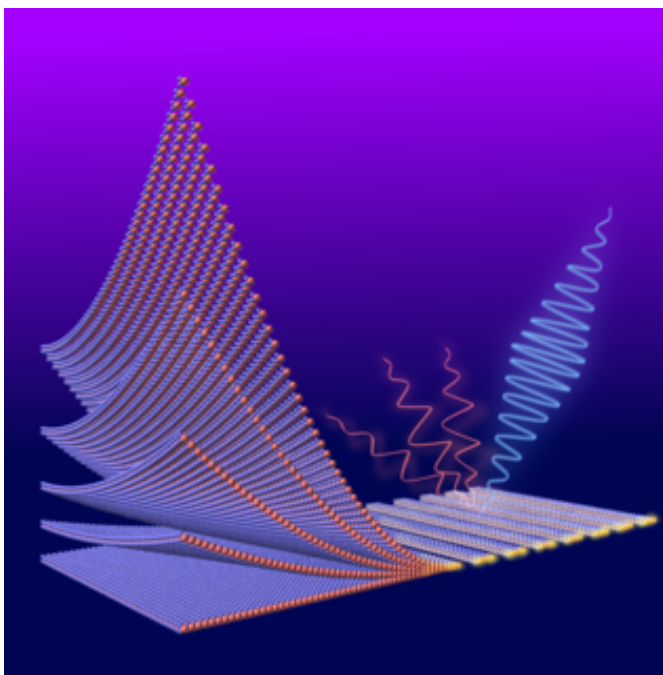


# Światło uwięzione w warstwie tysiące razy cieńszej niż kartka papieru

2026-03-19

*Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego we współpracy z grupami badawczymi z Politechniki Łódzkiej, Politechniki Warszawskiej i Polskiej Akademii Nauk opracowali strukturę, która więzi światło podczerwone w warstwie o grubości zaledwie 40 nanometrów. Aby to uzyskać, wytworzyli strukturę nazywaną siatką podfalową stosując do tego specjalny materiał – dwuselenek molibdenu ( $\text{MoSe}_2$ ). Swoje wyniki opublikowali w prestiżowym czasopiśmie „ACS Nano”.*



Artystyczna wizja siatki podfalowej z warstwowego dwuselenku molibdenu - czerwone kulki symbolizują atomy molibdenu a niebieskie – atomy selenu. Światło zostaje uwięzione w siatce i wzmacnia to generację światła o potrojonej częstotliwości. (Źródło: E. Pruszyńska-Karbownik, Wydział Fizyki UW).

Kontrola światła w mikro- i nanoskali stwarza szanse dla lepszego rozumienia świata i rozwoju technologii. Gdy współczesna elektronika zbliża się do granic swoich możliwości, do gry wchodzi fotonika. Zamiast manipulować stosunkowo ciężkimi i powolnymi elektronami, możemy do kodowania

informacji użyć lekkich i szybkich fotonów. Da to możliwość uzyskania urządzeń, które będą nie tylko szybsze, ale i jeszcze mniejsze niż stosowane obecnie.

Jest tylko jeden problem – światło jest nie tylko cząstką, ale również falą. Falą, która ma swoją długość. Dla światła widzialnego długość fali, czyli odległość między jej kolejnymi „górkami”, to kilkaset nanometrów. Dla podczerwieni jest to mikrometr lub więcej. Czy zatem nie będzie to przeszkodą w miniaturyzacji układów fotonicznych? Czy da się uwięzić światło w strukturze, która jest mniejsza niż te kilkaset nanometrów?

Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego we współpracy z grupami badawczymi z Politechniki Łódzkiej, Politechniki Warszawskiej i Polskiej Akademii Nauk znaleźli na to sposób, a swoje wyniki opublikowali w prestiżowym czasopiśmie „ACS Nano”. Opracowali strukturę, która więzi światło podczerwone w warstwie o grubości zaledwie 40 nanometrów. Aby to uzyskać, wytworzyli strukturę nazywaną siatką podfalową stosując do tego specjalny materiał – dwuselenek molibdenu ( $\text{MoSe}_2$ ).

Czym jest siatka podfalowa? To rodzaj siatki dyfrakcyjnej, czyli układu równoległych do siebie pasków materiału, które uginają i rozszczepiają światło podobnie jak pryzmat. Jeżeli zbliżymy te paski do siebie na odległość mniejszą niż długość fali, to siatka może działać jak doskonałe lustro. Co więcej, może też zwięzać światło w swojej maleńkiej objętości.

Dotychczas wykonywane siatki podfalowe z takich materiałów jak krzem, arsenek galu, czy azotek galu miały grubości rzędu kilkuset nanometrów. Jeśli by były cieńsze, światło nie byłoby już dobrze wiązane. Dlatego w tym przypadku zdecydowano się na użycie innego materiału, o dużo większym współczynniku załamania światła, niż dotąd używane w fotonice. Innymi słowy takiego, w którym światło porusza się z mniejszą prędkością niż w innych substancjach. Idealnym materiałem do tego celu okazał się dwuselenek molibdenu. Podczas gdy światło wchodząc z powietrza do szkła zwalnia około półtora raza, do krzemu lub arsenku – około 3,5 raza, to dla  $\text{MoSe}_2$  ta wartość to 4,5. Dzięki temu udało się zmniejszyć grubość siatki do kilkudziesięciu nanometrów. To struktura ponad tysiąc razy cieńsza od ludzkiego włosa.

Dwuselenek molibdenu jest obiecującym materiałem nie tylko ze względu na swoje zdolności załamania światła. Jest to materiał warstwowy, tak jak grafen. Jednak, w odróżnieniu od grafenu, jest półprzewodnikiem. Wykazuje też tak zwane własności nieliniowe, w tym generację światła o potrójnej częstotliwości. Oznacza to, że część światła, które przez niego przechodzi, zmienia swoją częstotliwość i tym samym długość fali, czyli np. światło podczerwone staje się niebieskie. Dzieje się to w ten sposób, że trzy fotony podczerwone „łączą się” w jeden, którego długość fali odpowiada kolorowi niebieskiemu. Jak piszą autorzy pracy w „ACS Nano”, dzięki temu, że w siatce z  $\text{MoSe}_2$  światło podczerwone jest silnie zlokalizowane, ten efekt nieliniowy jest ponad półtora tysiąca razy silniejszy niż gdyby to zjawisko zachodziło w warstwie  $\text{MoSe}_2$  nieuformowanej w siatkę.

Warto dodać, że praca jest nowatorska nie tylko ze względu na uzyskane rekordowe osiągi tej struktury. Sam sposób wykonania warstwy  $\text{MoSe}_2$  jest innowacyjny. Dotychczas, aby uzyskać cienkie warstwy tego materiału wykorzystywano metodę eksfoliacji. Pod tą tajemniczą nazwą kryje się prosta metoda, wykorzystywana również przy wytwarzaniu warstw grafenowych. Polega ona na przyklejaniu zwykłej taśmy klejącej do dużego kryształu danego materiału, a następnie odklejanii jej wraz z warstwą grafenu lub  $\text{MoSe}_2$ . Ta metoda jest bardzo prosta i skuteczna, ale ma swoje wady. Jest nieco losowa i przez to słabo powtarzalna, a dodatkowo przy jej użyciu nie możemy uzyskać dużych powierzchni. Maksimum, które można osiągnąć, to powierzchnia rzędu dziesięciu mikrometrów kwadratowych. To za mało, żeby myśleć o praktycznych zastosowaniach takich jak fotoniczne układy scalone. Dlatego naukowcy z Wydziału Fizyki UW opracowali metodę wytwarzania warstw  $\text{MoSe}_2$  poprzez epitaksję z wiązek molekularnych. Jest to jedna z podstawowych metod wytwarzania warstw półprzewodników wykorzystywanych w elektronice, ale nie była dotychczas stosowana do materiałów takich jak  $\text{MoSe}_2$ . A

zysk z jej użycia okazał się ogromny. Warstwa, z której wytworzono siatki podfalowe, miała powierzchnię kilkudziesięciu centymetrów kwadratowych i jednolitą grubość na całej tej powierzchni. A przypomnijmy, że było to raptem 40 nanometrów, czyli stosunek grubości do każdego z pozostałych wymiarów był jak jeden do miliona. Dla porównania, te proporcje dla standardowej kartki papieru formatu A4 to tylko 1:2000.

Wyniki opublikowane przez polskich naukowców pokazują, że wytworzony w ten sposób dwuselenek molibdenu jest materiałem, który może zrewolucjonizować nasze podejście do manipulacji światłem. Już nie są potrzebne grube struktury, aby światło zatrzymywać i zmieniać. Wystarczy raptem kilkadziesiąt nanometrów. A jednocześnie, dzięki uporządkowanej metodzie wytwarzania warstw MoSe<sub>2</sub>, przemysłowe zastosowania są na wyciągnięcie ręki.

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektów OPUS 2020/39/B/ST7/03502 i 2021/41/B/ST3/04183, ze środków Unii Europejskiej w ramach grantu ERC-ADVANCED nr 101053716, Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w ramach projektu ENG.02.01-IP.05-T004/23 oraz przez Uniwersytet Warszawski w ramach projektu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawca (IDUB) Nowe Idee w Priorytetowych Obszarach Badawczych II nr 501-D111-20-2004310 pt. „Ultracienkie siatki podfalowe na bazie dichalkogenków”.

#### Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

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 Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1000 studentów i ok. 150 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 300 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

## PUBLIKACJA NAUKOWA:

Emilia Pruszyńska-Karbownik, Tomasz Fąs, Katarzyna Brańko, Dmitriy Yavorskiy, Bartłomiej Stonio, Rafał Bożek, Piotr Karbownik, Jerzy Wróbel, Tomasz Czystanowski, Tomasz Stefaniuk, Wojciech Pacuski, Jan Suffczyński, “Optical Bound States in the Continuum in Subwavelength Gratings Made of an Epitaxial van der Waals Material”, ACS Nano 2026 20 (9), 7426-7437  
<https://doi.org/10.1021/acsnano.5c12870>

#### KONTAKT:

dr inż. Emilia Pruszyńska-Karbownik  
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski  
[emilia.karbownik@fuw.edu.pl](mailto:emilia.karbownik@fuw.edu.pl)

#### POWIĄZANE STRONY WWW:

<https://www.fuw.edu.pl>  
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
<https://www.fuw.edu.pl/informacje-pracowne.html>  
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

#### MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW260319b\_fot01  
[https://www.fuw.edu.pl/files/press/images/2026/FUW260319b\\_fot01.png](https://www.fuw.edu.pl/files/press/images/2026/FUW260319b_fot01.png)  
Artystyczna wizja siatki podfalowej z warstwowego dwuselenku molibdenu - czerwone kulki symbolizują atomy molibdenu a niebieskie – atomy seleniu. Światło zostaje uwięzione w siatce i wzmacnia to generację światła o potrojonej częstotliwości. (Źródło: E. Pruszyńska-Karbownik, Wydział Fizyki UW).

 [FUW260319a - swiatlo\\_uwiezione\\_w\\_warstwie.pdf \(197.7 kB\)](#)

 [FUW260319b\\_fot01.png \(4.4 MB\)](#)

 [FUW260319b\\_fot01\\_s.png \(102.6 kB\)](#)