Pozwala to zabezpieczyć informację spinową przed utratą. (Źródło: IF PAN, ACh)

FILMY I ANIMACJE:

IFPAN120719c_mov01.mov

HR:

http://press.ifpan.edu.pl/news/12/07/IFPAN120719c_mov01.mov

Animacja ilustrująca zasadę działania tranzystora spinowego zbudowanego przez fizyków z Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie i Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Ratyźbonie. Zwykle elektrony z dwuwymiarowego morza w półprzewodniku szybko gubią pierwotny kierunek spinu. Dzięki wolnozmiennemu (adiabaticznemu), spiralnemu polu magnetycznemu, które pochodzi od mikromagnesów wykonanych z dysprozu, spin elektronów poruszających się w półprzewodniku pozostaje ściśle określony podczas ruchu, a opór źródło-dren tranzystora jest mały, co pokazuje wskazówka miernika-omomierza. Przyłożenie zewnętrznego pola magnetycznego o wartości B powoduje powstawanie miejsc skompensowanego pola, gdzie następuje gwałtowna zmiana kierunku spinu, prowadząca do częściowego odbijania wstecznego poruszających się elektronów i w efekcie do wzrostu oporu przyrządu (co widać na omomierzu). (Źródło: IF PAN)