

Warszawa, 27 stycznia 2014

Solotronika: Nowe kropki kwantowe zwiastują elektronikę operującą pojedynczymi atomami

Struktury solotroniczne nowego typu, w tym pierwsze na świecie kropki kwantowe z pojedynczymi jonami kobaltu, wytworzono i zbadano na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Materiały i pierwiastki użyte do budowy tych struktur pozwalają wskazać nowe kierunki rozwoju solotroniki – ekstremalnej elektroniki i spintroniki przyszłości, działającej dzięki operacjom przeprowadzanym na pojedynczych atomach.

Układy elektroniczne operujące na poszczególnych atomach wydają się naturalną konsekwencją postępującej miniaturyzacji. Zachowanie pojedynczych atomów można kontrolować już dziś, umieszczając je w specjalnych strukturach półprzewodnikowych. Tak powstają m.in. kropki kwantowe z pojedynczymi jonami magnetycznymi. W światowych laboratoriach były one znane tylko w dwóch odmianach. Fizykom z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) udało się jednak wytworzyć i przebadать dwa nowe rodzaje tych struktur. Materiały i pierwiastki użyte do ich budowy pozwalają przypuszczać, że w przyszłości sprzęt solotroniczny ma szansę się upowszechnić.

Publikacja wskazująca kierunki rozwoju solotroniki, przygotowana przez fizyków z FUW, właśnie trafiła na łamy prestiżowego czasopisma naukowego „Nature Communications”.

„Kropki kwantowe, czyli półprzewodnikowe kryształy rozmiarów miliardowych części metra, są tak małe, że elektrony w ich wnętrzach przebywają tylko w stanach o określonych energiach. Kropka ma więc podobne cechy co atom – i podobnie jak atom, można ją pobudzać światłem do wyższych stanów energetycznych, by potem obserwować świecenie towarzyszące powrotom do stanów o mniejszych energiach”, opisuje prof. dr hab. Piotr Kossacki (FUW).

W laboratoriach FUW kropki kwantowe wytwarza się za pomocą epitaksji z wiązek molekularnych. Proces polega na precyzyjnym podgrzewaniu tygli z pierwiastkami umieszczonymi w komorze próżniowej. Pary pierwiastków osadzają się na próbce. Odpowiednio dobierając materiały i warunki można spowodować, że osadzające się atomy zbiorą się w niewielkie skupiska – kropki kwantowe. W podobny sposób skraplająca się para wodna tworzy kropelki na hydrofobowych podłożach.

Gdy podczas osadzania kropek kwantowych do komory próżniowej wprowadzi się niewielką liczbę innych atomów, np. magnetycznych, część z nich wbuduje się w powstające układy. Po wyjęciu próbki można wtedy pod mikroskopem wyszukać te kropki kwantowe, w których jest dokładnie jeden atom magnetyczny, na dodatek umieszczony centralnie.

„Atom o własnościach magnetycznych zaburza stany energetyczne elektronów kropki kwantowej, co wpływa na sposób jej oddziaływania ze światłem. Kropka kwantowa staje się wtedy detektorem stanów takiego atomu. Zależność funkcjonuje też w drugą stronę: zmieniając stany energetyczne elektronów w kropce kwantowej można wpływać na atom magnetyczny”, wyjaśnia Michał Papaj, student FUW, który za pracę nad budową kropek kwantowych z pojedynczymi jonami kobaltu otrzymał w 2013 roku Złoty Medal Chemii w ogólnopolskim konkursie Instytutu Chemii Fizycznej PAN na najlepszą pracę licencjacką.

Najsilniejsze własności magnetyczne mają atomy manganu pozbawione dwóch elektronów (Mn^{2+}). Dotąd osadzano je w kropkach kwantowych z tellurku kadmu (CdTe) lub arsenku indu. Korzystając z kropek CdTe przygotowanych przez dr. Piotra Wojnara w Instytucie Fizyki PAN, w 2009 roku Mateusz Goryca z FUW zademonstrował pierwszą pamięć magnetyczną działającą na jednym jonie magnetycznym.

„Powszechnie wierzono, że inne jony magnetyczne, takie jak kobalt Co^{2+} , nie mogą być wykorzystywane w kropkach kwantowych. Mimo niekorzystnych przewidywań postanowiliśmy to sprawdzić. I tu przyroda mile nas zaskoczyła: obecność nowego jonu magnetycznego nie zepsuła własności kropki kwantowej”, mówi doktorant Jakub Kobak (FUW).

Badacze z FUW zaprezentowali dwa nowe systemy z pojedynczymi jonami magnetycznymi: kropki kwantowe z tellurku kadmu z atomem kobaltu oraz kropki z selenku kadmu z atomem manganu.

Jony manganu charakteryzują się najsilniejszymi własnościami magnetycznymi. Niestety, oprócz elektronów w atomie wkład do tych własności wnosi także samo jądro atomowe. W konsekwencji kropka kwantowa z jonom manganu jest skomplikowanym układem kwantowym. Odkrycie fizyków z FUW dowodzi, że jako jony magnetyczne mogą się sprawdzić także inne pierwiastki magnetyczne, np. chrom, żelazo czy nikiel. Są one pozbawione spinu jądrowego, co oznacza, że kropki kwantowe z ich udziałem powinny być prostsze do kontrolowania.

W kropce kwantowej, w której zamiast telluru zastosowano lżejszy selen, zaobserwowano z kolei wydłużenie o rząd wielkości czasu pamiętania zapisanej informacji. Wynik ten pozwala wnioskować, że użycie lżejszych pierwiastków może wydłużyć czas przechowywania informacji przez kropki kwantowe z pojedynczymi jonami magnetycznymi – być może nawet o kilka rzędów wielkości.

„Pokazaliśmy, że dwa układy kwantowe, o których sądzono, że nie powinny działać, w rzeczywistości działają bardzo dobrze. Otwieramy w ten sposób szerokie pole do poszukiwań innych, dotychczas odrzucanych kombinacji materiałów na kropki kwantowe i jony magnetyczne”, podsumowuje dr Wojciech Pacuski (FUW).

Badania nad kropkami kwantowymi z pojedynczymi jonami magnetycznymi zrealizowano dzięki grantom Narodowego Centrum Nauki i Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz środkom projektu Centrum Badań Przedklinicznych i Technologii (CePT).

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest niemal 80 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 140 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Designing quantum dots for solotronics”; J. Kobak, T. Smoleński, M. Goryca, M. Papaj, K. Gietka, A. Bogucki, M. Koperski, J.-G. Rousset, J. Suffczyński, E. Janik, M. Nawrocki, A. Golnik, P. Kossacki & W. Pacuski; Nature Communications 5:3191, 27 January 2014; DOI: 10.1038/ncomms4191

KONTAKTY:

prof. dr hab. **Piotr Kossacki**
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532217, +48 22 5503232
email: piotr.kossacki@fuw.edu.pl

dr **Wojciech Pacuski**
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532217, +48 22 5532329
email: wojciech.pacuski@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW140127b_fot01s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2014/FUW140127b_fot01.jpg
Przekrój kropek kwantowych opracowanych, skonstruowanych i przetestowanych w Instytucie Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Kolorem czerwonym oznaczono jon (kobaltu lub manganu) o własnościach magnetycznych (symbolizowanych przez strzałkę). Kolor żółty reprezentuje kropkę kwantową (odpowiednio z tellurku kadmu lub selenku kadmu). Na niebiesko wyróżniono warstwę półprzewodnika zabezpieczającą kropkę kwantową. (Źródło: FUW)

FUW140127b_fot02s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2014/FUW140127b_fot02.jpg
W Instytucie Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego opracowano, skonstruowano i przetestowano nowatorskie kropki kwantowe z pojedynczymi jonami kobaltu. Na zdjęciu dr Wojciech Pacuski przy aparaturze do epitaksji z wiązek molekularnych użytej do budowy kropek kwantowych. (Źródło: FUW)