



Warszawa, 13 maja 2013

## **Promieniowanie terahercowe: powstał nowy rodzaj źródła promieniowania, owoc polskiej i francuskiej technologii**

Promieniowanie terahercowe, nazywane także promieniowaniem elektromagnetycznym w zakresie dalekiej podczerwieni jest wykorzystywane, poza badaniami naukowymi, w diagnostyce medycznej, analizie zanieczyszczeń środowiska i systemach bezpieczeństwa, do detekcji ukrytej broni, czy kontroli zawartości podejrzanych przesyłek. Fale elektromagnetyczne w tym zakresie widma, (ok.  $10^{12}$  Hz) są silnie tłumione w substancjach przewodzących prąd elektryczny, takich jak metale, oraz w wodzie i w elektrolitach, natomiast są bardzo słabo tłumione w dielektrykach, takich jak „suche” tkanki, tłuszcze, tworzywa sztuczne, zębina, kości, papier czy też odzież. Terahercowy obszar częstotliwości jest szczególnie atrakcyjny dla obrazowania dla potrzeb medycyny i biologii, ponieważ promieniowanie z tego zakresu nie jonizuje materii, a tym samym jest bezpieczne dla organizmów żywych. Może w związku z tym być wykorzystywane na przykład w dermatologii do bezinwazyjnego obrazowania struktury ewentualnych zmian głębszych warstw skóry ludzkiej, zwłaszcza po rozległych oparzeniach i przy podejrzeniach zmian patologicznych, czy w stomatologii, zastępując nieobojętą dla zdrowia rentgenoskopię. Promieniowanie terahercowe wykorzystywane jest także do kontroli jakości zapakowanej żywności, do detekcji ukrytej pod ubraniem broni, czy analizy zawartości chemicznej zaklejonych kopert. Głównym problemem w rozpowszechnieniu technik opartych na promieniowaniu terahercowym były dotychczasowe trudności w uzyskaniu silnych szerokopasmowych źródeł tego promieniowania i niedrogich, czułych detektorów. Stworzenie nowego, przestrajalnego półprzewodnikowego źródła promieniowania terahercowego, będącego milowym krokiem na drodze do upowszechnienia zastosowań promieniowania terahercowego ogłosiła właśnie polsko-francuska grupa fizyków.

W artykule opublikowanym ostatnio w *Physical Review Letters*, który jest wynikiem współpracy naukowców z Instytutu Fizyki PAN z dwiema grupami z Paryża: z Laboratoire Pierre Aigrain, Ecole Normale Supérieure oraz z Institut des Nanosciences de Paris, autorzy pokazali, że modulacyjnie domieszkowane studnie kwantowe zbudowane z rozcieńczonych półprzewodników magnetycznych (w pracy zastosowano związek kadmu, manganu i telluru: CdMnTe) mogą być efektywnymi źródłami promieniowania elektromagnetycznego dalekiej podczerwieni, o częstotliwościach w zakresie teraherców ( $10^{12}$  Hz). Ogromną zaletą źródeł terahercowych zbudowanych z rozcieńczonych półprzewodników magnetycznych jest ich przestrajalność. Energia emitowanego promieniowania może być łatwo zmieniana zewnętrznym, stosunkowo niewielkim i

łatwym do uzyskania polem magnetycznym. Studnie kwantowe wykorzystane w badaniach wykonane zostały w Instytucie Fizyki PAN metodą tzw. epitaksji z wiązek molekularnych, która pozwala na nakładanie warstw różnych półprzewodników z dokładnością sięgającą ułamka pojedynczej warstwy atomowej. Nanostruktury źródeł promieniowania terahercowego zbudowane były z 20 tak zwanych „studni kwantowych” z CdMnTe, każda o grubości 62 warstw atomowych, otoczonych barierami innego półprzewodnika, zawierającego kadm, magnez i tellur: CdMgTe. W każdej studni znajdował się zlokalizowany w dwóch wymiarach gaz elektronów o koncentracji  $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ , wytworzony intencjonalnie poprzez domieszkowanie barier studni atomami jodu. W związkach chemicznych, półprzewodnikach utworzonych z pierwiastków drugiej i szóstej grupy układu okresowego: II-VI takie atomy spełniają rolę donorów czyli źródeł elektronów. Wytworzenie tych struktur było wyjątkowym wyzwaniem dla technologii, ponieważ wszystkie studnie musiały być dokładnie takie same, co jest znacznie trudniejsze niż wytworzenie struktur z pojedynczymi studniami kwantowymi, takich jak np. użyte uprzednio do demonstracji działania nowego typu tranzystora spinowego (Science **337**, 324 (2012); <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news.391034,komputery-quantowe-coraz-blizej.html>).

Promieniowanie terahercowe z takiej struktury wielostudni kwantowych otrzymywane jest poprzez umieszczenie struktury w niskiej temperaturze, w zewnętrznym polu magnetycznym i oświetlenie jej ultra-krótkim (o czasie trwania rzędu femtosekund) impulsem świetlnym o częstotliwości promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni. Energia fotonów impulsu jest idealnie dopasowana do energii przejść międzypasmowych pomiędzy skwantowanymi stanami elektronów w studni i dlatego właśnie wszystkie studnie muszą być identyczne. Dzięki temu dopasowaniu energetycznemu femtosekundowy impuls światła bardzo efektywnie pobudza, poprzez tak zwany rezonansowy mechanizm rozpraszania Ramana, fale spinowe czyli oscylacje sprzężonych momentów magnetycznych elektronów oraz momentów magnetycznych jonów manganu znajdujących się w studni kwantowej. Fale te zanikają w czasie kilku pikosekund po ustaniu impulsu pobudzającego emitując promieniowanie terahercowe. Ważną cechą promieniowania emitowanego przez fale spinowe jest jego koherencja, istotna ze względu na zastosowania takiego źródła światła.

Warto też wspomnieć, że już wcześniej naukowcy z IF PAN we współpracy z Uniwersytetem w Razyzbonie wykazali także potencjał struktur studni kwantowych CdMnTe z gazem dwuwymiarowych elektronów do czułej detekcji promieniowania terahercowego (Phys. Rev. Lett. **102**, 156602 (2009)). Oba te odkrycia torują drogę do potencjalnych zastosowań tego typu nanostruktur z rozcieńczonych półprzewodników magnetycznych w obszarze teraherców, w szczególności dla biologii i medycyny. Aspekt aplikacyjny opublikowanych ostatnio badań był dlatego też współfinansowany poprzez projekt „Kwantowe nanostruktury półprzewodnikowe do zastosowań w biologii i medycynie” (POIG.01.01.02-00-008/08) realizowany przez Instytut Fizyki PAN w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

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:**

R. Rungsawang, F. Perez, D. Oustinov, J. Gómez, V. Kolkovsky, G. Karczewski, T. Wojtowicz, J. Madéo, N. Jukam, S. Dhillon, and J. Tignon, „Terahertz Radiation from Magnetic Excitations in Diluted Magnetic Semiconductors”, Phys. Rev. Lett. 110, 177203 (2013)

<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v110/i17/e177203> (pełny tekst dla prenumeratorów).

#### **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. **Grzegorz Karczewski**  
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk  
tel. +48 22 8436601, w. 2541, 2551  
email: [karcz@ifpan.edu.pl](mailto:karcz@ifpan.edu.pl)

prof. dr hab. **Tomasz Wojtowicz**  
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk  
tel. +48 22 1163123, +48 22 8431331  
email: [wojto@ifpan.edu.pl](mailto:wojto@ifpan.edu.pl)

#### **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

IFPAN130513\_fot01.jpg

Rysunek ilustruje trajektorie w czasie momentów magnetycznych elektronów (krzywa czerwona) oraz momentów magnetycznych jonów manganu (krzywa zielona). Kierunek pola magnetycznego zaznaczono strzałką niebieską.

[http://press.ifpan.edu.pl/news/13/05/IFPAN130513\\_fot01.jpg](http://press.ifpan.edu.pl/news/13/05/IFPAN130513_fot01.jpg)

#### **TEKST W FORMACIE PDF:**

[http://press.ifpan.edu.pl/news/13/05/IFPAN130513-Promienie\\_terahercowe.pdf](http://press.ifpan.edu.pl/news/13/05/IFPAN130513-Promienie_terahercowe.pdf)

#### **POWIĄZANE STRONY WWW:**

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

Strona konsorcjum NANOBIOIM, 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.