



Kraków, 31 sierpnia 2022

Mniej niewiadomych przy laserowej nanosyntezie kompozytów

Kompozytowe cząstki o rozmiarach submikronowych można wytwarzać oświetlając zawieszoną nanocząstek wiązką laserową. W trakcie naświetlania zachodzą gwałtowne procesy fizyczne i chemiczne, z których wiele pozostawało słabo poznanych. Zakończone niedawno eksperymenty, zrealizowane w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, bardzo dosłownie rzuciły nowe światło na część z dotychczasowych zagadek.

Gdy wiązka laserowa uderza w zawieszony w koloidzie aglomeraty nanocząstek, dzieją się rzeczy równie dramatyczne, co użyteczne. Ogromny wzrost temperatury prowadzi do stopienia nanocząstek w drobinę kompozytu. Cienka warstwa cieczy przy rozgrzanym materiale gwałtownie przekształca się w parę, w zmieniających się w ułamkach sekund warunkach fizycznych zachodzą całe ciągi reakcji chemicznych. Za pomocą przedstawionej tu metody, nazywanej topieniem laserowym, naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie nie tylko wytworzyli nowe nanokompozyty, ale również opisali część słabo rozumianych procesów odpowiedzialnych za ich powstawanie.

„Samo topienie laserowe, polegające na naświetlaniu drobin materiału w zawiesinie nieskupionym światłem laserowym, jest znane od lat. Stosuje się je głównie do wytwarzania materiałów jednorodnych. My, jako jeden z zaledwie dwóch zespołów badawczych na świecie, próbujemy używać tej techniki do wytwarzania kompozytowych cząstek submikronowych. W tym obszarze dziedzina dopiero raczkuje, wciąż wiele rzeczy pozostaje nieznanymi, stąd nasza radość z faktu, że pewne nurtujące nas zagadki udało się właśnie rozwikłać”, mówi dr hab. Żaneta Świątkowska-Warkocka, prof. IFJ PAN, współautorka artykułu naukowego właśnie opublikowanego przez znane czasopismo „Scientific Reports”.

Najpowszechniej stosowaną i jednocześnie najlepiej poznaną techniką syntezy nanomateriałów z użyciem światła laserowego jest ablacja laserowa: w cieczy zanurza się tarczę o rozmiarach makroskopowych, a następnie impulsowo oświetla się ją skupioną wiązką laserową. Pod wpływem uderzeń fotonów nanodrobiny materiału są wyrwane z tarczy i trafiają do cieczy, z której później można je dość łatwo odseparować.

W przypadku topienia laserowego materiałem wyjściowym są nanocząstki wcześniej rozproszony w całej objętości cieczy, gdzie formują się ich luźne aglomeraty. Używana do oświetlenia wiązka laserowa tym razem jest rozproszona, ale tak dobrana, by dostarczać energię w ilościach wystarczających do stopienia nanocząstek. Za pomocą topienia laserowego można wytwarzać materiały zbudowane z cząstek o rozmiarach od nanometrów do mikronów, o zróżnicowanej budowie chemicznej (czyste metale, ich tlenki i węgliki) oraz fizycznej (jednorodne, stopy, kompozyty), w tym trudne do wyprodukowania innymi technikami (np. stopy złoto-żelazo, złoto-kobalt, złoto-nikiel).

Rodzaj materiału formującego się podczas topienia laserowego zależy od wielu parametrów. Co oczywiste, istotny jest rozmiar i skład chemiczny wyjściowych nanocząstek, a także intensywność oraz efektywność i czas oddziaływania impulsów światła laserowego. Obecne modele teoretyczne

pozwalają naukowcom z IFJ PAN wstępnie planować proces wytwarzania nowych nanokompozytów, jednak w praktyce próby nie zawsze prowadziły do powstania takich materiałów, jakich oczekiwano. Najwyraźniej w grę wchodziły czynniki, których w modelach jeszcze nie uwzględniono.

Dr Mohammad Sadegh Shakeri, fizyk z IFJ PAN odpowiedzialny m.in. za opis teoretyczny oddziaływania nanodrobin ze światłem laserowym, tak przedstawia jeden z problemów:

„Zawieszane w cieczy aglomeraty luźno złączonych nanocząstek absorbują energię wiązki laserowej, rozgrzewają się powyżej temperatury topnienia i trwale się spajają, przy okazji ulegając mniejszym bądź większym przekształceniom chemicznym. Z naszych modeli teoretycznych wynika, że temperatura nanocząstek może w pewnych przypadkach wzrastać nawet do czterech tysięcy kelwinów. Niestety, nie istnieją metody pozwalające na bezpośrednie zmierzenie temperatury drobin. A przecież to właśnie temperatura i jej zmiany to najbardziej krytyczne czynniki wpływające na strukturę fizyczną i chemiczną przekształcanego materiału!”

Aby lepiej zrozumieć istotę zjawisk zachodzących podczas topienia laserowego, w swoich najnowszych badaniach fizycy z IFJ PAN używali nanocząstek hematytu alfa- Fe_2O_3 . Były one wprowadzane do trzech różnych rozpuszczalników organicznych: alkoholu etylowego, octanu etylu i toluenu. Pojemnik z przygotowanym koloidem umieszczano w płuczce ultradźwiękowej, która gwarantowała, że nie dojdzie do niekontrolowanego zagęszczania drobin. Próbkę naświetlano następnie impulsami laserowymi trwającymi 10 ns, powtarzającymi z częstotliwością 10 Hz, co w zależności od wersji eksperymentu skutkowało formowaniem się cząstek o rozmiarach od 400 do 600 nanometrów.

Szczegółowe analizy wyprodukowanych nanokompozytów pozwoliły badaczom z IFJ PAN odkryć, w jaki sposób w zależności od parametrów użytej wiązki można wyznaczyć krytyczny rozmiar cząstek, które jako pierwsze zaczynają ulegać przemianom pod wpływem światła laserowego. Potwierdzono także, że w badanych przypadkach aglomeraty o większych rozmiarach osiągały niższe temperatury, a do największej temperatury rozgrzewały się drobiny hematytu o wielkościach około 200 nm (oszacowania teoretyczne sugerowały tu wartość 2320 K). Lecz najciekawsze okazały się rezultaty dotyczące użytych w eksperymentach cieczy.

Przede wszystkim udało się zaobserwować zależność między stałą dielektryczną cieczy a rozmiarami drobin wytworzonego kompozytu: im stała była mniejsza, tym rozmiar aglomeratów był większy. Analizy potwierdziły także przypuszczenie, że cienka warstwa cieczy przy rozgrzanej nanocząstce ulega gwałtownej dekompozycji w ciągu wielu reakcji chemicznych. Ponieważ reakcje te w różnych cieczach przebiegają w różny sposób, powstające materiały także się różniły, zarówno budową, jak i składem chemicznym. Cząstki wyprodukowane w octanie etylu składały się tylko z magnetytu, podczas gdy w alkoholu etylowym formował się kompozyt magnetytu z wustytem.

„Rola cieczy w produkcji nanokompozytów metodą topienia laserowego okazuje się być bardziej istotna niż się wszystkim do tej pory wydawało. Niestety, o wielu rzeczach nadal wiemy zbyt mało. Nasze obecne wyniki na szczęście podpowiadają, jakie powinny być kolejne kierunki badań. Ostatecznym celem jest zdobycie pełnej wiedzy o procesach zachodzących w koloidzie i zbudowanie modeli teoretycznych, które pozwoliłyby precyzyjnie projektować zarówno własności nanokompozytów, jak i sposoby ich produkcji na szerszą skalę”, podsumowuje dr Świątkowska-Warkocka.

Opisane badania sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę 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 wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Corocznie Instytut jest organizatorem lub współorganizatorem wielu międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych oraz szeregu seminariów i innych spotkań naukowych. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”, któremu, na lata 2012-2017, nadany został status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW). Wiele projektów i przedsięwzięć realizowanych przez Instytut jest wpisanych na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej (PMiB). Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W klasyfikacji MEiN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.

KONTAKT:

dr hab. **Żaneta Świątkowska-Warkocka**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628262
email: zaneta.swiatkowska@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Solvent-particles interactions during composite particles formation by pulsed laser melting of α -Fe₂O₃”
M. S. Shakeri, O. Polit, B. Grabowska-Polanowska, A. Pyatenko, K. Suchanek, M. Dulski, J. Gurgul, Z. Swiatkowska-Warkocka
Scientific Reports 12, 11950 (2022)
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15729-y>

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:

IFJ220831b_fot01s.jpg **HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2022/08/31/IFJ220831b_fot01.jpg
Zdjęcie mikroskopowe nanocząstek jednego z kompozytów otrzymanego metodą topienia laserowego. Kolory fałszywe, obrazują rozmieszczenie tlenu, żelaza, węgla i krzemu zgodnie z legendą widoczną w lewym dolnym rogu. (Źródło: IFJ PAN)

IFJ220831b_fot02s.jpg **HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2022/08/31/IFJ220831b_fot02.jpg
Aparatura do produkcji nanokompozytów metodą topienia laserowego, użyta w badaniach przeprowadzonych przez Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie. (Źródło: IFJ PAN)