

„Kwantowe echo w komputerze przyszłości”

Możliwość przechowywania informacji zakodowanej optycznie, w postaci impulsu światła, jest niezmiernie atrakcyjna dla dalszego rozwoju ultraszybkich komputerów i telekomunikacji kwantowej. Dostępne obecnie nośniki informacji nie zapewniają tak dużych szybkości przetwarzania ani nanometrowej skali integracji jaka może zapewnić wykorzystanie kodowania optycznego. Zapamiętywanie, szybki zapis i odczyt informacji optycznej jest jednak bardzo trudno zrealizować w praktyce. Przyczyną tego stanu rzeczy są kwantowo-mechaniczne własności fizyczne światła jak i materii oddziaływującej ze światłem która mogłaby być potencjalnie użyta jako nośnik pamięci.

Dotychczas, jednym z podstawowych problemów optoelektroniki kwantowej był bardzo krótki czas życia (przechowywania informacji) stanów kwantowych w półprzewodnikowych strukturach kwantowych wykorzystywanych jako bardzo szybki i energooszczędny układ zapisu informacji. Dzięki pracy m. innymi polskich fizyków ten czas udało się ostatnio przedłużyć ponad tysiąc razy. Wyniki dokumentujące to rekordowe osiągnięcie przedstawiono w pracy opublikowanej w prestiżowym czasopiśmie Nature Photonics [1].

Międzynarodowy zespół badawczy, w skład którego wchodził naukowcy z Instytutu Fizyki PAN, zaprezentował nową, unikalną metodę przechowywania informacji. Wykorzystano w tym celu stymulowane echo fotonowe, zjawisko fizyczne, w którym informacja zawarta w polu optycznym (impulsie światła) przekazywana jest do systemu spinów elektronów struktury półprzewodnikowej – studni kwantowej, a po jakimś czasie ponownie wypromieniowana w postaci impulsu światła będącego kopią (pod względem intensywności, koherencji optycznej i fazy) oryginalnego impulsu świetlnego - „echa”. Informacja w postaci kwantowego wzbudzenia układu spinów, odizolowanego od optycznego pola próżni, mogła w tym stanie przetrwać znacznie dłużej niż samo wzbudzenie optyczne.

Układem „przechowującym” informacje jest system spinów gazu elektronowego w studni kwantowej. Takie specjalne, ultra wysokiej jakości studnie kwantowe zostały wyhodowane z półprzewodnika – tellurku kadmu metodą epitaksji z wiązek molekularnych w Środowiskowym Laboratorium Fizyki i Wzrostu Kryształów Niskowymiarowych – SL3, Instytutu Fizyki PAN. Wykorzystując subtelne zjawisko echa fotonowego z użyciem przejść trionowych (triony to naładowane kompleksy trzycząstkowe, w tym przypadku składające się z dwóch elektronów i jednej dziury) w studniach kwantowych w polu magnetycznym autorzy zademonstrowali, że czas przechowywania informacji optycznej w nowego typu pamięci spintronicznej może być wydłużony o ponad trzy rzędy wielkości, z zakresu pikosekundowego do zakresu dziesiątek nanosekund.

Stanowi to istotny krok na drodze do uzyskania wydajnego i długoczasowego przechowywania informacji optycznej, tym samym stanowi model nowego typu spintronicznej pamięci optycznej. Członkowie zespołu badawczego, profesorowie Grzegorz Karczewski i Tomasz Wojtowicz podkreślają, iż obecnie ta sama grupa naukowców z Dortmundu, St. Petersburga i Warszawy pracuje nad dalszym wydłużeniem czasu przechowywania informacji optycznej z wykorzystaniem spinów elektronowych, ale już nie w obiektach dwuwymiarowych, lecz w zawierających elektrony obiektach zero-wymiarowych, w tzw. kropkach kwantowych z CdTe i CdSe, wytwarzanych w Laboratorium SL3 IF PAN metodą epitaksji molekularnej.

Warto wspomnieć, że technologia tego typu struktur kwantowych o ultra-wysokiej ruchliwości dwuwymiarowego gazu elektronowego, szczególnie tych, które zawierają magnetyczne jony Mn^{2+} , co prowadzi do silnego wzmocnienia oddziaływań spinowych, jest intensywnie rozwijana w Laboratorium, m.in. w ramach obecnie realizowanego projektu badawczego Maestro z Narodowego Centrum Nauki, kierowanego przez profesora Wojtowicza (DEC-2012/06/A/ST3/00247). Jak podkreśla kierownik projektu, ta unikalna w skali światowej technologia już wcześniej umożliwiła zademonstrowanie szeregu nowych

zjawisk z dziedziny spintroniki: nowego typu tranzystora spinowego [2], indukowanej promieniowaniem THz generacji czystych prądów spinowych [3], czy wreszcie nowej metody generacji koherentnych impulsów promieniowania THz o przestrajalnej częstotliwości [4].

[1] "Access to long-term optical memories using photon echoes retrieved from semiconductor spins", L. Langer, S. V. Poltavtsev, I. A. Yugova, M. Salewski, D. R. Yakovlev, G. Karczewski, T. Wojtowicz, I. A. Akimov, and M. Bayer, *Nat. Photon.* **8**, 851 (2014).

[2] "Spin-transistor action via tunable Landau-Zener transitions", C. Betthausen, T. Dollinger, H. Saarikoski, V. Kolkovsky, G. Karczewski, T. Wojtowicz, K. Richter, and D. Weiss, *Science* **337**, 324 (2012); <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news,391034,komputery-kwantowe-coraz-blizej.html>; <http://info.ifpan.edu.pl/press/news/12/07/IFPAN120719.html>.

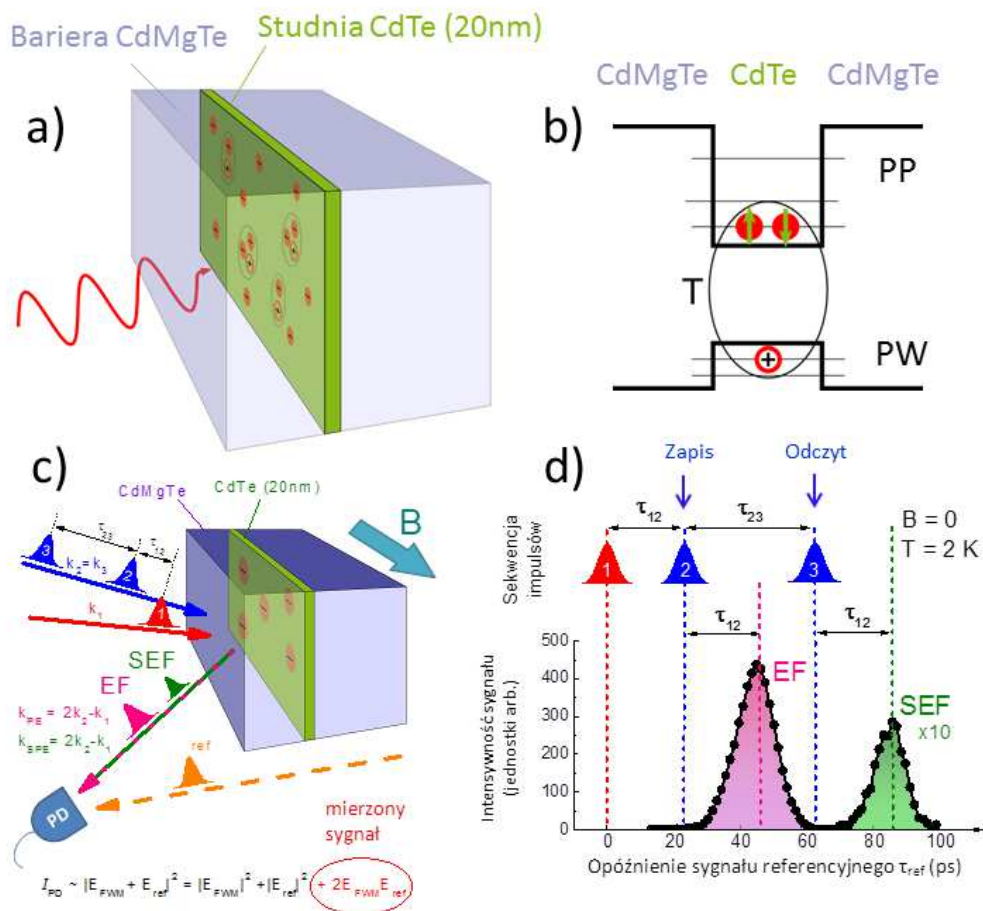
[3] "Spin currents in diluted magnetic semiconductors", S. D. Ganichev, S. A. Tarasenko, V. V. Bel'kov, P. Olbrich, W. Eder, D. R. Yakovlev, V. Kolkovsky, W. Zaleszczyk, G. Karczewski, T. Wojtowicz, and D. Weiss, *Phys. Rev. Lett.* **102**, 156602 (2009).

[4] "Terahertz radiation from magnetic excitations in diluted magnetic semiconductors", R. Rungsawang, F. Perez, D. Oustinov, J. Gómez, V. Kolkovsky, G. Karczewski, T. Wojtowicz, J. Madéo, N. Jukam, S. Dhillon, and J. Tignon, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 177203 (2013); <http://www.naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news,395358,diagnostyka-medyczna-czy-wykrywanie-broni-dzieki-terahercom.html>; <http://info.ifpan.edu.pl/press/news/13/05/IFPAN130513.html>

KONTAKTY DO NAUKOWCÓW:

prof. dr hab. Grzegorz Karczewski
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
tel. +48 22 1162541, +48 22 8431331
email: karcz@ifpan.edu.pl

prof. dr hab. Tomasz Wojtowicz
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
tel. +48 22 1163123, +48 22 8431331
oraz aktualnie:
Department of Physics and Astronomy, Purdue University,
525 Northwestern Avenue, West Lafayette, IN 47907-2036
tel. +01 765 5883415
email: wojto@ifpan.edu.pl



Rys. 1. a) Schematycznie przedstawiona studnia kwantowa CdTe z barierami CdMgTe zawierająca dwuwymiarowy gaz elektronowy zaraz po rezonansowym wzbudzeniu optycznym kreującym wewnątrz niej triony (oznaczone symbolicznie jako kółeczka zawierające dwie czerwone kropki – elektrony i jedną dziurę – oznaczoną znakiem plus); b) ułożenie pasm przewodnictwa (PP) oraz pasm walencyjnych (PW) w strukturze tejże studni z zaznaczonymi poziomami kwantowymi oraz pojedynczym trionem T; c) schemat układu zapisu i odczytu informacji optycznej w studni kwantowej wraz zaznaczonym kierunkiem pola magnetycznego B oraz kierunkami padania wiązek impulsów optycznych: zapamiętywanego (1), zapisu (2), odczytu (3), echa fotonowego (EF) oraz stymulowanego echa fotonowego (SEF); d) czasowa sekwencja impulsów oraz przykład eksperymentalnie obserwowanego echa fotonowego oraz krótko-życiowego echa stymulowanego przed włączeniem pola magnetycznego umożliwiającego zapis informacji w systemie spinów (Rysunek zaadoptowany z [arXiv:1401.3377](https://arxiv.org/abs/1401.3377)).