



Kraków, 12 grudnia 2018

## **Gdy ciepło przestaje być zagadką, spintronika staje się realniejsza**

*Rozwój spintroniki zależy od materiałów gwarantujących kontrolę nad przepływem prądów spolaryzowanych magnetycznie. Trudno jednak mówić o kontroli, gdy nieznane są szczegóły transportu ciepła przez złącza między materiałami. Ciepłna luka w naszej wiedzy została właśnie wypełniona dzięki polsko-niemieckiemu zespołowi fizyków, który po raz pierwszy dokładnie opisał zjawiska dynamiczne zachodzące na złączu między ferromagnetykiem a półprzewodnikiem.*

Spintronika to następczyni wszechobecnej elektroniki. W urządzeniach spintronicznych prądy elektryczne próbuje się zastępować prądami spinowymi. Obiecującym materiałem dla tego typu zastosowań wydaje się być złącze arsenku galu z krzemianem żelaza: na każde cztery elektrony przepływające przez złącze aż trzy niosą tu informację o kierunku momentu magnetycznego. Do tej pory niewiele było jednak wiadomo, jak zmieniają się właściwości dynamiczne złącza, decydujące o przepływie ciepła. Połączenie sił Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie, Instytutu Technologicznego w Karlsruhe (KIT), Instytutu Paula Drudego w Berlinie i ośrodka badawczego DESY w Hamburgu pozwoliło tę zagadkę wreszcie rozwiązać.

„Układy z krzemianu żelaza  $Fe_3Si$  i arsenku galu GaAs są szczególne. Oba materiały znacznie różnią się właściwościami: pierwszy jest bardzo dobrym ferromagnetykiem, drugi to półprzewodnik. Natomiast stałe sieci, czyli charakterystyczne odległości między atomami, w obu materiałach różnią się zaledwie o 0,2%, są więc niemal identyczne. W rezultacie materiały te świetnie się łączą, a na złączach nie ma defektów ani znaczących naprężeń”, mówi dr hab. Przemysław Piekarczyk (IFJ PAN).

Grupa skoncentrowała się na przygotowaniu teoretycznego modelu drgań sieci krystalicznych w badanym złączu. Istotną rolę odegrało tu oprogramowanie PHONON, stworzone i od ponad 20 lat rozwijane przez prof. dr hab. Krzysztofa Parlińskiego (IFJ PAN). W oparciu o podstawowe prawa mechaniki kwantowej wyliczane są tu siły oddziaływań między atomami, co pozwala rozwiązywać równania opisujące ruch atomów w sieciach krystalicznych.

Dr hab. Małgorzata Sternik (IFJ PAN), która wykonała większość obliczeń, wyjaśnia: „W naszym modelu podłożem jest arsenek galu, którego najbardziej zewnętrzna warstwa składa się z atomów arsenu. Nad nią znajdują się naprzemiennie ułożone warstwy z atomami żelaza i krzemu oraz samego żelaza. Drgania atomowe wyglądają inaczej dla litego kryształu, a inaczej w pobliżu interfejsu. Dlatego badaliśmy, jak zmienia się widmo drgań w zależności od odległości od interfejsu”.

Dynamika atomów w kryształach nie jest przypadkowa. Materiały te charakteryzują się dużym uporządkowaniem. W efekcie ruch atomów nie jest tu chaotyczny, lecz podlega pewnym, niekiedy

bardzo złożonym wzorcom. Za transport ciepła odpowiadają głównie fale akustyczne poprzeczne. Oznacza to, że przy analizie dynamiki sieci badacze musieli ze szczególną uwagą przyglądać się drganiom atomowym zachodzącym w płaszczyźnie równoległej do złącza. Gdyby fale drgań atomów w obu materiałach były do siebie dopasowane, ciepło efektywnie przepływałoby przez złącze.

Próbki materiałów Ge/Fe<sub>3</sub>Si/GaAs, zawierające różną liczbę monowarstw krzemianu żelaza (3, 6, 8 oraz 36), zostały przygotowane w Instytucie Paula Drudego przez Jochena Kalta, doktoranta w Instytucie Technologicznym w Karlsruhe. Same doświadczenia zrealizowano w synchrotronie Petra III, na linii pomiarowej Dynamics Beamline P01 w ośrodku DESY.

„Pomiar widma drgań atomowych w ultracienkich warstwach jest wielkim wyzwaniem dla fizyków ciała stałego”, mówi kierujący eksperymentem dr Svetoslav Stankov (KIT) i dodaje: „Dzięki wyjątkowym własnościom promieniowania synchrotronowego, potrafimy obecnie za pomocą nieelastycznego rozpraszania jądrowego wyznaczać z dużą rozdzielczością widmo drgań atomowych w nanostrukturach. W naszych pomiarach wiązka promieniowania synchrotronowego padała na złącze w kierunku praktycznie równoległym do jego powierzchni. Takie ustawienie gwarantowało możliwość obserwacji drgań atomowych zachodzących równoległe do złącza. Co więcej, jest to pomiar selektywny dla atomów żelaza, bez zaburzenia pochodzącego od tła”.

Okazało się, że mimo podobieństw struktury krystalicznej obu materiałów, drgania atomów w pobliżu interfejsu znacznie różnią się od tych w litym materiale. Obliczenia z pierwszych zasad doskonale pokryły się z wynikami eksperymentalnymi, odtwarzając nowe cechy w widmach drgań atomów.

„Niemal doskonała zgodność teorii z eksperymentem otwiera drogę do nanoinżynierii fononowej, która może doprowadzić do powstania bardziej wydajnych urządzeń termoelektrycznych i efektywnego zarządzania przepływem ciepła”, podsumowuje dr Stankov.

Złącze Fe<sub>3</sub>Si/GaAs okazało się doskonałym układem do badania własności dynamicznych i spintronicznych. W przyszłości zespół naukowców, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (2017/25/B/ST3/02586), Helmholtz Association (HGF, VH-NG-625) i German Ministry for Research and Education (BMBF, 05K16VK4), zamierza rozszerzyć zakres badań interfejsu w celu dokładnego poznania jego własności elektronowych i magnetycznych.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W klasyfikacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

#### **KONTAKT:**

dr hab. **Przemysław Piekarz**  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
tel: +48 12 6628281  
email: [piekarz@wolf.ifj.edu.pl](mailto:piekarz@wolf.ifj.edu.pl)

#### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

1. „Lattice dynamics of epitaxial strain-free interfaces”  
J. Kalt, M. Sternik, I. Sergueev, J. Herfort, B. Jenichen, H.-C. Wille, O. Sikora, P. Piekarz, K. Parlinski, T. Baumbach, S. Stankov  
Physical Review B 98, 121409(R)  
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.121409>

## **POWIĄZANE STRONY WWW:**

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

Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

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

Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

## **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

**IFJ181212b\_fot01s.jpg**

**HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2018/12/12/IFJ181212b\\_fot01.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2018/12/12/IFJ181212b_fot01.jpg)

Zdjęcie mikroskopowe próbki z łączem arsenku galu GaAs i krzemianu żelaza Fe<sub>3</sub>Si. Podłoże GaAs w kolorze zielonym, warstwy Fe<sub>3</sub>Si w żółtym, kolorem brązowym oznaczono ochronną warstwę germanu. (Źródło: IFJ PAN)

**IFJ181212b\_fot02s.jpg**

**HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2018/12/12/IFJ181212b\\_fot02.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2018/12/12/IFJ181212b_fot02.jpg)

Model interfejsu GaAs/Fe<sub>3</sub>Si. Atomy arsenu oznaczone kolorem pomarańczowym, galu – zielonym, krzemu – czerwonym, żelaza – niebieskim. (Źródło: IFJ PAN)