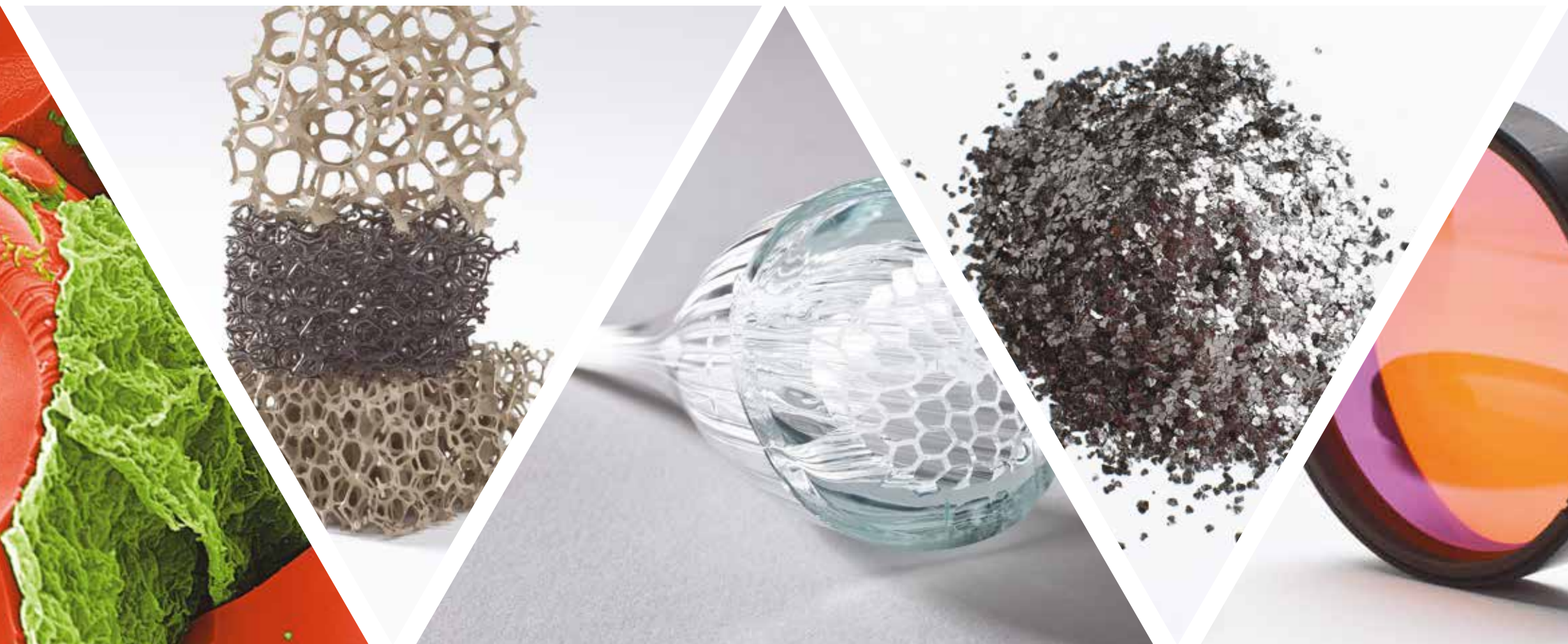


Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych





Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych z siedzibą w Warszawie, mający status instytutu badawczego, zatrudniający blisko 300 pracowników, jest jednostką naukowo-badawczą prowadzącą badania naukowe i prace rozwojowe w dziedzinie nauk technicznych w zakresie inżynierii materiałowej, elektroniki, fotoniki, optoelektroniki, inżynierii środowiska, technologii chemicznej, a także międzydyscyplinarnych nauk technicznych ze szczególnym uwzględnieniem nanotechnologii.

W zakresie inżynierii materiałowej prowadzone są prace badawcze nad zaawansowanymi, innowacyjnymi materiałami nowej generacji, w tym dwuwymiarowymi jak np. grafen. Opracowywane są technologie wytwarzania nowych materiałów, badane są ich właściwości oraz możliwości wykorzystania w energetyce, elektronice, fotonice, przemyśle lotniczym, branży motoryzacyjnej oraz innych sektorach gospodarki.

Instytut dzięki swoim dotychczasowym osiągnięciom, zaliczany jest do czołowych placówek naukowo-badawczych realizujących z sukcesem nowatorskie badania w wielu obszarach związanych z nowymi technologiami. Intensywnie rozwijana jest współpraca zarówno z krajowymi i zagranicznymi uczelniami, instytutami, centrami badawczo-rozwojowymi, jak również z przemysłem.

Zapraszamy na naszą stronę internetową: www.itme.edu.pl





Obszary działalności Instytutu

W Instytucie są opracowywane wysoko zaawansowane, innowacyjne technologie wytwarzania materiałów o perfekcyjnej strukturze krystalograficznej i specyficznych właściwościach oraz na ich bazie podzespoły. Zakres prac badawczych Instytutu obejmuje następujące obszary:

Technologie wytwarzania materiałów nowej generacji:

- grafen;
- izolatory topologiczne;
- materiały dla spintroniki;
- materiały samoorganizujące się;
- kryształy fotoniczne, w tym plazmoneczne i metamateriały.

Technologie wytwarzania materiałów dla energetyki:

- półprzewodniki szerokoprzerwowe, w tym węgiel krzemu i do tranzystorów HEMT z azotkiem galu;
- światłowodów ze szkła półprzewodnikowych dla fotowoltaiki;
- materiały eutektyczne dla fotowoltaiki;
- płytki i warstwy epitaksjalne z węgla krzemu;
- uszczelnienia szklano-ceramiczne dla ogniwo paliwowych;
- materiały termoelektryczne;
- matryce inertne dla bezpiecznego składowania odpadów promieniotwórczych;
- materiały elektrodowe dla jonowych baterii litowych;
- ceramika, kompozyty ceramiczno-metalowe, złącza.

Technologie wytwarzania materiałów dla fotoniki:

- materiały do laserów półprzewodnikowych na bazie związków III/V (w tym: GaAsP, InGaP, AlGaAs, GaAs, GaSb, InP), płytki, struktury epitaksjalne;
- struktury epitaksjalne na GaN;
- materiały do laserów ciała stałego, w tym na bazie niobianu strontowo-wapniowego;
- fotodetektory na zakres podczerwieni oraz ultrafioletu;
- kryształy tlenkowe na: lasery, pasywne modulatory dobroci, scyntylatory, przyrządy elektrooptyczne i piezoelektryczne, podłoża na warstwy nadprzewodzące HTSc;
- szkła i ceramiki ze specjalnie projektowanymi charakterystykami spektralnymi, w tym ceramiki przezroczyste.

Technologie wytwarzania materiałów dla elektroniki:

- monokryształy krzemu (płytki Si standardowe i o specjalnych właściwościach);
- krzem porowaty;
- folie krzemowe;
- warstwy epitaksjalne na krzemie i na krzemie porowatym;
- płytki i warstwy epitaksjalne z węgla krzemu;
- proszki, pasty i atramenty na bazie polimerów i nanoproszków dla elektroniki drukowanej;
- pasty światłoczułe;
- kryształy piezoelektryczne;
- kompozyty ceramiczno-metalowe;
- super czyste metale.

Technologie wytwarzania podzespołów

W laboratoriach ITME powstało wiele nowatorskich rozwiązań podzespołów elektronicznych z wytworzonych w Instytucie materiałów, jak na przykład:

- światłowodów (aktywne i fotoniczne), filtry, soczewki dyfrakcyjne, dwuwymiarowe mikrostruktury fotoniczne;
- elementy bierne na membranach (sensory);
- filtry, rezonatory i sensory na podłożach piezoelektrycznych z akustyczną falą powierzchniową;
- przyrządy półprzewodnikowe (lasery, tranzystory, fotodetektory, diody Schottky'ego);
- lasery ciała stałego, mikrolasery.

Wytwarzanie ich jest możliwe dzięki posiadanym najnowocześniejszym urządzeniom, które umożliwiają:

- projektowanie i wytwarzanie masek;
- nanoszenie warstw cienkich dielektrycznych (SiO_2 , Si_3N_4 , AlN);
- metalizację wielowarstwową;
- litografię: kopiowanie kontaktowe w głębokim UV, generację wzoru wiązką elektronów;

Badania materiałów i struktur

Charakteryzacja materiałów prowadzona jest różnymi metodami, między innymi:

- klasycznej analizy chemicznej oraz spektrometrii instrumentalnymi (płomieniowa atomowa spektrometria emisyjna i absorpcyjna, spektrometria od ultrafioletu do dalekiej podczerwieni);
- spektroskopii Mössbauera (metoda konwencjonalna, konwersji elektronów i promieniowania X) oraz opracowaną w ITME, unikatową w skali światowej, metodą "rf-Mössbauer";
- rentgenowskiej dyfraktometrii proszkowej, metodą Rietvelde, wysokorozdzielczej dyfraktometrii rentgenowskiej, reflektometrii rentgenowskiej, rentgenowskiej topografii dyfrakcyjnej;
- skaningowej mikroskopii elektronowej i z zastosowaniem promieniowania synchrotronego;
- elektronowego rezonansu paramagnetycznego;
- mikroskopu sił atomowych;
- termicznymi klasycznymi (mikroskopia wysokotemperaturowa, termogravimetria, różnicowa analiza termiczna, dylatometria itd.) oraz rentgenowskimi;
- mechanicznymi (wytrzymałościowe, tarciove, badania twardości itd.);
- optycznymi (mikroskopia, absorpcja, reflektometria).

Badania podzespołów

W ITME wykonywane są badania przyrządów optoelektrycznych, mikroelektrycznych i piezoelektrycznych. Znajdująca się w Instytucie specjalistyczna aparatura umożliwia przeprowadzanie charakteryzacji podzespołów różnymi metodami, np.:

- pomiarów I-V, C-V;
- niestacjonarnej spektroskopii głębokich poziomów;
- pomiarów impedancji i elementów macierzy rozproszonej do częstotliwości 20 GHz;
- pomiarów poziomów szumów;
- badań parametrów użytkowych laserów i fotodetektorów.





Zakłady naukowo-badawcze ITME

Laboratorium Charakteryzacji Materiałów Wysokiej Czystości

Zakład Badań Mikrostrukturalnych

Zakład Kompozytów Ceramiczno-Metalowych i Złączy

Zakład Ceramiki

Zakład Technologii Krzemu

Zakład Optoelektroniki

Zakład Technologii Chemicznych

Zakład Szkła

Zakład Epitaksji

Zakład Epitaksji i Charakteryzacji

Zakład Materiałów Grubowarstwowych

Zakład Materiałów Funkcjonalnych

Zakład Zastosowań Materiałów A^{III}B^V

Zakład Piezoelektroniki

Telefon

(+48 22) 639-55-40

(+48 22) 639-55-15

(+48 22) 639-58-15

(+48 22) 639-55-54

(+48 22) 639-55-11

(+48 22) 639-55-04

(+48 22) 639-58-52

(+48 22) 639-59-05

(+48 22) 639-55-88

(+48 22) 639-58-36

(+48 22) 639-58-57

(+48 22) 639-56-02

(+48 22) 639-58-17

(+48 22) 639-55-13



Laboratorium Charakteryzacji Materiałów Wysokiej Czystości

Laboratorium wykonuje analizy:

- zanieczyszczeń w materiałach wysokiej czystości;
- pierwiastków ziem rzadkich;
- materiałów dla:
 - ✓ piezoelektroniki: LiNbO_3 , LiTaO_3 , LiB_4O_7 , kwarc; $\text{GdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$:Nd,Yb,Er,Pr,Tm; $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$, $\text{LaCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$;
 - ✓ optoelektroniki: LiNbO_3 , BaB_2O_4 , $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$ (YAM);

- ✓ techniki laserowej: YAG: Nd,Er,Ho,Tm,Pr,Yb,Cr,Mg; $\text{Yb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$:(YbAG):Er; YVO_4 :Ho,Yb,Er,Tm; GdVO_4 :Tm,Er; LuVO_4 :Tm,Er; $\text{RbNd}(\text{WO}_4)_2$:Yb; $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$:Cr; $\text{Sr}_3\text{Y}(\text{BO}_3)_3$ (BOYS):Yb; $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN):Ce,Nd, $\text{Ca}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (CBN);
- ✓ scyntylatorów glinowych: LuAlO_3 (LuAP):Pr,Cr,Mo,PrLaAlO₃,LaAlO₃;
- ✓ materiałów nadprzewodzących: SrLaAlO_4 , SrLaGaO_4 , $\text{SrLaGa}_3\text{O}_7$:Ho; NdGaO_3 :Y;
- ✓ materiałów na podłoża do epitaksji: GaN, GaAs, GaSb, InP;
- ✓ materiałów do immobilizacji odpadów radioaktywnych: CaMoO_4 :RE;
- ✓ różnego rodzaju szkła technicznych i optycznych;
- ✓ materiałów stosowanych w optyce: CaF_2 , BaF_2 , LiF, LiYF_4 :Pr,Ho,Tm,Pr;

- ✓ złożonych stopów, jak na przykład: AgCu_{28} , AgCuZn , AgSnO_2 ; WCu_{25} , WCuSb , WCuAgNi , WAgSb , WAg_{25} , AgCuNi , CuZn , SnIn , AgNi , PbSnAg , AgCuPd , SnP , AgPt , AuGe_{12} , AuIn , AuSb ;
- ceramik, spineli glinowo-magnezowych: (MgAl_2O_4 :Co,Ti,V);
- wody, ścieków i powietrza;
- chromu (VI) w powłokach cynkowych pasywowanych.

W Laboratorium prowadzone są także badania czynników występujących w środowisku pracy oraz projektuje się i opracowuje metody analityczne, w tym również dla potrzeb ochrony środowiska.

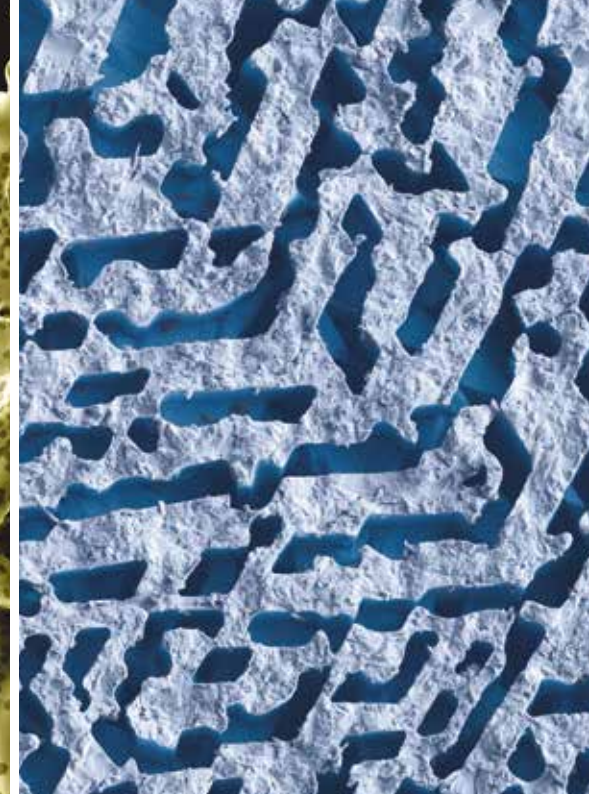
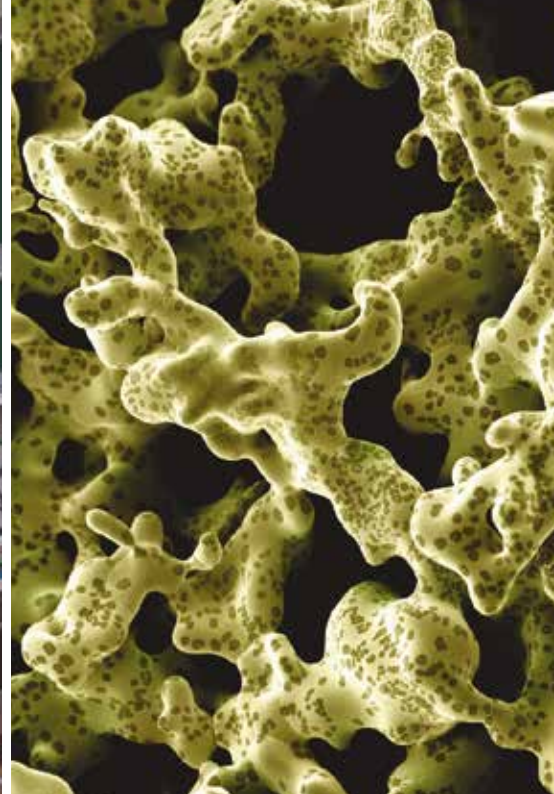
Laboratorium spełnia wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005. Posiada certyfikat Laboratorium Akredytowanego Nr AB 267 udzielony przez Polskie Centrum Akredytacji.

Laboratorium wykonuje analizy, stosując klasyczne metody chemiczne oraz nowoczesne techniki instrumentalne: ICP-OES, UV-VIS, FAAS, GFAAS.

Zakres akredytacji

Material	Zawartość
Woda i ścieki	Cr, Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Na, K, As, Mn, Ni, Mg (0,10 ÷ 1000 mg/l)
Powietrze na stanowisku pracy	HCl (1,25 – 12,5 mg/m ³) PH ₃ (0,05 – 0,92 mg/m ³) NO ₂ (0,20 – 2,80 mg/m ³)
Powłoki cynkowe pasywowane	Cr VI (0,02 – 0,20 µg/cm ²)





W Zakładzie prowadzone są badania podstawowe i aplikacyjne w dziedzinie fizyki materiałów. Aktualnie realizowane badania poświęcone są opracowywaniu i dalszemu doskonaleniu nowych metod analizy materiałów i ich modyfikacji przy pomocy wiązek jonów. Celem jest uzyskanie poprawy własności strukturalnych i funkcjonalnych nowych materiałów.

Zakład specjalizuje się w następujących badaniach:

- analizie powierzchni materiałów przy pomocy Skaningowej Mikroskopii Elektronowej (SEM) i technik stowarzyszonych takich jak: EDS, EBSD, CL, FIB;
- badaniach strukturalnych przy pomocy zaawansowanych metod dyfraktometrii rentgenowskiej (XRD), które pozwalają na:

- ✓ analizę fazową metodami dyfraktometrii proszkowej, analizę strukturalną metodą Rietvela;
- ✓ topografię rentgenowską;
- ✓ analizę warstw krystalicznych i heterostruktur metodami rentgenowskiej dyfraktometrii wysokorozdzielczej (HRXRD);
- rozwijaniu metod numerycznych analizy wyników otrzymanych metodami dyfraktometrii rentgenowskiej;
- opracowywaniu metod modyfikacji materiałów przy pomocy technik jonowych;
- analizie defektów radiacyjnych w materiałach stosowanych w inżynierii jądrowej;
- badaniu własności funkcjonalnych napromieniowanych polimerów;
- badaniu własności tribologicznych (procesy zużycia i tarcia) różnych materiałów.

Zespół Zakładu oferuje również usługi w dziedzinie:

- badania mikrostruktury materiałów;
- implantacji jonów w różnych materiałach.

Badania prowadzone w Zakładzie cieszą się uznaniem międzynarodowym. Pracownicy uczestniczą w licznych programach badawczych, zarówno Unii Europejskiej jak i innych międzynarodowych oraz w projektach finansowanych przez NCN i NCBiR.

Zakład Badań Mikrostrukturalnych

Zakład Kompozytów Ceramiczno- -Metalowych i Złączy

Badania i prace technologiczne prowadzone w Zakładzie koncentrują się na wytwarzaniu ceramiczno-metalowych materiałów kompozytowych i gradientowych oraz spajaniu materiałów zaawansowanych, ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk fizycznych i chemicznych towarzyszących tym procesom.

Wytwarzane materiały kompozytowe to m.in.

- materiały o wysokiej przewodności cieplnej: Cu-C₆₀, Cu-SiC, Cu-AlN, Cu-grafen;
- materiały stykowe: WC-Ag, W-Cu, W-Cu-Sb, W-Ag;
- materiały konstrukcyjne: Cr-Re-Al₂O₃, Mo-Al₂O₃, NiAl-Al₂O₃, Cu-Al₂O₃.

W Zakładzie prowadzone są prace w zakresie wytwarzania i charakteryzacji materiałów przeznaczonych do konwersji energii (tzw. materiałów termoelektrycznych). Badania skoncentrowane są na dwóch grupach materiałów takich jak skutterudyty oraz tellurki (antymonu i bizmutu).

Materiały te wytwarzane są z wykorzystaniem techniki metalurgii proszków (mieszanie – konwencjonalne lub wysokoenergetyczne; for-

mowanie – prasowanie lub wylewanie folii; spiekanie – swobodne lub pod ciśnieniem HP lub SPS) lub przez spiekanie, infiltrowanych ciekłym stopem, porowatych preform. Przy wytwarzaniu kompozytowych materiałów stykowych wykorzystywane są klasyczne metody metalurgii proszków oraz oryginalna technologia nasycania.

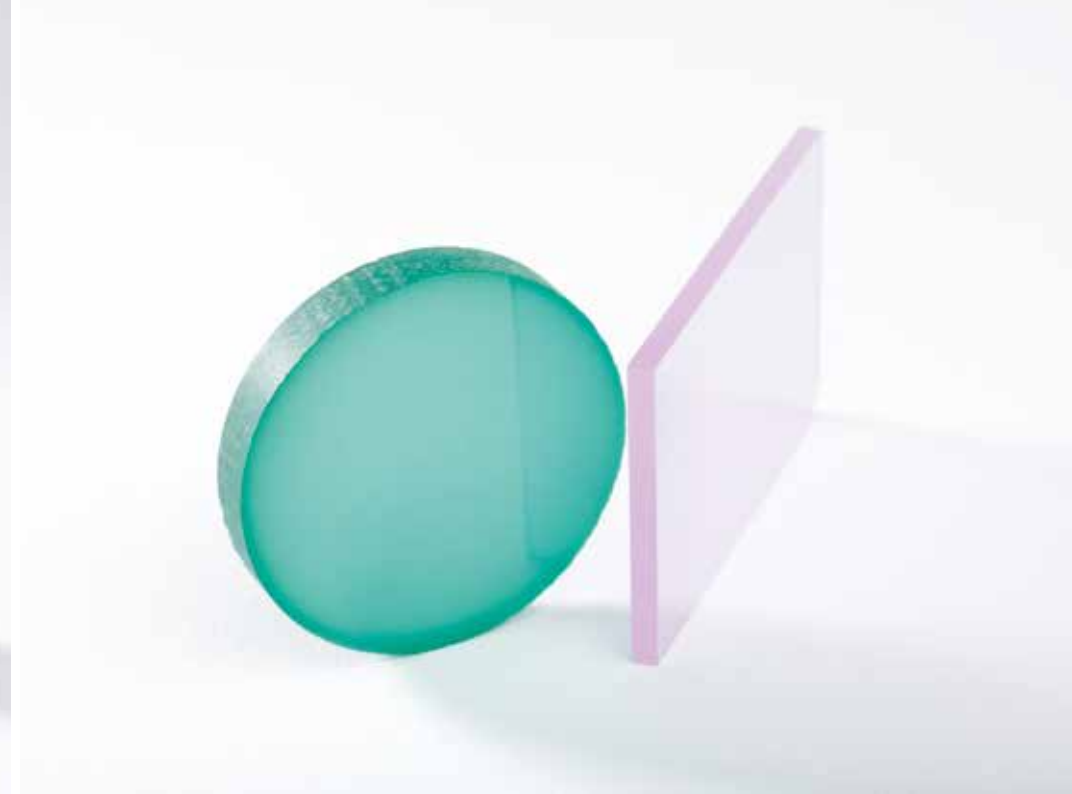
Osobnym zagadnieniem jest opracowywanie technologii spajania materiałów kompozytowych z innymi materiałami, w tym łączenia różnorodnych materiałów elektroizolacyjnych (ceramika korundowa, azotkowa, węglkowa, szkło) z metalami (miedź, molibden, stopy FeNi, stale) do aplikacji próżniowych, elektronicznych, jądrowych i energetycznych. Opracowane technologie spajania dotyczą ceramiki: Al₂O₃, AlN,

SiC, Si₃N₄, ZrO₂, metali: Cu, Al, Cr, Mo, FeNi, FeNiCo, stali, związków międzymetalicznych (NiAl, FeAl) oraz materiałów kompozytowych: Cu-C₆₀, Cr-Re-Al₂O₃, Mo-Al₂O₃, WC-Ag, W-Cu, a stosowane techniki to: metalizacja proszkowa, spajanie bezpośrednie, zgrzewanie dyfuzyjne, zgrzewanie tarczowe, lutowanie w atmosferach ochronnych i aktywne spajanie z wykorzystaniem FGM.

Wytwarzane są też warstwy metaliczne na różnorodnych podłożach ceramicznych oraz specjalne podłoża warstwowe Cu-Al₂O₃-Cu, przygotowane techniką spajania bezpośredniego CDB oraz materiały przeznaczone do montażu powierzchniowego.

Zakład jest członkiem Instytutu KMM-VIN (www.kmm-vin.eu).





W Zakładzie Ceramiki prowadzone są prace w zakresie inżynierii materiałów ceramicznych i ceramicznych kompozytów. Jednym z głównych obszarów prac badawczych prowadzonych w Zakładzie jest preparatyka proszków ceramicznych o założonych, kontrolowanych parametrach morfologicznych i optycznych również mokrymi metodami chemicznymi, takimi jak współstrącanie czy metoda zol-żel oraz ich konsolidacja do materiałów o ściśle określonych właściwościach mikrostrukturalnych, optycznych i mechanicznych. Na przestrzeni lat w Zakładzie opracowano szereg technologii wytwarzania materiałów, w tym ceramiki przezroczystej o specjalnych właściwościach transmisyjnych i luminescencyjnych, m.in. granatu itrowo-glinowego domieszkowanego jonami ziem rzadkich i metali przejściowych, a także ceramiki spinelowej i itrowej. W Zakładzie prowadzone są badania nad preparatyką tworzyw

ceramicznych o zróżnicowanej, kontrolowanej porowatości otwartej oraz prace z zakresu odlewania folii ceramicznych metodą tape casting. Jednym z obszarów działalności jest również wytwarzanie i charakteryzacja cienkich warstw TiO_2 o właściwościach fotokatalitycznych, samoczyszczących oraz bakteriobójczych.

Za pomocą opracowanych w Zakładzie technologii wytwarzane są ceramiczne elementy przeznaczone do zastosowań konstrukcyjnych, takie jak:

- podłoża i obudowy wielowarstwowe, przygotowywane z zastosowaniem folii ceramicznych oraz metodą termoplastycznego laminowania;
- elementy konstrukcyjne z ceramiki korundowej wzmocnionej dwutlenkiem cyrkonu (ZTA), stosowane tam, gdzie jest wymagana bardzo wysoka wytrzymałość i doskonała odporność tworzywa na ścieranie (np.: na-

rzędzia skrawające, dysze do korekty piaskowej układów hybrydowych itp.);

- wyroby konstrukcyjne z ceramiki korundowo-cyrykonowej pracujące w warunkach wstrząsu cieplnego;
- wyroby z ceramiki cyrykonowej, stabilizowanej tlenkiem itru (TZP), o doskonałej odporności na pękanie i ścieranie (np. końcówki antystatycznych narzędzi regulacyjnych urządzeń elektronicznych);
- elementy aparatury laboratoryjnej wykonywane z ceramiki wysokokorundowej, ceramiki itrowej (Y_2O_3) lub cyrykonowej, np.: łożki, tygle, pręty, rurki.

Zakład Ceramiki oferuje współpracę w wymienionych obszarach działalności, łącznie z możliwością opracowania technologii i projektowania ciągów technologicznych według wymagań zamawiającego.

Zakład Ceramiki

Dodatkowo w jednostce oferowane są usługi badawcze i technologiczne obejmujące:

- wytwarzanie i charakteryzację nano- i mikroproszków;
- formowanie i spiekanie tworzyw ceramicznych, metalicznych oraz kompozytowych;
- granulację kriogeniczną mikro- i nanoproszków;
- wytwarzanie folii ceramicznych i szklanych z zawieszin wodnych;
- badania wytrzymałości materiałów;
- badania właściwości fotokatalitycznych oraz zwilżalności materiałów;
- wytwarzanie drobnych detali ceramicznych (łożki, tygle, płytki).

Zakład Technologii Krzemu

W laboratoriach Zakładu rozwinięto różne technologie wytwarzania produktów krzemowych, takie jak CZ (metoda Czochralskiego), czy FZ (metoda beztyglowa). Oferowane są tu monokryształy i płytki krzemowe (różnych rodzajów) o średnicach od 1" do 4" – standardowe i ponadstandardowe, o grubościach od 50 μm do 40 000 μm i powyżej oraz płytki krzemowe bezpośrednio po cięciu, trawione i polerowane jedno- lub obustronnie, w zależności od potrzeb.

W Zakładzie prowadzone są prace badawcze jakości powierzchni płytek i jakości warstw pod

powierzchnią oraz badania doświadczalne nad technologią płytek krzemowych, takie jak: zastosowania płynnego wosku, metody adhezyjne, wybór mieszanek trawiących do trawienia krzemu, eliminacja z powierzchni polerowanych płytek defektów typu „haze”, czy poprawa czystości krzemu w polerowanych płytkach do standardów światowych.

Bada się także defekty typu „haze”, OSF, S-PITS oraz przydatność różnych materiałów do procesów geterowania wewnętrznego.

W Zakładzie opracowano procesy technologiczne wytwarzania krzemu, w których:

- osiągnięto kontrolowaną zawartość tlenu w monokryształach krzemu na poziomie $5,5 \div 8,7 \times 10^{17}$ atomów na cm^3 oraz wdrożono oprogramowanie do automatycznej kontroli procesów wzrostu kryształów;

- sterując warunkami topienia i przepływu argonu znacząco ograniczono wpływ migracji węgla w krzemie podczas wzrostu kryształów (standardowa zawartość węgla w wytwarzanych monokryształach krzemu jest niższa niż $2,5 \times 10^{16}$ atomów na cm^3);
- uzyskuje się monokryształy 1", 2" i 3" oraz 4" o nietypowych orientacjach ($\langle 110 \rangle$, $\langle 112 \rangle$, $\langle 113 \rangle$, $\langle 133 \rangle$, $\langle 210 \rangle$, $\langle 310 \rangle$, $\langle 510 \rangle$, $\langle 511 \rangle$, $\langle 711 \rangle$, $\langle 221 \rangle$, $\langle 321 \rangle$);
- wytwarzane są płytki krzemowe o standardowych orientacjach ($\langle 100 \rangle$, $\langle 111 \rangle$) z dezorientacją do 15°;
- polerowane płytki krzemowe o średnicach do 4" i grubościach $> 2000 \mu\text{m}$ charakteryzują się tolerancją grubości TTV i falistości $< 5 \mu\text{m}$ oraz z gładkością powierzchni $< 5 \text{\AA}$;
- otrzymuje się supercienkie płytki krzemowe (grubość 50 μm) o średnicy 2", dwustronnie polerowane, o rozrzucie grubości $\pm 0,5 \mu\text{m}$

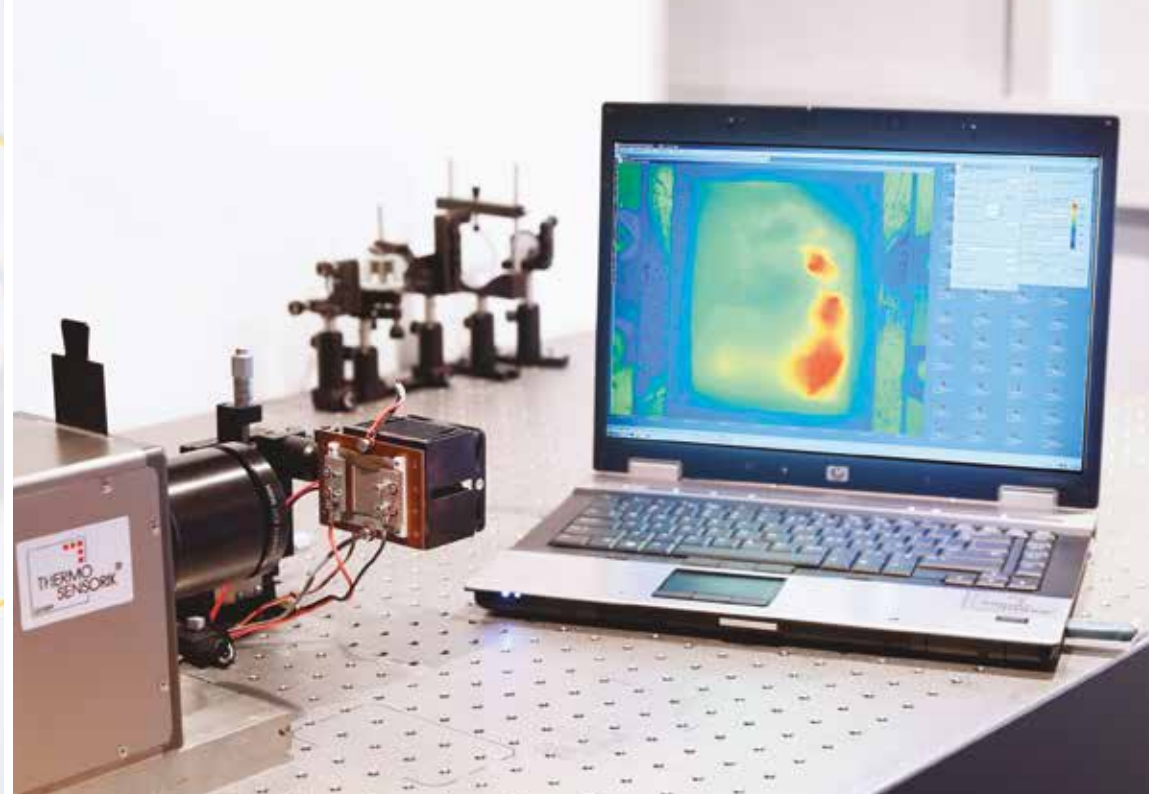
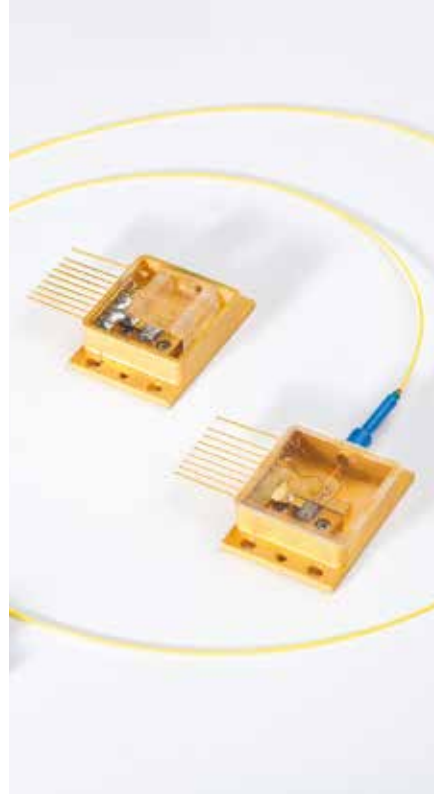
i zbliżonym do sferycznego kształcie jego rozkładu, z dokładnością orientacji płytki $< 0,05^\circ$ i ścięcia bazowego $< 20'$, z gładkością powierzchni $< 5 \text{\AA}$ (prace w ramach europejskiego grantu „Imaging with Neutral Atoms”).

Opracowano:

- system kontroli termicznej w procesach wzrostu monokryształów krzemu zapewniający stabilność termiczną kryształów (typowy czas nukleacji wytrąceń wynosi powyżej 100 godzin);
- metody pozwalające na uzyskiwanie monokryształów krzemu o standardowych własnościach za pomocą konwencjonalnych technik domieszkowania.

W ofercie Zakładu znajdują się również usługi pomiarowe i badawcze, proponowana jest także współpraca w dziedzinie technologii krzemu.





Działalność Zakładu Optoelektroniki obejmuje szeroki zakres prac badawczych: opracowywanie nowych półprzewodnikowych źródeł światła, laserów ciała stałego, technik odprowadzania ciepła, montażu i integracji przyrządów optoelektronicznych, jak również charakterystykę optyczną oraz termiczną różnorodnych materiałów i przyrządów. Dzięki wieloletniemu doświadczeniu zespołowi udało się opracować szereg innowacyjnych przyrządów m.in. diody laserowe dużej mocy o niskiej rozbieżności wiązki, z wyprowadzeniem światłowodowym lub zintegrowane z okienkami z optyki dyfrakcyjnej i montowane na chłodnicach mikro-kanalowych.

Wyposażenie Zakładu obejmuje kompletne linie technologiczne (linia do fotolitografii kontaktowej, urządzenia do napyłania próżniowego, automatyczne piły tarczowe, urządzenie do

precyzyjnego pocieniania płytek podłożowych, półprzewodnikowych, dielektrycznych, metalowych, zespół urządzeń do montażu struktur półprzewodnikowych). W specjalizowanych laboratoriach do pomiarów diod laserowych i laserów na ciele stałym oraz laboratoriach do analizy spektroskopowej i termicznej, rozwinięto szereg technik charakteryzacyjnych.

Zespół Zakładu oferuje nowe rozwiązania w zakresie specjalizowanych źródeł laserowych, integracji przyrządów elektronicznych oraz montażu, umożliwiając transfer nauki do konkretnych zastosowań praktycznych. Naukowcy proponują wsparcie w zakresie projektowania, opracowania demonstratorów (lub/i prototypów) oraz badań laserów ciała stałego bazujących na takich materiałach jak: przezroczyste ceramiki laserowe, kryształy tlenkowe, szkła aktywne, tlenkowe warstwy epitaksjalne.

Pracownia technologiczna współpracuje z partnerami przemysłowymi w obszarze specjalizowanego cięcia, pokryć cienkowarstwowych i usług montażu. Oferta współpracy dotyczy zarówno współuczestnictwa w projektach badawczych i przemysłowych, jak również wsparcia w opracowaniu nowych wyrobów oraz wykonywaniu dopasowanych do potrzeb klienta, specjalizowanych usług technologicznych. Duże doświadczenie zespołu pozwala na tworzenie innowacyjnych rozwiązań przy wykorzystaniu zaawansowanych metod badawczych oraz nowych technologii.

Zespół zaprasza do współpracy w zakresie charakterystyki optycznej: fotoluminescencji, mikro-fotoluminescencji, pomiarów charakterystyk absorpcyjnych, pomiarów czasu życia nośników na poziomach wzbudzonych. Oferuje również pomiary spektroskopowe materiałów w róż-

Zakład Optoelektroniki

nych postaciach i stanach skupienia. Pracownia badań optycznych specjalizuje się w badaniach materiałów na pasywne modulatory dobroci (badania materiałów ceramicznych, krystalicznych, szklanych itp. domieszkowanych jonami metali przejściowych, charakterystyka modulatorów zawierających grafen lub tlenek grafenu, wyznaczanie parametrów spektroskopowych nieliniowych absorberów). Zakład ma w ofercie też pomiary termowizyjne (badania rozpyłu ciepła w mikroskali, profilowanie termiczne, badania zjawisk zmiennych w czasie).

Zakład Technologii Chemicznych

Zakład specjalizuje się w chemicznej syntezie zaawansowanych materiałów przeznaczonych do wykorzystania w elektronice, optoelektronice oraz w sektorze wytwarzania i magazynowania energii. Zespół Zakładu posiada wieloletnie doświadczenie w wytwarzaniu nanomateriałów i nanostruktur. Oprócz badań naukowych prowadzone są usługi badawcze oraz prace wdrożeniowe nad praktycznym zastosowaniem

nowych technologii. Wymieniona działalność realizowana jest przez zespoły badawcze należące do trzech pracowni.

Pracownia Grafenu Chemicznego

Zespół wykonuje prace badawcze w zakresie stosowania metod chemicznych do wytwarzania grafenu płatkowego, jego pochodnych i materiałów kompozytowych zawierających struktury grafenowe, jest to:

- grafit interkalowany, grafit ekspandowany termicznie, tlenek grafitu, tlenek grafenu, zredukowany tlenek grafenu,
- papier grafenowy,
- grafen otrzymywany metodą bezpośredniej eksfoliacji grafitu w rozpuszczalnikach.

Prowadzone są prace nad sposobami optymalizacji poszczególnych etapów obróbki grafitu w celu otrzymania w/w produktów. Pracownicy rozwijają współpracę z innymi instytucjami zarówno w zakresie badania właściwości, jak i zastosowania otrzymywanych przez nich materiałów grafenowych.

Pracownia Nano- i Biomateriałów

Zespół prowadzi prace związane z chemiczną syntezą materiałów nanokrystalicznych oraz nanostruktur różnymi technikami: zol-żel, współstrącania, hydrotermalna, syntezy spaleniowej, odwróconej mikroemulsji, elektrochemiczną oraz w fazie stałej (w tym metodą mikrofalową i mechnosyntezą).

Otrzymywane materiały znajdują zastosowanie między innymi w optoelektronice są to:

- materiały wyjściowe do wytwarzania ceramiek laserowych,
- luminescencyjne kompozyty na bazie matryc organicznych i nieorganicznych np. jako światłowodów lub falowody,
- luminofory świecące, w zależności od domieszki, w różnych zakresach fal.

Pracownia Ogniw i Superkondensatorów

Zespół zajmuje się syntezą materiałów elektrodowych do jonowych baterii litowych i superkondensatorów.





Zakład Szkła ma ponad 30-letnie doświadczenie w projektowaniu i wytwarzaniu różnego rodzaju szkła wieloskładnikowych, światłowodów i elementów optyki włóknistej takich jak: szkła fluorkowe, tellurowe, fosforanowe i krzemianowe o jakości optycznej, przeznaczone do wytwarzania światłowodów. Szkła syntetyzowane są bezpośrednio z surowców w postaci tlenków lub związków beztlenowych (szkła fluorkowe) i mogą być w tym procesie domieszkowane różnymi jonami, w tym jonami ziem rzadkich (szkła aktywne np. na lasery włóknowe).

Laboratorium wytwarzania szkła wyposażone jest w szereg pieców oporowych, piec indukcyjny oraz stanowisko do wytopu szkła w ściśle kontrolowanej atmosferze (tlenowej lub beztlenowej) umieszczone w komorze rękawicowej. Obróbka mechaniczna szkła obejmuje cięcie, zaokrąglanie, szlifowanie i polerowanie. Umożliwia to wytwarzanie bloków szkła, prę-

tów, rur i innych specyficznych elementów, jak np. podłoża czy filtry o wymiarach dostosowanych do różnych zastosowań. Z kolei mikrosoczewki szklane (refrakcyjne i dyfrakcyjne) mogą być wytwarzane z różnych szkła przez wytłaczanie na gorąco (hot embossing). W pełni wyposażone laboratorium pomiarowe umożliwia charakteryzację szkła i elementów optycznych uwzględniając ich własności termomechaniczne i optyczne.

Laboratorium technologii światłowodowej wyposażone jest w cztery wieże do wyciągania włókien optycznych, dwie małe wieże do kalibracji rur szklanych oraz clean room i komory z nawiewem laminarnym przeznaczone do przygotowania preform do wyciągania obrazowców i światłowodów mikrostrukturalnych.

Zespół posiada ponad 25-letnie doświadczenie w wytwarzaniu elementów optyki włóknistej,

obrazowców i klasycznych światłowodów (w tym też włókien aktywnych) oraz ponad 15-letnie doświadczenie w wytwarzaniu włókien fotonicznych (pasywnych i aktywnych) a ostatnio też nanostrukturyzowanych elementów optycznych. Urządzenia do wyciągania światłowodów pozwalają na pocienianie zarówno preform ze szkła wieloskładnikowych, jak i szkła krzemionkowego. Łącząc możliwości technologiczne z umiejętnością projektowania i modelowania komputerowego włókien, naukowcy z Zakładu Szkła są w stanie wytwarzać dostosowane do wymagań klienta mikro- i nanostrukturyzowane światłowody i elementy optyki włóknistej dla zakresu promieniowania widzialnego oraz bliskiej i średniej podczerwieni (do 5 μm). Zakres zastosowań obejmuje optykę nieliniową (generacja *supercontinuum*), kształtowanie frontu falowego i polaryzacji oraz wprowadzanie promieniowania świetlnego do układów mikroop-tofluidycznych.

Zakład Szkła

Laboratorium obróbki i charakteryzacji światłowodów jest wyposażone w zaawansowaną spawarkę do włókien mikrostrukturalnych oraz układy do pomiaru tłumienności, strat zgięciowych i dyspersji chromatycznej. Obrazowanie wytwarzanych struktur jest realizowane za pomocą dostępnego w ITME skaningowego mikroskopu elektronowego.

Ostatnimi, najważniejszymi, aplikacyjnymi opracowaniami Zakładu Szkła są mikrosoczewki dla średniej podczerwieni wytwarzane metodą wytłaczania na gorąco, nanostrukturyzowane mikrosoczewki i mikroaksyony kompatybilne z włóknami optycznymi oraz całoszklane (możliwość spawania), nieliniowe włókna fotoniczne o normalnej dyspersji („ANDi”) do generacji koherentnego *supercontinuum*.



Głównymi aktywnościami Zakładu Epitaksji są badania i rozwój technologii krzemowych warstw epitaksjalnych osadzanych z fazy gazowej (CVD), pomiary parametrów warstw oraz rozwój technik eksperymentalnych służących określeniu właściwości elektrycznych defektów w materiałach półprzewodnikowych.

W Zakładzie wytwarzane są różnego typu płytki z krzemowymi warstwami epitaksjalnymi takie jak: pojedyncze warstwy epitaksjalne, wielowarstwowe struktury epitaksjalne (np. p/n/n⁺, n/p/p⁺) oraz wysokorezystywne warstwy epitaksjalne o grubości powyżej 100 μm przeznaczone do produkcji detektorów cząstek naładowanych. Oferowane są też płytki z warstwami epitaksjalnymi o grubości w zakresie 2–180 μm i rezystywności w zakresie 0.003–5000 Ωcm .

Do kontroli i pomiarów parametrów warstw epitaksjalnych wykorzystywany jest: spektrometr w zakresie podczerwieni (pomiar grubości), zestaw do pomiaru profili rozkładu domieszki w warstwach epitaksjalnych metodą rezystancji rozptyłu w styku punktowym (SPR 2000) i metodą pojemnościowo-napięciową C-V z sondą rtęciową (CV-2000). Do pomiarów rezystywności płytek ze złączem epitaksjalnym p/n służy sonda czterostrzowa.

W Zakładzie Epitaksji prowadzone są prace naukowo-badawcze w zakresie inżynierii struktury defektowej materiałów półprzewodnikowych dotyczące badania centrów defektowych w półprzewodnikach o szerokiej przerwie energetycznej (GaN, SiC, GaP), służące określeniu

odporności krzemu na radiację oraz modelowania wpływu właściwości i koncentracji centrów defektowych na parametry elektryczne materiałów półprzewodnikowych. Badania te umożliwia zastosowanie rozwiniętych w Zakładzie metod pomiarowych: niestacjonarnej spektroskopii pojemnościowej o wysokiej rozdzielczości (Laplace DLTS) oraz niestacjonarnej spektroskopii fotoprądowej o wysokiej rozdzielczości (HRPITS). Opracowano w Zakładzie i zestawiono unikatowy w skali światowej układ pomiarowy (HRPITS).

Zespół Zakładu uczestniczymy w programie pt. „Radiation hard semiconductor devices for very high luminosity colliders – RD 50” koordynowanym przez CERN. Realizuje również projekt pt.

Zakład Epitaksji

„Wysokorezystywny krzem wzbogacony w azot jako nowy materiał do wytwarzania detektorów cząstek o wysokiej energii”, którego celem jest opracowanie technologii wytwarzania monokrystalicznych płytek krzemowych charakteryzujących się koncentracją azotu powyżej $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ i rezystywnością $\sim 2000 \Omega\text{cm}$ oraz porównanie odporności radiacyjnej płytek wzbogaconych w azot z odpornością płytek wytwarzanych z kryształów otrzymywanych metodą FZ.

Zakład Epitaksji i Charakteryzacji

Zakład Epitaksji i Charakteryzacji to jeden z produkujących zakładów ITME, w którym prowadzone są prace związane ze wzrostem struktur epitaksjalnych stosowanych w przemyśle elektronicznym. Działalność Zakładu koncentruje się na badaniach nad epitaksjalnymi strukturami związków półprzewodnikowych III-V i IV-IV dla zastosowań elektronicznych oraz wytwarzaniu wysokiej jakości

ści grafenu na SiC, Ge, podłożach metalicznych a także na transferze technologii do przemysłu. Zespół składa się z 25 specjalistów – profesorów, doktorów, doktorantów i technologów z ogromnym doświadczeniem w dziedzinach fizyki półprzewodników, epitaksji związków półprzewodnikowych i ich charakteryzacji.

Naukowcy aktywnie uczestniczą w wielu programach, włączając w to projekty europejskie takie jak: Graphenics, Graphica czy Graphene Flagship, a uzyskiwane rezultaty badań z sukcesem są wykorzystywane w technologii wytwarzania materiałów i przyrządów półprzewodnikowych.

Profesjonalne urządzenia technologiczne typu R&D umożliwiają wytwarzanie epitaksjalnych struktur o najwyższej jakości związków na bazie GaAs, InP, GaN, GaSb oraz SiC stosując metodę Metalorganic Chemical Vapour Deposition (MOCVD) oraz Chemical Vapour Deposition (CVD).

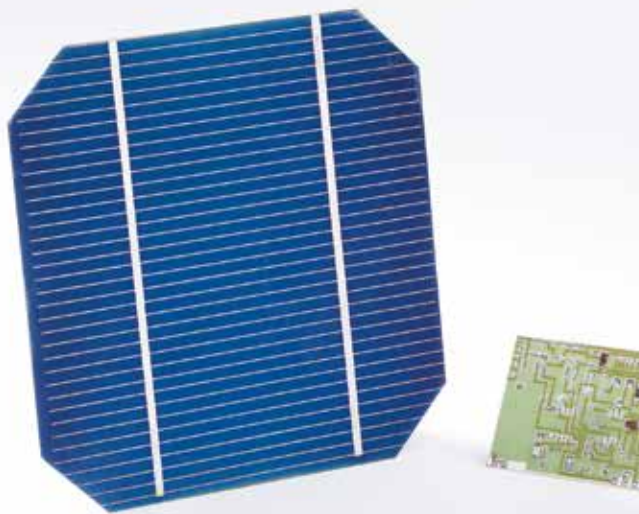
Zakład jest wyposażony w aparaturę do charakteryzacji materiałów półprzewodnikowych, grafenu i nowych materiałów 2D następującymi metodami: mikroskopia optyczna, optyczna profilometria, mikroskopia elektronowa, mikroskopia sił atomowych, fotoluminescencja, elipsometria, spektroskopia Ramana, spektroskopia

masowa jonów wtórnych, efekt Halla, metoda napięciowo-pojemnościowa, pomiary mikrofalowe, spektroskopia fotoelektronów.

Naukowcy współpracują z wieloma czołowymi ośrodkami badawczymi i akademickimi w kraju i zagranicą w obszarze fizyki ciała stałego, technologii elektronicznej, elektroniki i inżynierii materiałowej.

Zespół Zakładu wspólnie z partnerami komercyjnymi prowadzi działalność w zakresie produkcji materiałów półprzewodnikowych oraz grafenu.





Zakład Materiałów Grubowarstwowych jest głównym producentem past elektronicznych stosowanych w technologii grubowarstwowej.

Oferta Zakładu obejmuje:

Pasty do wypalania na podłoża ceramiczne

Zakład oferuje szeroki wachlarz materiałów grubowarstwowych przeznaczonych na różne podłoża ceramiczne (głównie na ceramikę alundową), z możliwością wypalania w zakresie 500 – 1100 °C.

Są to m.in.:

- pasty przewodzące (Ag, PtAg, PdAg);
- pasty rezystywne (w oparciu o RuO_2 , 10 – 100 k $\Omega/\square$);
- pasty dielektryczne;
- fotoformowalne pasty przewodzące o wysokiej rozdzielczości (Ag, Au, Pt – ścieżka/odstęp 30/40 μm szerokości) wykorzystywane zwłaszcza do wytwarzania niskostratnych mikrofa-

lowych elementów biernych takich jak: filtry, sprzęgacze i rezonatory.

Wszystkie materiały dostępne w ofercie są zgodne z dyrektywą RoHS.

Atramenty dla elastycznej elektroniki

Zespół Zakładu prowadzi badania materiałów przeznaczonych dla elektroniki organicznej do wygrzewania w temperaturze poniżej 300 °C. Opracowane materiały mogą być nanoszone na podłoża elastyczne nie tylko metodą sitodruku, ale również za pomocą druku natryskowego (spray coating) i strumieniowego (inkjet painting). Do wytwarzania atramentów stosowane są m.in.: nanorurki węglowe, nanopłatki grafenowe i tlenki grafenu. Atramenty mogą być wykorzystane do wytwarzania anten i transparentnych elektrod.

Pasty opracowane na potrzeby tradycyjnej techniki sitodruku do zastosowań na podłożach elastycznych są przeznaczone do utwardzania w niskich temperaturach poniżej 150 °C.

Pasty nanosrebrowe spiekane poniżej 300 °C

Pasty z nanosrebrem można stosować na różnych podłożach, zarówno ceramice, szkłe, podłożach aluminiowych i miedzianych, jak i foliach poliamidowych. Właściwości termiczne i elektryczne tych past są zbliżone do srebra objętościowego, dzięki czemu mogą one z powodzeniem zastąpić galwaniczną metodę srebrzenia złączy aluminiowych stosowanych w liniach elektroenergetycznych. Oferta Zakładu obejmuje także pasty nanosrebrowe przeznaczone do niskotemperaturowych połączeń z możliwością spiekania w temperaturze 250 °C i ciśnieniu od 2,5 MPa. Dopuszczalna temperatura pracy takich elementów po spieczeniu sięga powyżej 350 °C, a uzyskiwane przewodnic-

Zakład Materiałów Grubowarstwowych

two cieplne jest powyżej 250 W/mK. Takie pasty są doskonałe do łączenia struktur półprzewodnikowych mocy do metalowych chłodnic.

Zakład wyposażony jest w urządzenia do technologii grubowarstwowej m.in. nowoczesną sitodrukarkę, suszarki IR i UV, piec taśmowy.

Zespół Zakładu oferuje współpracę w dziedzinie materiałów grubowarstwowych dostosowanych do indywidualnych potrzeb i oczekiwań klientów, jak również pomoc w projektowaniu i wykonaniu układów grubowarstwowych.

Zakład Materiałów Funkcjonalnych

Prace prowadzone w Zakładzie Materiałów Funkcjonalnych dotyczą rozwoju i wytwarzania materiałów krystalicznych. Misją zespołu jest rozwój podstawowych i aplikacyjnych badań w zakresie wzrostu kryształów, nowych materiałów kompozytowych i metod charakteryzacji. Specjaliści rozwijają technologie wzrostu monokryształów tlenkowych, związków $A^{III}B^V$ oraz 4H- i 6H-SiC. Prowadzą również badania wzrostu metamateriałów, materiałów plazmo-

nicznych i eutektyków wykorzystując technologię mikrowyciągania. Naukowcy oferują też współpracę w zakresie projektów naukowych, jak i tych prowadzonych wspólnie z partnerami przemysłowymi.

Materiały

- związki $A^{III}B^V$ (GaAs, InAs, GaP, GaSb) otrzymywane metodą Czochralskiego,
- monokryształy tlenkowe (YAG, GdCOB, SBN, YVO, NGO i inne, dostępne na zamówienie) otrzymywane metodą Czochralskiego,
- monokryształy CaF_2 i BaF_2 otrzymywane metodą Bridgmana,
- monokryształy SiC (4H i 6H) otrzymywane metodą PVT,

- inne specjalne optyczne i elektroniczne materiały (na życzenie odbiorcy),
- nowe materiały otrzymywane w niewielkich ilościach metodą mikrowyciągania.

Obróbka

- obróbka podłoży kwarcowych o grubości 0,3 mm i średnicy do 75 mm oraz o grubości 0,5 mm i średnicy do 100 mm,
- obróbka monokryształów oraz płytek SiC,
- obróbka elementów optycznych wykonanych z monokryształów tlenkowych i fluorkowych.

Charakteryzacja

- mikroskopia optyczna,
- dylatometria,
- symultaniczna analiza termiczna (kalorymetria różnicowa, różnicowa analiza termiczna, analiza termogravimetryczna),
- spektrofotometria.

Wykorzystując specjalistyczną wiedzę zespół Zakładu proponuje pomoc w zakresie rozwoju technologii wzrostu monokryształów (know-how) a także obróbki.





W Zakładzie opracowuje się technologię przyrządów półprzewodnikowych na podłożach monokrystalicznych i warstwach epitaksjalnych wytwarzanych w ITME. Oferta obejmuje tranzystory, detektory UV, maski chromowe o bardzo wysokiej precyzji oraz dyfrakcyjne elementy optyczne w zakresie promieniowania UV – widzialnego, podczerwonego i terahercowego. Dzięki projektowi Centrum Mikro- i Nanotechnologii MINOS zakład wyposażono w elektronolitograf Vistec SB251. Jest to profesjonalne urządzenie umożliwiające generację wysokorozdzielczych (poniżej 50 nm) wzorów na dużej powierzchni (20 cm x 20 cm) z siatką adresowania 1 nm.

Fotolitografia i technologia przyrządów półprzewodnikowych

Zakład oferuje produkty i technologie półprzewodnikowe:

- technologia tranzystora MESFET na GaAs, wykorzystująca bezpośrednią implantację jonów

- do kryształu półizolacyjnego,
- detektory promieniowania X, α i γ (GaAs),
- tranzystory HEMT oraz rezonansowe diody tunelowe (RTD) z GaAs/InGaAs/AlGaAs,
- tranzystory HEMT oraz rezonansowe diody tunelowe (RTD) z InP/InGaAs/InAlAs,
- detektory UV oparte na diodach Schottky'ego GaN/AlGaN oraz diodach p-i-n,
- tranzystory HEMT z GaN/AlGaN,
- wysokonapięciowe diody Schottky'ego na SiC,
- technologię wytwarzania laserów SCH (separate confinement heterostructure).

Elektronolitografia i nanoimprint

Laboratorium Masek oferuje:

- bezpośrednią generację wzorów E-beam na płytkach półprzewodnikowych oraz optycznych (np. Si, Ge, GaAs, InP, SiC, kwarc), rozmiary podłoży od $\varnothing$ 50 mm do $\varnothing$ 150 mm (SEMI Standard), dokładność centrowania < 15 nm;

- maski chromowe dla fotolitografii kontaktowej oraz projekcyjnej, rozmiary podłoży od 4" x 4" do 7" x 7", siatka adresowania 1 nm, dokładność pasowania maski do maski < 5 nm;
- dyfrakcyjne elementy optyczne o profilu binarnym i wielopoziomym, m.in.:
 - dyfrakcyjne mikrosoczewki i macierze mikrosoczewek (sferyczne, cylindryczne, eliptyczne itd.),
 - elementy kształtujące i koncentrujące wiązki laserowe (również dla diod paskowych),
 - siatki dyfrakcyjne, kinoformowe filtry próbujące,
 - hologramy;
- maski fazowe dla światłowodowych siatek Bragga:
 - binarne i apodyzowane wielopoziomowe maski na podłożu kwarcowym;
- wzorce i stemple robocze do procesów NANO IMPRINT

Zakład Zastosowań Materiałów A^{III}B^V

rozmiary podłoży od $\varnothing$ 50 mm do $\varnothing$ 100 mm, min. szerokość linii (rozdzielczość) 50 nm.

- litografia UV NANO IMPRINT na płytkach półprzewodnikowych, szklanych i polimerowych, technologia: kopiowanie wzoru w rezystach utwardzanych promieniowaniem UV, obustronne centrowanie wzoru, rozdzielczość 50 nm, rozmiary podłoży od $\varnothing$ 50 mm do $\varnothing$ 100 mm.
- litografia HOT EMBOSsing NANO IMPRINT do powielania struktur binarnych oraz 3D, technologia: kopiowanie struktur w warstwie rezystu termoutwardzalnego lub w termoplastycznym podłożu polimerowym, rozdzielczość 50 nm, rozmiary podłoży od $\varnothing$ 50 mm do $\varnothing$ 100 mm.

Zakład Piezoelektroniki

Działalność Zakładu Piezoelektroniki koncentruje się na następujących zakresach tematycznych:

- charakteryzacja nowych kryształów piezoelektrycznych. Pomiary tensorów własności elastycznych, piezoelektrycznych i przenikalności elektrycznej;
- obliczenia i pomiary parametrów akustycznych fal powierzchniowych (AFP), akustycznych fal pseudo-powierzchniowych (AFPP),

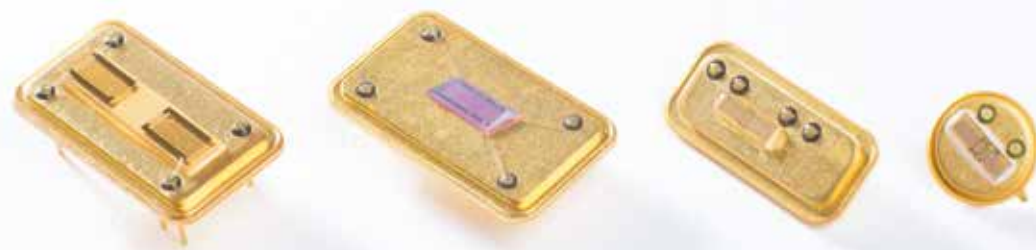
akustycznych poprzecznych fal powierzchniowych (APFP), akustycznych modów płytowych (AMP) i modów Lamba w kryształach piezoelektrycznych. Zakład dysponuje programami komputerowymi do obliczeń parametrów wymienionych typów fal oraz odpowiednim wyposażeniem pomiarowym;

- projektowanie i wytwarzanie podzespołów z różnego rodzaju falami akustycznymi do zastosowań w telekomunikacji i w czujnikach piezoelektrycznych. Karty katalogowe oferowanych podzespołów są dostępne na stronie internetowej ITME (na podstronie Zakładu);
- prace badawcze dotyczące nieniszczących metod oceny stanu technicznego konstrukcji;
- prace badawcze i wdrożeniowe dotyczące piezoelektrycznych czujników lepkości, temperatury i ciśnienia.

Wybrane osiągnięcia badawcze:

- wyznaczono tensory opisujące własności elastyczne, piezoelektryczne i przenikalności elektryczne kryształu GaN w ramach grantu przyznanego przez Armię USA. Zaprojektowano i wykonano rezonatory z akustyczną falą powierzchniową na tym kryształach. Zbadano właściwości AMP w płytkach cięcia Z;
- wyznaczono tensory opisujące własności elastyczne, piezoelektryczne i przenikalności elektryczne monokryształu tlenoboranu neodymowo-wapniowego, $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ w ramach grantu przyznanego przez Narodowe Centrum Nauki;
- zbadano właściwości AFP i AMP w nowym kryształach $\text{SrLaGa}_3\text{O}_7$ w temperaturze do 500 °C;

- zaprojektowano i wykonano synchroniczny rezonator czwórnikowy z akustyczną falą powierzchniową na tlenoboranie gadolinowo-wapniowym $\text{GdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$. Zmierzone jego parametry w temperaturze do 500 °C;
- zaprojektowano i wykonano system do bezprzewodowego pomiaru temperatury w zakresie 0–100 °C. Jako element termoczuły zastosowano rezonator kwarcowy z APFP;
- zaprojektowano i wykonano laboratoryjny model miernika lepkości z wykorzystaniem rezonatora kwarcowego z AMP.
- zbadano właściwości wybranych modów Lamba w niobianie litu o orientacji YX;
- zbadano właściwości AFP w wytworzonym metodą Czochralskiego kryształach $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ o orientacji ZX45°.







Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych

ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

tel.: (+48 22) 835 30 41

fax: (+48 22) 864 54 96

e-mail: itme@itme.edu.pl

www.itme.edu.pl



