

## GRAFEN EPITAKSJALNY W ENERGETYCE JĄDROWEJ: WYZWANIA I MOŻLIWOŚCI WSPARTE TECHNIKAMI PRÓŻNIOWYMI

Semir El-Ahmar<sup>a,\*</sup>, Maciej J. Szary<sup>a</sup>, Wiktoria Reddig<sup>a</sup>, Jakub Jagiełło<sup>b</sup>,  
Artur Dobrowolski<sup>b</sup>, Maciej Ziemia<sup>c</sup>, Rafał Prokopowicz<sup>c</sup>, Tymoteusz Ciuk<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instytut Fizyki, Politechnika Poznańska, Piotrowo 3, 61-138 Poznań, Polska

<sup>b</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Aleja Lotników 32/46, 02-668  
Warszawa, Polska

<sup>c</sup> Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock, Polska

\*Adres e-mail autora korespondencyjnego: semir.el-ahmar@put.poznan.pl

Dążenie do rozwoju reaktorów opartych na fuzji jądrowej wiąże się z koniecznością pogłębienia wiedzy na temat środowisk silnego promieniowania oraz pilnym opracowaniem technologii diagnostycznych odpornych na ekstremalne warunki radiacyjne. W miarę przesuwania granic technologicznych, materiały i układy pomiarowe wystawione są na działanie promieniowania o coraz większym natężeniu, co zbliża konwencjonalne rozwiązania do granic ich wytrzymałości. Wyzwanie to nabiera szczególnego znaczenia w kontekście praktycznej realizacji syntezy jądrowej jako źródła energii, gdzie niezawodne, odporne na promieniowanie czujniki – zwłaszcza magnetyczne – są kluczowe dla bezpiecznej i ciągłej kontroli procesów zachodzących wewnątrz reaktora.

Nasze badania koncentrują się na eksploracji potencjału dwuwymiarowych (2D) struktur węglowych jako detektorów pola magnetycznego zdolnych do pracy w ekstremalnych warunkach środowiskowych, charakterystycznych dla przyszłych elektrowni termojądrowych. W tego typu reaktorach elektronika narażona będzie na wysokie temperatury oraz intensywne promieniowanie jonizujące, w tym neutronowe. Przedstawiamy wyniki eksperymentalnych badań dotyczących wpływu napromieniowania neutronowego na właściwości elektryczne układów opartych na grafenie epitaksjalnym<sup>1,2,3</sup>. Wykorzystując min. metody próżniowe, wytworzyliśmy grafen quasi-swobodny z interkalacją wodorową na półizolacyjnych podłożach 4H-SiC(0001) i 6H-SiC(0001), pasywowanych warstwą Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>4</sup>. Układy poddane zostały działaniu strumieni neutronów za pomocą badawczego reaktora jądrowego MARIA.

Wśród kluczowych pytań pozostaje kwestia granicznej tolerancji na fluencję neutronów w systemach opartych na grafenie oraz to, czy ograniczona wymiarowość struktur 2D rzeczywiście zapewnia przewagę nad klasycznymi materiałami trójwymiarowymi. Szczególnie istotne jest także zrozumienie wpływu oddziaływań pomiędzy warstwami podłoża a warstwą grafenu w heterostrukturach 2D/3D, które mogą istotnie modyfikować — lub nawet ograniczać — korzyści wynikające z zastosowania architektury 2D. Odpowiedzi na te pytania są niezbędne do zaprojektowania nowej generacji elektroniki opartej na grafenie epitaksjalnym — zdolnej do niezawodnej pracy w warunkach intensywnego promieniowania, tam gdzie tradycyjne materiały i technologie mogą okazać się niewystarczające.

1. S. El-Ahmar et al., *Appl. Surf. Sci.*, 2025, 685, 161953.

2. S. El-Ahmar et al., *Appl. Surf. Sci.*, 2022, 590, 152992.

3. J. Jagiełło et al., *Results Phys.*, 2025, 75, 108332.

4. T. Ciuk et al., *Carbon Trends*, 2023, 13, 100303.

Praca finansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, projekt nr 0512/SBAD/2520.