

# Centralne Laboratorium Metod Fototermicznych

Dr inż. Szymon J. Zelewski, Wydział Podstawowych Problemów Techniki

## CEL PROJEKTU

Szacuje się, że aż do 50% całkowitej energii zużywanej w procesach przemysłowych jest bezpowrotnie tracona w postaci ciepła<sup>1</sup>. Od lat inspiruje to badaczy nie tylko do poszukiwań sposobów na odzyskanie niewykorzystanej energii np. przez konwersję termoelektryczną, ale także do zwiększania wydajności projektowanych urządzeń, co ma szczególne znaczenie w dobie kryzysu energetycznego. Oznacza to, że potrzebne są również nowe narzędzia badawcze, adekwatne do rozwiązywania strategicznych problemów nauki i techniki, czerpiące z najnowszych osiągnięć i wiedzy eksperckiej.

Celem niniejszego projektu jest budowa Centralnego Laboratorium Metod Fototermicznych służącego rozwojowi badań podstawowych i aplikacyjnych o charakterze interdyscyplinarnym, skupionych wokół badań właściwości nowych materiałów oraz tworzenia nowych technologii związanych z konwersją energii. Badania fototermiczne bazują na generacji impulsów ciepła za pomocą wzbudzeń optycznych (laserów lub szerokopasmowych źródeł światła), a następnie ich detekcji metodami bezpośrednimi lub pośrednimi. Unikalną cechą tych metod jest swoiste połączenie zalet spektroskopii optycznej i kalorymetrii, samych w sobie będących dziedzinami eksperymentalnymi o potężnym potencjale. Ze względu na uniwersalność możliwości badawczych Laboratorium wierzymy, że będzie ono służyło społeczności akademickiej na wielu szczeblach i będzie inspiracją do podjęcia nowych kierunków badawczych, jednocześnie zwiększając w znaczny sposób konkurencyjność Uczelni.

## ANALIZA STANU BIEŻĄCEGO

Badania związane z konwersją fototermiczną i fotoakustyczną są obecnie rozproszone po kilku ośrodkach w Polsce (m.in. UMK w Toruniu, Politechnika Koszalińska, Politechnika Śląska) i często realizowane w ograniczonym zakresie oraz umiarkowanym stopniu innowacyjności. Stoi to w sprzeczności z trendami światowymi, ponieważ ostatnie lata zaowocowały intensywnym rozwojem bezkontaktowych, w pełni optycznych metod fototermicznych z użyciem nowej generacji systemów laserowych oraz aparatury pomiarowej. Doprowadziły one do takich osiągnięć, jak: odkrycie rekordowego współczynnika przewodności cieplnej wśród materiałów półprzewodnikowych<sup>2</sup>, obserwacja falowego mechanizmu transportu ciepła w graficie<sup>3</sup>, opracowanie metod fotoakustycznego obrazowania medycznego<sup>4</sup>, czy diagnostyki i terapii (teranostyki) fototermicznej<sup>5</sup>. Nie istnieją w Polsce

---

<sup>1</sup> <https://www.energy.gov/eere/iedo/waste-heat-recovery-basics> (dostęp 08.01.2024 r.)

<sup>2</sup> S. Li et al. *High thermal conductivity in cubic boron arsenide crystals*, Science 361 (6402), 579 (2018)

<sup>3</sup> S. Huberman et al. *Observation of second sound in graphite at temperatures above 100 K*, Science 364 (6438), 375 (2019)

<sup>4</sup> L. V. Wang, S. Hu *Photoacoustic Tomography: In Vivo Imaging from Organelles to Organs*, Science 335 (6075), 1458 (2012)

<sup>5</sup> S. Li et al. *Rational Design of Conjugated Small Molecules for Superior Photothermal Theranostics in the NIR-II Biowindow*, Advanced Materials 32 (33), 2001146 (2020)

laboratoria związane z tą tematyką działające w formie konsorcjum lub modelu otwartego dostępu, co sprawia, że potencjał badawczy nie jest wykorzystany w pełnym stopniu.

## STRUKTURA LABORATORIUM

Przedstawiamy kompletny projekt Laboratorium opartego głównie na dwóch metodach badawczych:

- Spektroskopii defleksji fototermicznej (ang. *photothermal deflection spectroscopy*, PDS), uznawanej za najbardziej czułą technikę do bezkontaktowego wyznaczania widm absorpcji optycznej materiałów<sup>6</sup>. Zawdzięcza to zastosowaniu niekonwencjonalnej metody detekcji, opartej na efekcie mirażu: odchyleniu próbkującej wiązki laserowej pod wpływem periodycznych zmian temperatury badanego materiału wzbudzanego światłem. Jej zastosowanie jest kluczowe w badaniach nowych półprzewodników, związków organicznych (w tym barwników), a także wszelkich innych obiektów o interesującej strukturze elektronowej lub modach wibracyjnych obserwowanych w podczerwieni. Proponowana konfiguracja bazuje na laserowo stabilizowanej lampie ksenonowej (ang. *laser-driven light source*, LDLS, opatentowane rozwiązanie firmy Energetiq), zapewniając parametry niespotykane obecnie w laboratoriach badawczych na świecie.
- Czasowo-rozdzielonego termoodbicia (ang. *time-domain thermoreflectance*, TDTR), zaawansowanej metodzie typu pompa-sonda na bazie impulsowego lasera femtosekundowego. Jest jedyną obecnie dostępną techniką badawczą umożliwiającą rozróżnienie efektów przewodnictwa cieplnego w objętości od rezystancji cieplnej na interfejsach (Kapitzy) w układach wielowarstwowych i jednocześnie badanie transportu ciepła w nanoskali, dzięki wysokiej częstotliwości repetycji impulsów stosowanych laserów. Umożliwia przede wszystkim wyznaczanie podstawowych parametrów związanych z przewodnictwem ciepła w materiałach z rozdzielczością mikroskopową, a także mapowanie rozkładu temperatury na powierzchni.

Konstrukcja układu eksperymentalnego TDTR umożliwia również jego wykorzystanie w konfiguracji z wiązką próbkującą przepuszczaną przez badany materiał (*transient absorption*), a także detekcję emitowanego z niego światła (fotoluminescencja). Rozszerza to znacznie możliwości badawcze Laboratorium o badania procesów fizycznych w nowoczesnych materiałach do zastosowań w emiterach światła, takich jak nanokryształy wykazujące konwersję w górę (*upconversion*), sprzężone polimery, barwniki, czy materiały hybrydowe. Układ wzbudzenia i detekcji umożliwiający analizę pełnego widma w zakresie widzialnym również będzie unikatowym w skali kraju narzędziem badawczym.

Dobór wymaganej aparatury laboratoryjnej był podyktowany dotychczasowym doświadczeniem w rozwoju tych metod, ponadto w przypadku eksperymentu TDTR był konsultowany z prof. Davidem Cahillem (University of Illinois Urbana-Champaign, USA), pionierem i uznanym autorytetem w

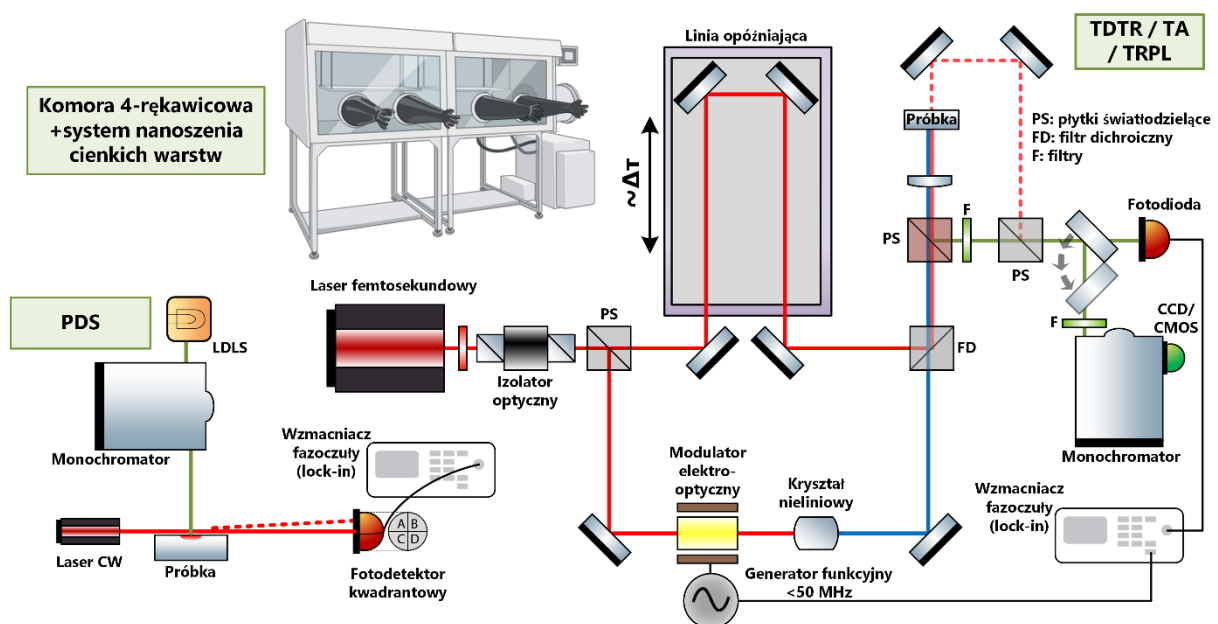
---

<sup>6</sup> Y. Sun, S. J. Zelewski et al. *Bright and stable perovskite light-emitting diodes in the near-infrared range*, Nature 615, 830 (2023)

dziedzinie. Uzupełnieniem wyposażenia Laboratorium będzie komora rękawicowa umożliwiająca pracę z materiałami wrażliwymi na czynniki atmosferyczne, wyposażona w system naporowania termicznego cienkich warstw metalicznych (m.in. Al i Au). Obok rutynowego wykorzystania na etapie przygotowania próbek do badań TDTR do nanoszenia tzw. warstw przetwornikowych, system napyłarki znajdzie zainteresowanie wielu grup badawczych Uczelni, zajmujących się m.in. fabrykacją cienkowarstwowych przyrządów elektronicznych i optoelektronicznych. Umożliwi również wzmocnienie pozycji jako partnera w realizacji projektów z instytucjami zewnętrznymi, w tym wiodącymi na świecie instytucjami z dziedzin nowoczesnych materiałów. Konstrukcja komory rękawicowej umożliwia jej rozbudowę w celu umożliwienia syntezy materiałów oraz nanoszenie warstw z roztworów np. metodą powlekania wirowego (*spin-coating*).

Laboratorium będzie funkcjonowało w filozofii otwartego dostępu (ang. *shared facility*), w celu umożliwienia realizacji ambitnych projektów związanych z profilem działalności przez każdego członka społeczności akademickiej, niezależnie od statusu. Priorytety badawcze oraz dalsze kierunki rozwoju Laboratorium będą dyskutowane z udziałem wszystkich jego użytkowników i zwierzchników instytucji nadrzędnej (np. Wydziału). Jest to wzorcowy model stosowany w wiodących instytucjach na świecie oraz np. Narodowym Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS w Krakowie.

Przewidujemy również zatrudnienie pracownika technicznego, odpowiadającego za utrzymanie infrastruktury laboratoryjnej, serwisowanie wyposażenia, jak również organizację szkoleń i dostępu do Laboratorium uprawnionym użytkownikom.



Rysunek 1: Uproszczony schemat metod badawczych zaplanowanych w ramach Laboratorium.

## MOŻLIWOŚCI BADAWCZE LABORATORIUM

- Wyznaczanie podstawowych parametrów związanych z transportem ciepła, takich jak przewodność, dyfuzyjność i efuzyjność cieplna oraz ciepła właściwego obiektów o skali  $>1$  cm do  $<100$  nm.
- Pomiary widm absorpcji optycznej o czułości przewyższającej dostępne na świecie rozwiązania dzięki zastosowaniu spektroskopii defleksji fototermicznej w hybrydowym trybie detekcji oraz laserowo-stabilizowanej lampy dużej mocy.
- Wzbudzenie ultrakrótkich impulsów akustycznych o częstotliwościach ultradźwiękowych (50 kHz – 30 MHz), umożliwiając ich wykorzystanie do szerokiej gamy badań podstawowych oraz metod obrazowania medycznego i badań nieniszczących materiałów.
- Zdalne i bezkontaktowe mapowanie rozkładu temperatury na powierzchni materiałów, z możliwością profilowania głębokościowego (przewaga nad kamerami termowizyjnymi).
- Badania procesów fotofizycznych z wykorzystaniem metod ultraszybkiej spektroskopii (absorpcyjnej: *transient absorption* oraz emisyjnej: czasowo-rozdzielczej fotoluminescencji).

## SPODZIEWANE EFEKTY REALIZACJI PROJEKTU

- Znaczne zwiększenie konkurencyjności Uczelni (w skali krajowej i europejskiej) w badaniach nowych materiałów oraz rozwoju technologii związanych z konwersją energii.
- Zwiększenie potencjału badawczego oraz wzmocnienie współpracy między jednostkami Uczelni przez wprowadzenie strategii laboratorium współdzielonego (*shared facility*) przy jednoczesnym ograniczeniu zależności od instytucji zewnętrznych i laboratoriów usługowych (istotny czynnik ryzyka w realizacji innych projektów). Jest to niezwykle istotne zwłaszcza dla młodych badaczy, dzięki zniesieniu barier na drodze do osiągnięcia niezależności naukowej i rozwoju nowych grup badawczych.
- Wzmocnienie bazy dydaktycznej dzięki możliwości wykorzystania unikatowej infrastruktury do zajęć o charakterze projektowym i laboratoryjnym, co zwiększy atrakcyjność Uczelni nie tylko wśród kandydatów na studia, ale również do Szkoły Doktorskiej.