ZAKŁAD TECHNOLOGII MIKROSYSTEMÓW I NANOSTRUKTUR KRZEMOWYCH

Kierownik: dr inż. Piotr GRABIEC, prof. nadzw. w ITE
e-mail: grabiec@ite.waw.pl,
tel. (0-22) 716 59 92, fax (0-22) 716 59 91

Zespół: mgr inż. Jan Bar, mgr inż. Anna Baraniecka,
dr inż. Tomasz Bieniek, mgr inż. Tadeusz Budzyński,
mgr inż. Rafał Dobrowolski, dr inż. Krzysztof Domański,
dr inż. Magdalena Ekwińska, mgr inż. Marianna Górska,
mgr inż. Remigiusz Grodecki, mgr inż. Hubert Hara,
dr inż. Paweł Janus, mgr inż. Bohdan Jaroszewicz,
dr inż. Stanisław Kaliciński, mgr inż. Helena Kłos,
mgr inż. Jan Koszur, mgr inż. Paweł Kowalski,
inż. Witold Król, dr inż. Krzysztof Kucharski,
mgr inż. Bogdan Latecki, mgr inż. Jan Lesiński,
dr hab. inż. Jan M. Łysko, prof. nadzw. w ITE,
mgr inż. Jolanta Malesińska, mgr inż. Arkadiusz Malinowski,
dr hab. inż. Jacek Marczewski, prof. nadzw. w ITE,
Waldemar Milczarek, mgr inż. Marek Nadera,
mgr inż. Marek Nieprzecki, inż. Andrzej Panas,
dr hab. inż. Dorota Pijanowska, prof. nadzw. w ITE,
mgr inż. Piotr Prokaryn, mgr inż. Andrzej Sierakowski,
mgr inż. Karina Skwara, dr inż. Wojciech Słysz,
dr inż. Dariusz Szmigiel, dr inż. Daniel Tomaszewski,
mgr inż. Iwona Węgrzecka, mgr inż. Maciej Węgrzecki,
dr inż. Michał Zaborowski

1. Badania naukowe i prace rozwojowe zrealizowane w 2011 r.

Prace prowadzone w 2011 r. w Zakładzie można podzielić na następujące grupy tematyczne:

- działalność naukowo-badawcza w ramach zadań statutowych;
- działalność naukowo-badawcza w ramach grantów MNiSW;
- działalność naukowo-badawcza w ramach 7. Programu Ramowego Unii Europerskiej i innych programów międzynarodowych;
- współpraca naukowa (poza programami UE) i działalność dydaktyczna;
- projekt MINTE (fundusz strukturalny „Mikrosystemy i NanoTechnologie Elektroniczne dla Innowacyjnej Gospodarki”).

2. Działalność statutowa

2.1. Statutowe projekty badawcze

2.1.1. Nanoelektronika i mikroinżynieria krzemowa – badanie procesów wytwarzania i integracji heterogenicznych mikrosystemów MEMS/MOEMS/NEMS i detektorów. Etap VI

Badania nad wykorzystaniem polimerów przewodzących w systemach mikrofluidycznych dla zastosowań biochemicznych

W realizacji tego zadania skupiono się na wytwarzaniu warstw polianiliny przeznaczonych do czujników optycznych, elektrochemicznych – amperometrycznych i potencjometrycznych. Czujniki optyczne z polianiliną bazują na zjawisku chromoforowym, czyli na zmianie koloru warstwy w funkcji stopnia jej utlenienia. Zmienia się przy tym przewodność elektryczna. Polianilinę można stosować jako warstwę podłożową pod warstwy receptorowe do kontroli stężenia badanego składnika w analicie. Opracowano sposób syntezowania, domieszkowania, nakładania i obróbki polianiliny na drodze chemicznego utleniania aniliny. Dotychczas wytwarzane warstwy wykazywały bardzo dużą rezystancję szeregową pojedynczego kontaktu do metalowego podłoża. W celu zmniejszenia tej wartości wykonano cykl prac eksperymentalnych z użyciem szklanych płytek i warstw złoto/tytan zamiast dotychczas stosowanej warstwy aluminium. Zastosowano nowatorską metodę izolacji elektrycznej ścieżek przewodzących. Metoda nakraplania (tj. nakładania warstwy na płaskim podłożu i odparowania rozpuszczalnika) warstwy polimerowej na złote elektrody pozwoliła uzyskać rezystancję kontaktu polianilina-Au wynoszącą ok. 5 Ω, przy powierzchni kontaktu 2 mm × 1 mm. Stosowano też inną metodę polegającą na elektrochemicznym, cyklicznym osadzaniu polianiliny w procesie elektropolimeryzacji z kwaśnego roztworu zachodzącej na elektrodzie metalowej. W celu dobrania odpowiednich warunków procesów przeprowadzono szereg prób o różnej liczbie cykli, z różnymi prędkościami zmiany potencjału pomiędzy elektrodami i w szerokim zakresie napięć. Warstwy poddano analizie spektroskopowej IR, która wykazała dobrą czystość chemiczną uzyskanego materiału.

Polianilina może być zastosowana jako materiał elektrodowy dzięki jej specyficznym właściwościom redox i przechodzeniu z postaci związku o charakterze zasadowym (zdeprotonowana polianilina) do postaci soli (sprotonowana polianilina). Tę czułość na zmiany kwasowości będzie można wykorzystywać m. in. w konstrukcjach czujników pH i do określania zawartości H_2, Cl_2, NH_3 w roztworach.

Rozważano cztery metody funkcjonalizowania polimerów: adsorpcja, pułapkowanie, pułapkowanie chemiczne, wiązanie chemiczne. Sfunkcjonalizowaną polianilinę można uzyskać zarówno na drodze polimeryzacji podstawionego monomeru, jak i przez reakcję podłączania specyficznych grup do już gotowego związku wielkocząsteczkowego. Funkcjonalizacja na poziomie monomeru pozwala uzyskać

polimer o właściwościach znacznie różniących się od związku powstałego z niepodstawionego substratu. Funkcjonalizacja monomeru (aniliny) jest przykładem podłączenia grupy funkcyjnej do pierścienia aromatycznego przez wiązanie kowalencyjne. Membrana z tak zbudowanego polimeru może być wykorzystywana np. w konstrukcjach bioczujników glukozy. Podłączanie grup funkcyjnych do pierścieni aromatycznych można realizować również po spolimeryzowaniu aniliny. Przykładem takiej reakcji jest addycja nukleofilowa. Do sfunkcjonalizowania łańcucha polianiliny można wykorzystać także reakcje podłączania specyficznych grup do heteroatomu azotu. Przykładem takiej reakcji jest tworzenie wiązania kowalencyjnego z fosfinami. Związki fosforu są przydatne w tworzeniu połączeń jonowych pomiędzy azotem (obecnym w łańcuchu polianiliny) a związkami organicznymi zdolnymi do reakcji z takimi jonami, jak Ca^{2+}. Jest to reakcja kwasowo-zasadowa i jej efektem jest stworzenie membrany jonoselektywnej.

Procesy funkcjonalizacji posłużyły do wytwarzania membran polimerowych czułych na specyficzny składnik zawarty w analizowanym medium. Reakcje chemiczne towarzyszące funkcjonalizacji w znaczący sposób modyfikowały reaktywność polimeru, ale nie dezaktywowały go elektrochemicznie. Można więc było wytwarzać membrany selektywne czułe na określone składniki analitów, a jednocześnie bardzo dobre jako materiał elektrodowy zmieniający swoje właściwości elektrochemiczne w zależności od stężenia.

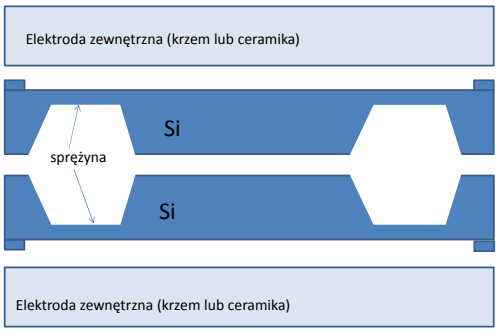
Kolejnym sposobem uzyskania selektywnego receptora do zastosowania w czujnikach chemicznych było łączenie membrany polianilinowej z warstwą generującą jony zmieniające właściwości polianiliny. Przykładem takiego pośredniego sposobu mierzenia stężenia analitu jest przeprowadzanie na powierzchni membrany reakcji enzymatycznej, w wyniku której wydzielane są jony H^+ wpływające na właściwości elektrochemiczne polianiliny. W tym przypadku polianilina spełnia jednocześnie rolę podłoża i wskaźnika stężenia. Zmianie właściwości elektrochemicznych, wynikającej z reakcji redox, towarzyszy zmiana barwy warstwy. Pozwala to na wykorzystanie takiej membrany w konstrukcjach czujników elektrochemicznych i optycznych.

Badania nad technologią wytwarzania i integracji sensorów i mikrosystemów dla zastosowań interdyscyplinarnych

W ramach tego zadania wykonano pomiary właściwości elektromechanicznych wybranych przyrządów MEMS oraz prace związane z technologią łączenia płytek krzemowych zawierających elementy ruchome oraz z technologią wytwarzania obszarów domieszkowanych w pionowych ścianach zagłębień.

Kontynuowano prace badawcze nad opracowaniem wygodnej i szybkiej metody testowania właściwości elektromechanicznych mikrostruktur, prowadzonej jeszcze na poziomie płytkowym (tj. przed pocięciem płytek). Używano do tego celu mikroskopu UBI firmy Hysitron, wyposażonego w diamentową sondę typu Berkovich. Sztywność struktur mikromechanicznych wyznaczano na podstawie

zależności wielkości strzałki ugięcia od wywieranej siły w trakcie nanoindentacji. Badano dwa rodzaje struktur: mikrobelki oraz mikrostoliki zawieszone na sprężystych ramionach. W przypadku struktur mikrostolików przeprowadzono dodatkową analizę dynamiczną z użyciem interferometru laserowego Canon DS-80. Wyniki doświadczalne porównywano z wynikami symulacji komputerowych prowadzonych z użyciem programu CoventorWare. Stwierdzone rozbieżności między wynikami pomiarowymi a obliczeniowymi przypisano błędom pozycjonowania ostrza na poszczególnych strukturach i rozrzutom grubości struktur na płytce. Wykonano analizę behawioralną z użyciem pakietu CoventorWare, podprogramu Architect. Porównano uzyskane wyniki z wynikami testów interferometrycznych. Uzyskano zadowalające wyniki testów statycznych – różnice wynosiły 8%. Pozostałe testy dały większe rozrzuty (ok. 30%), co mogło być spowodowane niewłaściwym mocowaniem próbek w interferometrze. Dlatego zaprojektowano i wykonano nowy uchwyt.



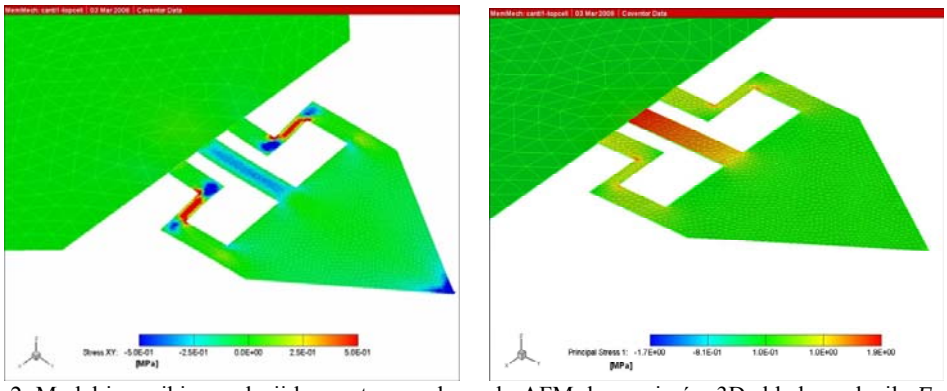
Rys. 1. Schematyczny przekrój przez docelową strukturę MEMS zawierającą cztery połączone ze sobą elementy

Wykonano prace technologiczne związane z opracowaniem procesu łączenia całych płytek zawierających ruchome struktury MEMS. Na rys. 1 przedstawiono schematyczny przekrój przez przykładową strukturę MEMS zawierającą cztery elementy (dwie ruchome elektrody wewnętrzne z krzemu i dwie elektrody zewnętrzne z ceramiki lub krzemu). Proces łączenia uzupełniono o etap wzajemnego centrowania.

Z uwagi na możliwości i potencjalne korzyści z zastosowania ceramiki alundowej (lub LTCC) w technologii krzemowej przeprowadzono próby łączenia płytek krzemowych z płytkami Al_2O_3. Z powodu dużej różnicy temperaturowych współczynników rozszerzalności TCE (ceramika ok. $8 \cdot 10^{-6}$/°C, krzem ok. $3 \cdot 10^{-6}$/°C), powodującej pękanie krzemu na etapie studzenia struktur do temperatury pokojowej, próby zakończyły się niepowodzeniem.

Doskonalono konstrukcje różnych mikro- i nanosond krzemowych używanych do badań powierzchni ciał stałych. Jedną z tych konstrukcji była opracowana we wcześniejszym okresie sonda AFM pozwalająca na skanowanie powierzchni z jednoczesną możliwością rejestracji składowych siły w osi Z (topografia) oraz w osiach XY (poprzeczne siły oddziałujące między ostrzem a powierzchnią, np. siły tarcia). Wadą sondy o tej konstrukcji był nie w pełni zadowalający system detekcji sił w płaszczyźnie XY badanej próbki. Standardowo wykonywane piezorezystory wykazywały niepożądaną, zbyt dużą czułość na ugięcie belki w osi Z, co zakłócało pomiary sił powierzchniowych XY.

Wykorzystując posiadane, nowoczesne oprogramowanie oraz zebrane wcześniej doświadczenia przeprowadzono symulacje komputerowe i wykonano obliczenia wartości maksymalnego naprężenia mechanicznego na bocznych ścianach belek (rys. 2).



Rys. 2. Model i wyniki symulacji komputerowych sondy AFM do pomiarów 3D składowych siły F_z i F_{xy} ilustrujące różnice rozkładów naprężeń mechanicznych w belkach

Rozwiązaniem problemu odseparowania składowych Z i XY mogłoby być wykonanie piezorezystorów na bocznych ścianach belek. Technologia wytwarzania tego typu struktur jest jednak bardzo skomplikowana. Wykonano próbne procesy kontrolowanego domieszkowania ścian bocznych zagłębień w celu zbadania możliwości jej opracowania. Uzyskano obiecujące wyniki. Prace nad tą technologią będą kontynuowane.

Opracowanie metody optymalizacji parametrów naświetlania w procesie fotolitografii metodą in-situ przy użyciu mikroskopu AFM

Zadanie realizowano wspólnie z zespołem Politechniki Wrocławskiej. Jego celem było opracowywanie nowatorskiej metody pomiaru geometrii mikro- i nanostruktur z użyciem mikroskopu bliskiego pola AFM, zintegrowanego z urządzeniem do bezpośredniego naświetlania wzoru HIMT DWL200. Takie rozwiązanie umożliwiłoby określanie optymalnych parametrów naświetlania wzoru przed ich wywoływaniem z użyciem struktur testowych znajdujących się poza obszarem właściwego przyrządu.

Opracowano oprogramowanie sterujące, które finalnie stanowić będzie integralną część kodu źródłowego sterującego systemem DWL. Równolegle prowadzono prace nad opracowaniem technologii dźwigni ze zintegrowanymi detektorami ugięcia i ostrzami, a także nad optymalizacją parametrów naświetlania w procesie litografii.

Typowy proces optymalizacji parametrów naświetlania przebiega dwuetapowo. W pierwszym etapie na podłożach próbnych wielokrotnie naświetlany jest wzór testowy. W drugim etapie emulsja jest wywoływana, a otrzymany wzór jest poddawany analizie wymiarowej z wykorzystaniem mikroskopu optycznego. Wybierane

są struktury, na których wzór jest najbardziej zbliżony do przyjętych założeń projektowych. Teoretyczna maksymalna zdolność rozdzielczość stosowanego mikroskopu wynosiła ok. 0,27 μm. Ta procedura bywa niewystarczająca. Trudno na podstawie obserwacji mikroskopowych wnioskować o kącie nachylenia ścian bocznych wzoru wykonanego w emulsji światłoczułej. Ten kąt jest bardzo ważnym parametrem dla poprawnego wykonywania procesów plazmowego trawienia i procesów *lift-off*. Uznano, że należy zastosować zupełnie inne techniki diagnostyczne, takie jak badania z użyciem profilometru optycznego lub stykowego ewentualnie wykonywanie przełomów poprzecznych (badania niszczące) i obserwacje z użyciem SEM.

Podstawową wadą standardowo prowadzonych procesów doboru parametrów litografii jest konieczność każdorazowego wywoływania próbek z naświetlonym wzorem testowym. Wydłuża to czas konieczny do wykonania kompletu prób, a ponadto wymaga użycia stosunkowo dużej liczby podłoży próbnych. W przypadku stosowania systemu HIMT DWL200 kłopotliwy jest dobór parametrów naświetlania na nietypowych podłożach, przy niestandardowym typie lub grubości zastosowanej emulsji światłoczułej. System umożliwia prowadzenie optymalizacji przy zmienianych parametrach przez wielokrotne naświetlenie wzoru testowego na kolejnych próbkach. Mikroskop optyczny, będącym integralną częścią systemu, ze względu na nieduże powiększenie nie pozwala na prowadzenie analiz pod kątem optymalizacji procesu. Brakuje też bloku funkcjonalnego pozwalającego na ocenę procesu.

W nowej metodzie mikroskop AFM został zintegrowany z urządzeniem do bezpośredniego naświetlania wzoru HIMT DWL200. Opracowano oprogramowanie sterujące, które będzie stanowić integralną część kodu źródłowego sterującego systemem DWL. Pozwoli to na uzyskanie dokładności centrowania 20 nm (obecnie system DWL zapewnia 200 nm), minimalizację błędu „zszywania", prowadzenie optymalizacji parametrów naświetlania bez konieczności wywoływania emulsji oraz na wykonywanie pomiarów wymiarów krytycznych z dokładnością 10 nm (obecnie system DWL zapewnia 100 nm). W mikroskopie AFM wykorzystano dźwignię działającą w modzie rezonansowym. Do wytworzenia tej struktury użyto opracowanej w Zakładzie technologii wytwarzania belek o grubości mniejszej niż 5 μm. Każda z nich jest zintegrowana z detektorem ugięcia oraz ostrzem pomiarowym. Do uformowania kształtu ostrza pomiarowego zlokalizowanego na końcu belki posłużono się nową, oryginalną metodą polegającą na zastosowaniu anizotropowego trawienia krzemu w roztworze alkalicznym z dodatkiem J_2 i KJ.

Nowo opracowana metoda optymalizacji parametrów naświetlania w procesie fotolitografii pozwala na wykonanie pomiaru (skanowania) w dowolnym miejscu na próbce o wymiarach 150 mm × 150 mm. Mikroskop AFM, używany jako dodatkowy moduł funkcjonalny systemu DWL, ma dwa niezależne układy pozycjonowania próbki względem sondy – stół systemu (zakres ruchu 200 mm w osiach X i Y, dokładność w skali pojedynczych nanometrów) i układ sondy (zakres 80 μm

w osiach X i Y; pozycjoner piezoelektryczny z zainstalowanymi sensorami tensometrycznymi w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego). Taka konfiguracja pozwala uzyskiwać obrazy powierzchni o maksymalnym zakresie 80 μm w obu osiach, z minimalną odległością między punktami 3 nm. Uzyskano to dzięki zastosowaniu w systemie karty pomiarowej NI USB-6259. Rozdzielczość przetwornika w karcie jest równa 16 bitom, co oznacza 2^{16} = 65536 poziomów kwantyzacji. Przy zakresie 20 V rozdzielczość napięciowa jest równa 0,31 mV. Taka zmiana sygnału napięciowego, pochodzącego z mostka Wheatstone'a w tensometrycznym układzie odczytu pozycji, odpowiada przemieszczeniu sondy o 2,5 nm w płaszczyźnie XY. Do skanera jest przymocowany skaner piezoelektryczny pracujący w osi Z, o zakresie ruchu 20 μm, sonda pomiarowa, a także aktuator piezoelektryczny.

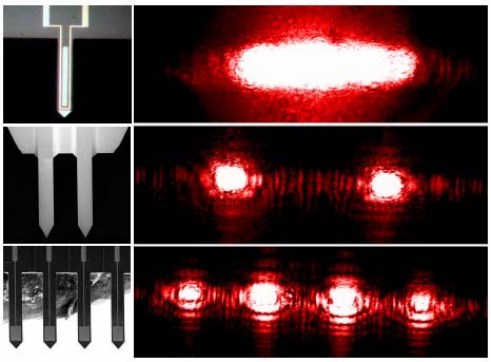
Proces skanowania jest sterowany przez nowo opracowane oprogramowanie, które umożliwia:

- dobór szybkości przesuwu skanera piezoelektrycznego w płaszczyźnie XY;
- dobór liczby punktów pomiarowych w kierunkach X i Y (od 10 do 1024);
- dobór wielkości pola skanowania (do 80 μm × 80 μm);
- dobór miejsca skanowania (dowolny na próbce o maksymalnych wymiarach 200 mm × 200 mm);
- automatyczne zbliżanie sondy pomiarowej do próbki;
- dobór sposobu przesuwu sondy nad próbką;
- ewentualną linearyzację układu odczytowego skanera XY;
- kontrolę trzech niezależnych kanałów cyfrowo-analogowych, przy jednoczesnym odczycie trzech niezależnych kanałów analogowo-cyfrowych z zadanym opóźnieniem;
- zapis mapy (X,Y,Z);
- wizualizację danych pomiarowych w postaci dwuwymiarowej mapy bitowej: surowej lub ze skorygowanym nachyleniem próbki względem płaszczyzny przesuwu skanera (XY).

Zastosowane innowacyjne rozwiązanie zgłoszono do ochrony w Urzędzie Patentowym RP, a zakres geograficzny ochrony rozszerzono na Niemcy, Francję, Wielką Brytanię, Włochy i Austrię.

Badania nad krzemowymi detektorami promieniowania dla zastosowań interdyscyplinarnych

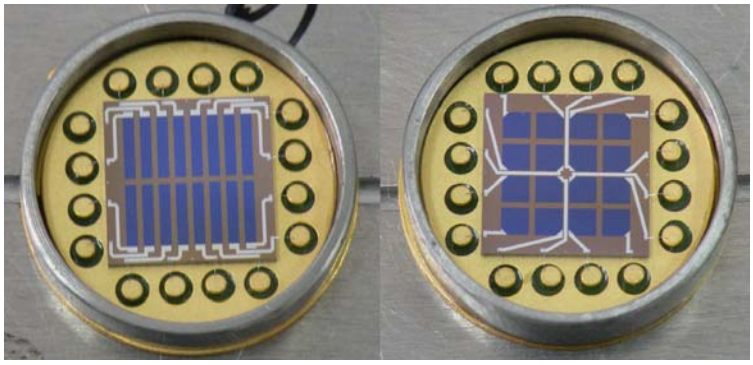
Rozwijana była technika czujników mikrodźwigniowych. Skonstruowano system pomiarowy oraz opracowano nowatorską metodę optycznego monitorowania parametrów mechanicznych czujników mikrodźwigniowych. Typowo stosuje się metodę odbicia wiązki optycznej OBD (*Optical Beam Deflection*) polegającą na odbiciu wiązki optycznej od powierzchni badanego czujnika i na pomiarze kąta ugięcia z użyciem detektora pozycji plamki świetlnej. W ramach współpracy z Politechniką Wrocławską opracowano metodę odbicia rozszerzonej



Rys. 3. Obrazy plamek odbitych od pojedynczego czujnika mikrodźwigniowego oraz od macierzy czujników uzyskane z wykorzystaniem kamery CCD

wiązki świetlnej EBD (*Expanded Beam Deflection*). Metoda ta ma wiele zalet w porównaniu z OBD. Pozwala zwłaszcza na stosowanie aparatury o niewielkich rozmiarach, charakteryzuje się łatwością justowania optyki, jednoczesnością, szybkością oraz dużą czułością pomiaru. Wymaga jednak specjalistycznych detektorów do jednoczesnego pomiaru ugięcia wielu wiązek świetlnych przedstawionych na rys. 3.

W związku z brakiem detektorów o odpowiednich parametrach podjęto działania w celu wytworzenia macierzy 16-sekcyjnych. Wykonano projekt konstrukcji, opracowano technologię i wytworzono serię testową 20 detektorów. Modele fotodiod 16-segmentowych miały wymiary 7,5 mm × 7,5 mm, z odstępem między oknami detekcyjnymi 0,25 mm. Struktury te mają po 16 wyprowadzeń elektrycznych. W jednej wersji konstrukcyjnej (2×8) moduł elementu wynosi 0,75 mm × 3,25 mm, a w drugiej (4×4) odpowiednio 1,5 mm × 1,5 mm. Fotodiody zmontowano w 16-przepustowych obudowach typu TO-8 z pierścieniem zabezpieczającym (rys. 4). Przyrządy są obecnie testowane.



Rys. 4. Fotodiody 16-segmentowe – wersje 2×8 i 4×4

W 2011 r. kontynuowano prace nad epiplanarnymi i planarnymi detektorami o strukturze p^+-ν-n^+ do detekcji cząstek α oraz do detekcji promieniowania optycznego. W ramach tych prac:

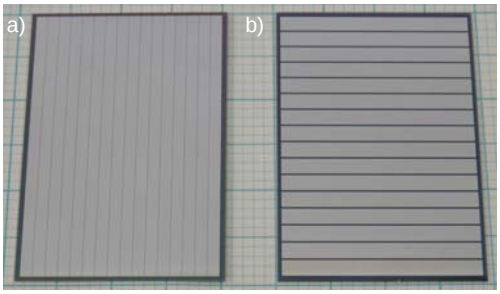
- opracowano model nowego, dwustronnego detektora paskowego (typ DSSSD 16×16);
- opracowano dwa modele 16-segmentowych fotodiod;
- przeprowadzono wstępne badania przyczyn niestabilności parametrów sensorów neutronów wykrytych w czasie badań aplikacyjnych w Institut für Strahlenschutz, Helmholtz Zentrum München, GmbH.

W 2011 r. Zakład osiągnął kolejny znaczący w skali światowej sukces naukowy – dzięki zastosowaniu opracowanych detektorów pierwiastek 114 został uznany za istniejący i wpisany do układu okresowego. Polski wkład w te sukcesy odnotowano w licznych zagranicznych doniesieniach prasowych i internetowych, a także w publikacjach naukowych i wystąpieniach konferencyjnych.

Opracowano dwustronny detektor paskowy DSSSD 16×16, który będzie zastosowany w GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH (Darmstadt) do modernizacji FPDB (*Focal Plane Detector Box*) separatora TASCA. Nowe detektory zastąpią stosowane dotychczas na powierzchni bocznej FPDB jednostronne detektory paskowe, co pozwoli na znaczne zwiększenie rozdzielczości detekcji cząstek odbitych (2-krotne w osi X i Y oraz 16-krotne w osi Z).

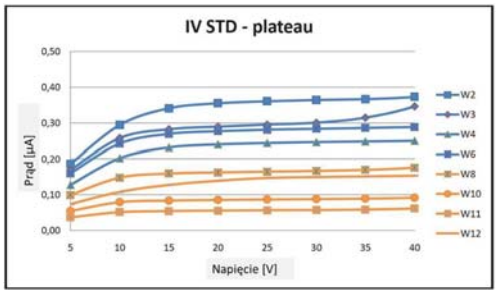
Badania aplikacyjne prototypów dozymetrów promieniowania neutronowego wykazały wzrost prądu ciemnego detektorów podczas ich długotrwałej eksploatacji. Przeprowadzono dodatkowe badania, do których użyto przechowywanych, ale jeszcze nie zmontowanych struktur detektorów pochodzących z tej samej serii co zmontowane i przekazane do HZM detektory modelowe. Badania wykazały tylko niewielki rozrzut wartości prądu ciemnego i jego niezmienność w czasie przechowywania, ale też potwierdziły przypadki wzrostu wartości prądu ciemnego w czasie długotrwałego obciążenia elektrycznego. Przeprowadzono wstępne badania w celu określenia natury tego zjawiska i wyeliminowania go.

Opracowano model dwustronnego detektora paskowego DSSSD 16×16 mającego strukturę dwustronną, planarną, p^+-ν-n^+, o stosunkowo dużej powierzchni (74 mm × 48 mm) – rys. 5. Obudowy wykonano z czterech płytek laminatu epoksydowo-szklanego z pozłacanymi polami montażowymi przeznaczonymi do bondingu drutowego, ścieżkami przewodzącymi i 32-wyprowadzeniowym gniazdem (na płytce głównej). Zmontowane i wyselekcjonowane struktury modelowe detektorów DSSSD 16×16 zostaną przekazane do dalszych badań aplikacyjnych w ramach współpracy ITE z GSI.



Rys. 5. Struktury DSSSD 16×16: a) strona p^+ („górna”), b) strona n^+ („dolna”)

We współpracy z Institut für Hochenergiephysik w Wiedniu, w ramach udziału ITE w pracach Central European Consortium (CMS-CERN), prowadzono prace związane z charakteryzacją całkowicie zubożonych paskowych detektorów promieniowania jonizującego. W 2010 r. opracowano nową technologię takich detektorów z częściowym wykorzystaniem technologii CMOS z bramką aluminiową. Przy jej realizacji dążono do eliminacji tzw. pinholi, czyli zwarć w obszarach tlenku związanych z występowaniem residuów azotku krzemu na powierzchniach struktur po procesie trawienia plazmowego. Wytworzono dwie wersje technologiczne przyrządów – standardowych detektorów paskowych CMOS z bramką polikrzemową



Rys. 6. Prąd ciemny detektorów paskowych wykonanych w różnych technologiach – z bramką odczytową poli-Si (W2-W6) oraz w technologii z bramką Al (W8-W12)

(oznaczoną jako STD) oraz nowatorską, prototypową konstrukcję detektorów CMOS z podwójną metalizacją (oznaczoną jako PAD). Na rys. 6 pokazano wyniki pomiarów prądów ciemnych przy napięciu 15 V obu wersji przyrządów. Widać dwukrotną poprawę wartości tego parametru. Nie stwierdzono innych istotnych różnic między obiema wersjami konstrukcyjno-technologicznymi charakterystyk prądów ciemnych w zakresie dużych napięć.

Porównano rezystancje oporników polikrzemowych zapewniających wsteczną polaryzację złączy. Dla technologii STD uzyskano oporności w zakresie od 9,5 do 13,8 MΩ, przy projektowej wartości 10 MΩ. Dla technologii PAD wartości tej oporności były nieco mniejsze i mieściły się w zakresie od 6,2 do 11,2 MΩ. Stwierdzono, że nowa technologia pozwala uzyskiwać znacznie mniejsze wartości prądów upływu dielektryka odczytowego, zbliżone do minimalnych możliwości pomiarowych systemu.

2.1.2. Opracowanie i implementacja metodologii systemu prototypowania

Zadanie było realizowane indywidualnie przez dr. inż. Tomasza Bieńka jako wydzielony tematycznie i finansowo statutowy projekt badawczy służący rozwojowi młodych naukowców w ITE w 2011 r. Skupiono się na opracowaniu metodologii systemu prototypowania mikro- i nanourządzeń w trybie „fabless". Dokonano przeglądu rynku i stworzono użyteczną bazę danych o ofertach technologicznych w kraju i na świecie. Przeprowadzono przegląd dostępnych narzędzi komputerowych wspomagających prototypowanie. Zaprojektowano strukturę testową MEMS – mikrochwytak.

Stworzono katalog krajowych i zagranicznych firm oferujących komercyjnie usługi z zakresu mikro- i nanotechnologii. Oceniono kilka wybranych, przykładowych ofert takich usług, jak technologia MEMS XM10A17 oferowana przez X-FAB, technologia CMOS AMS C35 AustriaMicroSystems oferowana w ramach Europractice, Applied NanoStructures, Inc., Metrigraphics, ELDOS Wrocław, ALLVIA Inc. i in.

Wykonano projekt masek struktury testowej (mikrochwytaka) w technologii i według reguł projektowania firmy X-FAB. Projekt składał się z sześciu poziomów. Użyto narzędzia CoventorWare 2010 firmy Coventor, a do wizualizacji i wirtualnej fabrykacji narzędzia SEMulator3D firmy Coventor oraz skryptów opracowanych w ITE. Zaprojektowana struktura testowa składała się z elementu

„chwytającego”, dwóch sekcji napędów grzebieniowych i sprężyn, na których zawieszono części ruchome napędu.

2.2. SPUB – specjalne urządzenie badawcze

W 2011 r. część wydatków związanych z utrzymaniem w stanie gotowości operacyjnej potencjału technologicznego Laboratoriów Mikrosystemów i NanoTechnologii Elektronicznych dla Innowacyjnej Gospodarki MINTE oraz Mikromontażu Mikrosystemów i Detektorów została pokryta z dotacji SPUB. Dotacja umożliwiła też pokrycie części kosztów związanych z utrzymaniem dostępu krajowego środowiska badawczego do technologii mikro- i nanoelektronicznych opracowywanych w ITE. Oferta obejmowała technologie wytwarzania układów i systemów mikro- i nanoelektronicznych, wyspecjalizowanych fotodiod, fotodetektorów, detektorów promieniowania oraz heterogenicznych mikrosystemów do zastosowań interdyscyplinarnych, a także wykonywanie modelowania różnego rodzaju mikro- i nanostruktur.

3. Projekty badawcze

MNS DIAG Mikro- i nanosystemy w chemii i diagnostyce biomedycznej
Kierownik projektu: dr inż. Krzysztof Domański

Opracowywano elementy technologii wytwarzania czujników chemicznych oraz przyrządów biomedycznych. Wytworzono m. in. piezorezystywne mikrodźwignie krzemowe ze złotymi elektrodami przeznaczonymi do funkcjonalizacji powierzchni. Będą one elementami matryc czujników mikrochemicznych opracowywanych przez partnerów z Politechniki Wrocławskiej, a przeznaczonych do detekcji endotoksyn bakterii Gram-ujemnych. Wytworzono struktury prekoncentratorów gazu dla partnerów z Akademii Górniczo-Hutniczej opracowujących mikrosystem pomiarowy do analizy wydychanego powietrza. Wytworzono kolejną wersję podstawek krzemowych do pozycjonowania światłowodów i kapilar w przyrządzie do określania na postawie analizy wydzielin ustrojowych faz płodności zwierząt, opracowywanym przez zespoły z Politechniki Warszawskiej i Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego.

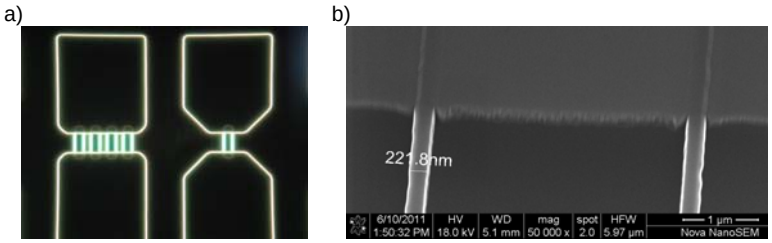
MIME Nowoczesne materiały i innowacyjne metody dla przetwarzania i monitorowania energii 2010–2013
Kierownik projektu: dr inż. Eliana Kamińska, prof. nadzw. w ITE

Realizowano trzy zadania: technologia wytwarzania cienkich warstw nadprzewodników niskotemperaturowych, charakteryzacja warstw nadprzewodników niskotemperaturowych i struktur próbnych NDMS, wytworzenie i charakteryzacja struktur i systemów detektorów NDMS. Opracowano, przy zastosowaniu techniki

sputteringu magnetronowego, technologię nakładania nadprzewodnikowych warstw NbTiN o grubości 10 ÷ 20 nm. Wykonywano warstwy NbTiN o zawartości Ti/Nb od 8 do 34% at. Uzyskano nowe warstwy NbTiN charakteryzujące się temperaturą krytyczną rzędu 12 ÷ 13 K o poprawnej strukturze i morfologii. Wykonano serię paskowych struktur próbnych do pomiaru prądu krytycznego. W celu pełniejszej charakteryzacji używano metody transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Wykonano pomiary transmisji i absorpcji w temperaturze pokojowej oraz transmisji w temperaturze 10 K. Przeprowadzono pomiary gęstości prądu krytycznego J_{kr} w warstwach nadprzewodzących w zakresie temperatur 4,5 ÷ 14,5 K. Uzyskano w najlepszych próbkach wartości $J_{kr} = 8 \cdot 10^6$ A/cm^2, co jest wynikiem dwa razy lepszym niż zakładano. Prowadzono prace nad kriogenicznym układem pomiarowym. Opracowano technologię wykonania warstw antyrefleksyjnych SiO_2 i Si_3N_4 dla struktur NbN, rezonatora dielektrycznego i lustra metalicznego. Zajmowano się problemem sprzęgania nanostruktur NbN ze światłowodami jednodomowymi.

BIOMOL Nanoelektroniczne przyrządy do detekcji pojedynczych biologicznie aktywnych molekuł w roztworach wodnych
Kierownik projektu: dr inż. Piotr Dumania

Celem projektu jest opracowanie nowych czujników biologicznych. Elementy sensorowe typu FET zostały umieszczone w nanodrutach krzemowych pokazanych na rys. 7. W 2011 r. wytworzono w nanodrucie czujniki typu ISFET z warstwą aktywną azotku krzemu. W trakcie opracowania jest funkcjonalizacja czujników w celu wykrywania protein i innych cząsteczek biologicznych.



Rys. 7. Mikrofotografie struktur: a) w ciemnym polu mikroskopu optycznego, b) powiększenie z użyciem SEM

AKTUMETR Mikroprzyrządy pomiarowe zintegrowane z aktuatorami dla zastosowań nanometrologicznych i nanodiagnostycznych
Kierownik projektu: dr inż. Magdalena Ekwińska

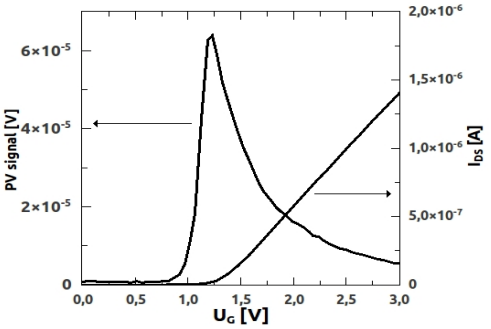
Realizację projektu rozpoczęto w listopadzie 2010 r. W 2011 r. skoncentrowano się na przeprowadzeniu symulacji struktur wykorzystujących napęd elektrostatyczny, wykonaniu prób technologicznych oraz serii próbnej. Symulacje przeprowadzono przy wykorzystaniu programu CoventorWare. Analizie poddano trzy typy struktur: mikrostoliki, mikropopychacze oraz mikrochwytaki. Przeprowadzono próby technologiczne dla najistotniejszych z punktu widzenia technologii procesów. Wykonano serię próbną zaprojektowanych struktur.

Opracowanie i optymalizacja demonstratora technologii wykrywania skażeń biologicznych wykorzystujących metodę cieczowej cytometrii przepływowej PBZ/28-208-4.3.2/2007/WAT
Kierownik projektu: dr hab. inż. Jan M. Łysko, prof. nadzw. w ITE

Realizację projektu zakończono w lutym 2011 r. Sporządzono końcowe, merytoryczne i finansowe sprawozdanie ITE z przydzielonych zadań. W siedzibie koordynatora projektu (WAT) odbyło się wspólne seminarium wszystkich wykonawców oraz komisji ekspertów i dowództwa WAT, podczas którego zaprezentowano wytworzoną w projekcie aparaturę i podsumowano uzyskane wyniki naukowe.

THz Zaprojektowanie i wykonanie detektora promieniowania sub-THz działającego w oparciu o krzemowy tranzystor MOS
Kierownik projektu: dr hab. inż. Jacek Marczewski, prof. nadzw. w ITE

Projekt, którego ITE jest koordynatorem, dotyczy konstrukcji detektora promieniowania sub-THz, opartego na krzemowym tranzystorze polowym MOS. Wykorzystanie tranzystorów polowych MOS jako detektorów promieniowania THz jest na świecie przedmiotem badań. Rolą ITE jest opracowanie technologii detektora na pasmo 0,1 ÷ 0,3 THz i wykonanie prototypu. Na rys. 8 przedstawiono charakterystykę częstotliwościową selektywnego detektora na pasmo 340 GHz wytworzonego na linii Z-2.



Rys. 8. Zależność sygnału detekcji od napięcia polaryzującego bramkę (lewa oś pionowa) oraz charakterystyka przejściowa tranzystora (prawa oś pionowa). Sygnał detekcji otrzymano dla częstotliwości 335 GHz. Tranzystor jest zintegrowany monolitycznie z anteną.

Mikroprzepływowy układ do testów immunoenzymatycznych ELISA opartych na detekcji amperometrycznej do oznaczania fibrynogenu
Kierownik projektu: mgr inż. Anna Baraniecka

W ramach projektu zaprojektowano i wykonano immunoczujniki, w których działaniu jest wykorzystywany test immunoenzymatyczny ELISA i detekcja amperometryczna. Czujniki są przeznaczone do prowadzenia oznaczeń fibrynogenu. Zastosowano w nich skierowane przeciw ludzkiemu fibrynogenowi mysie przeciwciała IgG, znakowane fosfatazą alkaliczną zestawem komercyjnym. W immunoczujnikach zachodzą trzy kolejne reakcje: immunologiczna, enzymatyczna oraz redox. Pierwsza reakcja pozwala rozpoznać i wyodrębnić analit ze złożonej próbki. Dzięki drugiej reakcji, katalizowanej przez fosfatazę alkaliczną, możliwe jest uzyskanie elektrochemicznie aktywnej substancji, czyli kwasu askor-

binowego. Trzecia reakcja polega na elektrochemicznym utlenieniu kwasu askorbinowego, co stanowi podstawę detekcji amperometrycznej. Przeprowadzono pomiary stężenia ludzkiego fibrynogenu w próbkach w zakresie 0 ÷ 8 g/l. W zakresie 0 ÷ 4 g/l uzyskano charakterystykę liniową.

4. Działalność w ramach 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej i innych programów międzynarodowych

SMAC SMArt Systems Co-Design
Zaawansowane techniki projektowania systemów inteligentnych
Kierownik projektu: dr inż. Grzegorz Janczyk

Inteligentne miniaturowe przyrządy realizujące złożone funkcje, takie jak detekcja, działanie mechaniczne, obliczenia, łączność bezprzewodowa i pozyskiwanie energii w pojedynczej malutkiej obudowie, będą kluczowymi składnikami nowej generacji w zróżnicowanych zastosowaniach, takich jak oszczędność energii, ochrona zdrowia, motoryzacja, automatyzacja produkcji i w towarach konsumpcyjnych. Wąskie gardło w opracowaniach inteligentnych systemów nie dotyczy technologii, lecz metodologii projektowania. Zaawansowane technologie montażowe, takie jak System-in-Package (SiP) i łączenia struktur układów scalonych jeden-na-drugim (3D IC) z połączeniami przez otwory w poprzek grubości podłoży krzemowych, pozwalają wytwórcom gęściej łączyć te cechy, aby spełnić wymagania odnośnie kosztów, wielkości, funkcjonalności i niezawodności. Projekt rozpoczęto w grudniu 2011 r. Jego celem jest zmniejszenie kosztów i skrócenie czasu wejścia z produktem na rynek w odniesieniu do inteligentnych systemów nowej generacji. Prace będą prowadzone w ramach Konsorcjum skupiającego 17 instytucji z 9 krajów. Zadaniem ITE jest opracowanie i walidacja symulacji cyfrowych, analogowych, MEMS i przyrządów mocy. Zostaną wykonane symulacje oraz będzie zaprojektowany i wykonany demonstrator MEMS i ASIC.

PARSIMO Partitioning and Modeling of System in Package (SiP)
Partycjonowanie i modelowanie układów typu System in Package (SiP)
Kierownik projektu: dr inż. Grzegorz Janczyk

Celem projektu jest standaryzacja i optymalizacja projektowania heterogenicznych SiP-ów, które zawierają czujniki, MEMS, RF i inne elementy obok układów mikro- i nanoelektronicznych. Modele i nowe metody modelowania zostaną opracowane w celu polepszenia dokładności obliczeń przy skróceniu czasu symulacji o rzędy wielkości. W 2011 r. uzgodniono kooperację między ITE, Politechniką Wrocławską i Instytutem Lotnictwa. Jej celem jest stworzenie demonstratora SIESTA (System of Intelligent Sensors for Experimental Avionic Applications). Zaproponowano koncepcję przyrządu i rozdzielono zadania między partnerów.

Guardian Angels – Guardian Angels for a Smarter Life
Aniołowie stróże dla inteligentniejszego życia
Kierownik projektu: dr inż. Piotr Grabiec, prof. nadzw. w ITE

Projekt Guardian Angels jest jednym z sześciu flagowych projektów pilotowych zatwierdzonych przez Komisję Europejską w ramach Programu "Future and Emerging Technologies" (FET). Celem projektów pilotowych jest przygotowanie przyszłych dwóch projektów badawczych o ogromnej skali i o wizjonerskim charakterze. Realizację projektów zaplanowano na 10 lat przy budżecie rzędu 1 mld euro.

Projekty pilotowe są projektami typu "Support Action", trwającymi 12 miesięcy. Ich zadaniem jest nakreślenie wizji właściwych projektów flagowych, opracowanie ich mapy drogowej, stworzenie konsorcjów i opracowanie projektu. Wizją proponowaną przez projekt Guardian Angels jest opracowanie inteligentnych, w pełni autonomicznych systemów („systems of systems") o zerowym poborze mocy, realizujących funkcje czujników i detektorów wykonujących niezbędne obliczenia oraz komunikujących się nawzajem bez udziału człowieka. Systemy te mają wspomagać człowieka od wieku niemowlęcego aż do późnej starości. Do zrealizowania takiej wizji niezbędne będzie opracowanie technologii i konstrukcji układów i systemów scalonych o ultraniskim poborze mocy zasilanych przez systemy zbierające energię z otoczenia („energy harvesting"). Niesłychanie istotnym elementem badań w przyszłym projekcie flagowym musi być opracowanie niezwykle czułych czujników o wysokiej sprawności i znikomo małym poborze mocy.

W ramach projektu przewiduje się opracowanie trzech generacji systemów Guardian Angels:

- systemy fizyczne monitorujące sygnały charakteryzujące stan zdrowia człowieka i podejmujące działania niezbędne dla zachowania jego zdrowia;
- systemy środowiskowe monitorujące stan otoczenia czy szerzej – środowiska i chroniące człowieka przed zagrożeniami;
- systemy emocjonalne wykrywające i sygnalizujące człowiekowi lub innym systemom wspierającym jego stan emocjonalny.

Konsorcjum zostało utworzone przez 28 partnerów z 12 krajów, przewiduje się dołączenie kolejnych. Zadaniem ITE w ramach projektu jest przeprowadzenie studium i dostarczenie Radzie Konsorcjum materiałów pozwalających na wybór członków pochodzących z nowych krajów członkowskich Unii.

Poza tym zespół ITE uczestniczy w opracowaniu wizji projektu flagowego w obszarze technologii mikrosystemów. Zespół ITE wspierał konsorcjum w przygotowaniu Konferencji Projektów Flagowych „FET Flagships Pilots Midterm Conference" organizowanej w ramach Polskiej Prezydencji UE w dniach 24–25 listopada 2011 r. w Brukseli.

NANO-TEC Ecosystems Technology and Design for Nanoelectronics
Ekosystem technologii i projektowania dla nanoelektroniki
Kierownik projektu: dr inż Piotr Grabiec, prof. nadzw. w ITE

Projekt NANO-TEC powstał w wyniku dyskusji prowadzonej na forum Rady Naukowej Europejskiej Platformy Technologicznej ENIAC. Stwierdzono, że istnieje pilna konieczność wzmocnienia współpracy czołowych europejskich ośrodków badawczych zajmujących się badaniami nad przyszłymi technologiami wytwarzania układów scalonych określanych mianem Beyond-CMOS, a w szczególności wzmocnienia współpracy między zespołami technologicznymi i zespołami specjalizującymi się w projektowaniu układów i systemów. Wzmocnienie tej współpracy już na wczesnych etapach badań ma na celu takie ich prowadzenie, aby maksymalizować szanse wdrażania nowych technologii Beyond CMOS przez przemysł. Ważne jest również ukierunkowanie badań prowadzonych w Europie na te obszary, które stwarzają największe szanse powodzenia. Celem projektu jest ponadto uświadomienie czynnikom decyzyjnym w Europie konieczności prowadzenia badań w obszarze zaawansowanych technologii nanoelektronicznych.

W ramach projektu przewidziane są cztery warsztaty, których przedmiotem jest:

- przegląd i wytypowanie najbardziej perspektywicznych technologii i przyrządów Beyond CMOS;
- analiza porównawcza (benchmarking) wytypowanych technologii i przyrządów;
- analiza SWOT technologii i przyrządów;
- podsumowanie i opracowanie rekomendacji.

W 2011 r. przygotowano i przeprowadzono dwa pierwsze warsztaty: „Identification of the Main Requirements for Future ICT Devices" (Granada, 20–21.01.2011) oraz „Benchmarking of New Beyond CMOS Device/Design Concepts" (Ateny, 13–14.10.2011). Do udziału w warsztatach zaproszono czołowych badaczy z Europy, USA i Japonii. W trakcie drugiego warsztatu zorganizowano również sesję równoległą poświęconą wybranym grupom przyrządów. Podczas obu warsztatów dyskutowano m. in. technologie przyrządów opartych na grafenie, spintronicznych, elektronikę molekularną, wykorzystanie mikro/nanosystemów i in. Szczegóły przeprowadzonych warsztatów oraz przedstawiane w ich trakcie prezentacje są dostępne na stronie internetowej projektu: https://www.fp7-nanotec.eu/ .

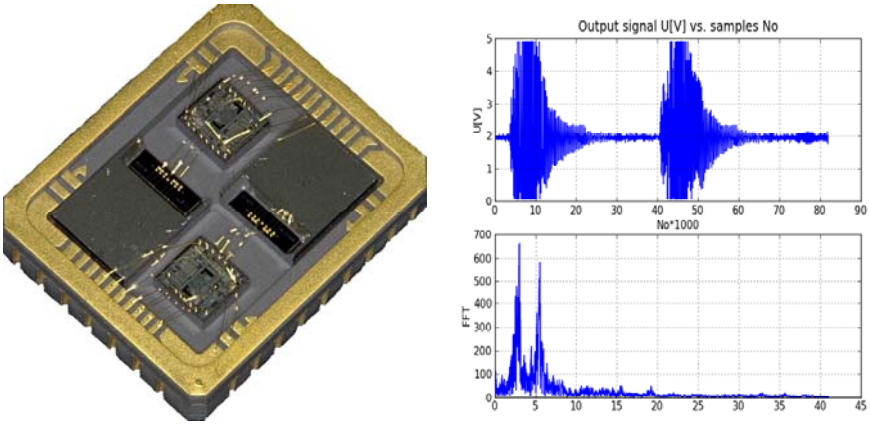
e-BRAINS Best-Reliable Ambient Intelligent Nano Sensor Systems
Inteligentne systemy nanoczujnikowe zoptymalizowane pod kątem niezawodności
Kierownik projektu: dr inż. Tomasz Bieniek

Głównym celem projektu e-BRAINS jest zwiększenie wydajności i niezawodności technologii integracji układów heterogenicznych, ze szczególnym uwzględnieniem technologii trójwymiarowej integracji oraz wytwarzania warstw zawie-

rających nanoczujniki. ITE prowadzi prace związane z hierarchicznym modelowaniem mikro- i nanosystemów. Prace badawcze są również prowadzone w zakresie niezawodności i wytrzymałości materiałów z uwzględnieniem nanorurek i nanodrutów krzemowych. Partnerzy projektu mają możliwość wykorzystania swoich doświadczeń do opracowania nowych metod badania i poprawy niezawodności w odniesieniu do technologii heterogenicznych.

SE2A Nanoelectronics for Safe, Fuel Efficient and Environment Friendly Automotive Solutions
Nanoelektronika dla bezpiecznych, efektywnych pod względem zużycia paliwa i przyjaznych dla środowiska rozwiązań
Kierownik projektu ITE: dr inż.Paweł Janus

W ostatnim roku realizacji projektu zaprojektowano i wytworzono końcową wersję czujnika wibracji (rys. 9). Rozwiązanie było z powodzeniem testowane przez partnerów projektu w układzie demonstratora. Zaprojektowany i wytworzony czujnik został użyty do pomiarów poziomu wibracji koła względem poziomu wyważenia koła.



Rys. 9. Dwuosiowy czujnik wibracji oraz wykres pomiarów obracającego się koła samochodowego (fotografia i wykresy udostępnione przez Politechnikę Wrocławską)

CORONA Customer-Oriented Product Engineering of Micro and Nano Devices
Zorientowana na klienta inżynieria produkcji mikro- i nanoprzyrządów
Kierownik projektu: dr inż. Tomasz Bieniek

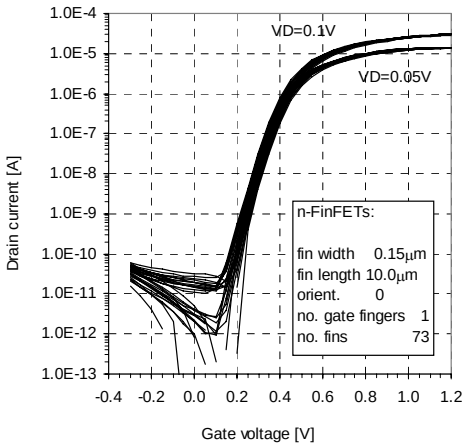
Głównym celem projektu było opracowanie metodologii oraz narzędzi komputerowych służących do wspomagania inżynierii produktu w dziedzinie mikro- i nanotechnologii ze szczególnym uwzględnieniem roli klienta podczas całego procesu inżynierii produkcji. Zaprojektowano i wyprodukowano czujniki MEMS, zaprojektowano elektronikę odczytową dla klienta z przemysłu samochodowego. Czujniki MEMS i elektronikę odczytową zaprojektowano w ITE, a wyproduko-

wano korzystając z potencjału zewnętrznych fabryk mikroelektronicznych na świecie, np. X-FAB (tzw. *multi-site product development*). Podczas prac opracowano i przetestowano narzędzia komputerowe wspomagające proces produkcji (Coventor MEMS+, CoventorWare, Coventor SEMulator3D, XperiDesk). Projekt zakończył się w 2011 r.

COMON Compact Modeling Network
Sieć modelowania typu compact
Kierownik projektu: dr inż. Daniel Tomaszewski

W ramach projektu zespół ITE koncentrował się na tematyce charakteryzacji wielobramkowych tranzystorów MOS. W 2011 r. realizowano następujące prace:

- Metodologia ekstrakcji parametrów technologii CMOS została zaadaptowana i zastosowana do charakteryzacji trzech grup tranzystorów FinFET pozyskanych przez ITE dzięki współpracy w ramach projektu oraz z Politechniką Warszawską i IMEC. Na rys. 10 pokazano przejściowe charakterystyki I-V grupy przyrządów. Metody ekstrakcji zostały zaimplementowane w środowisku MS Excel i w Perl.



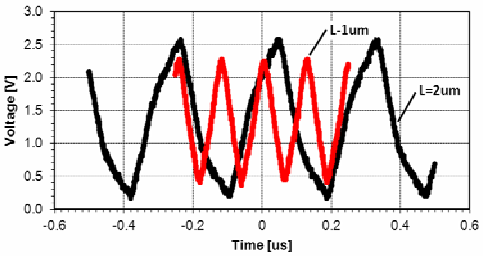
Rys. 10. Charakterystyki I_D-V_{GS} tranzystorów FinFET (IMEC)

- Procedura BPV (*Backward Propagation of Variance*) została zastosowana w modelowaniu statystycznym tranzystorów MOS i zaimplementowana w aplikacji Perl. Użyto jej do oszacowania zaburzeń losowych podstawowych parametrów procesu CMOS stosowanego na linii technologicznej ITE, a także parametrów tranzystorów FinFET wytworzonych w Infineon.
- Na bazie środowiska programistycznego Qt opracowano efektywne narzędzie do walidacji modeli i ekstrakcji parametrów wielobramkowych tranzystorów MOS. W aplikacji zaimplementowano dwa modele tranzystorów oraz funkcje czytania danych pomiarowych – zobrazowania i „ręcznej" ekstrakcji parametrów. Aplikacja ta została zastosowana w odniesieniu do przyrządów FD SOI CMOS wytworzonych w linii technologicznej ITE.
- Opracowano metodologię projektowania układów scalonych zorientowaną na optymalizację uzysku parametrycznego. Metodologia ta jest blisko związana z techniką BPV modelowania statystycznego. Uwzględnia losową zmienność procesu technologicznego. Wykorzystuje pojęcie dystrybuanty (*cumulative distribution function – cdf*) i aparat rachunkowy zmiennych losowych. Metodologia została sprawdzona na kilku prostych komórkach u. s. CMOS. Okazało

się w tych przykładach, że ta wydajna metoda daje wyniki bardzo zbliżone do rezultatów uzyskiwanych za pomocą metody Monte Carlo, która jest uznana za najbardziej dokładną i jednocześnie kosztowną metodę wyznaczania uzysku.

TRIADE Development of Technology Building Blocks for Structural Health Monitoring Sensing Devices in Aeronautics
Rozwój wytwarzania bloków funkcjonalnych do monitorowania stanu konstrukcji (SHM) na potrzeby aeronautyki
Kierownik projektu: dr hab. inż. Jacek Marczewski, prof. nadzw. w ITE

Celem Projektu TRIADE jest opracowanie bloków funkcjonalnych dla inteligentnych czujników szeregu własności fizycznych. Czujniki takie miałyby postać umożliwiającą trwałe ich umieszczanie w konstrukcjach lotniczych. ITE jest odpowiedzialne za wdrożenie technologii FDSOI przejętej od UCL (Belgia). Wdrożenie jest dużym wyzwaniem dla Zakładu. W 2010 r. otrzymano działające cyfrowe układy w postaci oscylatorów pierścieniowych (układ zawiera sto kilkadziesiąt tranzystorów). Na rys. 11 pokazano czasową zależność napięciowego sygnału wyjściowego oscylatorów zbudowanych na bazie tranzystorów o nominalnej długości kanału 2 i 1 μm.



Rys. 11. Sygnał wyjściowy oscylatora pierścieniowego zbudowanego z tranzystorów FDMOS o długości kanału 2 i 1 μm – technologia TRIADE

5. Inwestycje w ramach projektu strukturalnego „Mikrosystemy i NanoTechnologie Elektroniczne dla Innowacyjnej Gospodarki" MINTE

Kierownik projektu: dr inż. Grabiec, prof. nadzw. w ITE

Głównym celem projektu MINTE POIG jest modernizacja infrastruktury badawczej w obszarze technologii wytwarzania mikro- i nanotechnologii. Jednym z najważniejszych zadań było wybudowanie nowego budynku w bezpośrednim sąsiedztwie istniejącego laboratorium. Budynek jest już ukończony, jednak jego użytkowanie wymaga spełnienia wymogów formalnych.

Drugie zadanie, polegające na modernizacji instalacji gazowych oraz klimatyzacji w laboratorium, również zostało wykonane. Zaawansowana jest reorganizacja przestrzeni technologicznej w laboratorium. Zakupiono i zainstalowano nowe, bardzo nowoczesne urządzenia technologiczne.

Opis inwestycji znajduje się w rozdziale „Aparatura naukowo-badawcza zakupiona w 2011 r.".

6. Modele nowych przyrządów

- dwustronny detektor paskowy DSSSD 16x16 – model, wdrożenie do produkcji;
- 16-segmentowa fotodioda typ 2×8;
- 16-segmentowa fotodioda typ 4×4;
- antena Al do monolitycznych detektorów THz z wykorzystaniem warstwy SU-8 jako dielektryka;
- warstwa p(+) w kanalikach o szerokości > 10 μm i głębokości <30 μm.

Polski
Produkt
Przyszłości

Dyplom

Wyróżnienie w Konkursie
Polski Produkt Przyszłości 2011
w kategorii
Wyrób Przyszłości w Fazie Przedwdrożeniowej
za projekt
Krzemowe detektory cząstek alfa
zgłoszony przez
Instytut Technologii Elektronowej
z Warszawy

Warszawa, 5 października 2011 r.

Przewodniczący Kapituły Konkursu
Prezes
Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości

KAPITAŁ LUDZKI
PARP

7. Nagrody i wyróżnienia

W 2011 r. Zakład uzyskał wyróżnienie za zajęcie drugiego miejsca w konkursie Polski Produkt Przyszłości 2011, organizowanym przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości, w kategorii Wyrób Przyszłości w Fazie Przedwdrożeniowej, za krzemowe detektory cząstek alfa opracowane we współpracy z Zakładem Mikroelektroniki ITE w Krakowie.

8. Usługi i produkcja małoseryjna

Produkowano krzemowe struktury układów scalonych 74645 montowane w obudowie DIP 16 i PLCC20, a także struktury diod i detektorów. Wytwarzano maski do fotolitografii oraz realizowano usługi montażowe. Wartość sprzedaży układów scalonych 74645 w 2011 r. wyniosła ok. 110 tys. zł, a wartość pozostałej produkcji rynkowej i usług naukowo-badawczych ok. 310 tys. zł.

Główne usługi zrealizowane na zamówienie podmiotów zewnętrznych to: opracowanie dla Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH GSI (Niemcy) matrycy chromatograficznej oraz modelu pozycyjnego dwustronnego detektora, opracowanie detektora cząstek dla Paul Scherrer Institut (Szwajcaria), wykonanie anten mikrofalowych o rekonfigurowalnej aperturze dla Politechniki Warszawskiej, cięcie płytek dla CERN, projektowanie i wykonanie masek.

Publikacje'2011

[P1] BIENIEK T., JANCZYK G., GRABIEC P., SZYNKA J., KALICIŃSKI S., JANUS P.: Methodology and Tools for Customer-Oriented Micro and Nanodevices Efficient Product Development. Proc. of the 2nd Int. Conf. Engineering and Meta-Engineering, Orlando, USA, 27–30.03.2011, s. 56–61.

[P2] DOWHAŃ Ł., WYMYSŁOWSKI A., JANUS P., EKWIŃSKA M., WITTLER O.: Extraction of Elastic-Plastic Material Properties of Thin Films Through Nanonidentation Technique with Support of Numerical Methods. *Microelectron. Reliab.* 2011 vol. 51 s. 1046–1053.

[P3] DOWHAŃ Ł., WYMYSŁOWSKI A., KALICIŃSKI S., JANUS P.: Numerical Prototyping Methods in Microsystem Accelerometers Design. *Microelectron. Reliab.* 2011 vol. 51 s. 1276–1282.

[P4] EKWIŃSKA M., JAROSZEWICZ B., DOMAŃSKI K., GRABIEC P., ZABOROWSKI M., TOMASZEWSKI D., PAŁKO T., PRZYTULSKI J., ŁUKASIK W., DAWGUL M., PIJANOWSKA D.: Transcutaneous Blood Capnometry Sensor Head Based on a Back-Side Contacted ISFET. Mechatronics – Recent Technological and Scientific Advances, Springer, 2011, s. 607–614.

[P5] GATES J. M., DULLMANN CH. E., SCHADEL M., YAKUSHEV A., TURLER A., EBERHARDT K., KRATZ J. V., ACKERMANN D., ANDERSSON L., BLOCK M., BRUCHLE W., DVORAK J., ESSEL H.-G., ELLISON P., EVEN J., FORSBERG U., GELLANKI J., GORSHKOV A., GRAEGER R., GREGORICH K. E., HARTMANN W., HERZBERG R. D., HESSBERGER F. P., HILD D., HUBNER A., JAEGER E., KHUYAGBAATAR J., KINDLER B., KRIER J., KURZ N., LAHIRI S., LIEBE D., LOMMEL B., MAITI M., NITSCHE H., OMTVEDT J. P., PARR E., RUDOLPH D., RUNKE J., SCHAFFNER H., SCHAUSTEN B., SCHIMPF E., SEMCHENKOV A., STEINER J., THORLE-POSPIECH P., UUSITALO J., WĘGRZECKI M., WIEHL N.: First Superheavy Element Experiments at the GSI Recoil Separator TASCA: The Production and Decay of Element 114 in the 244Pu(48Ca,3-4n) Reaction. *Phys. Rev.* C 2011 vol. 83 s. 054618-1-17.

[P6] GRABIEC P., MARCZEWSKI J.: ITE Research in More-Than-Moore Domain. Proc. of the ST WWW Energy Harvesting Council. Rousset, Francja, 20.11–1.12.2011, PPT, s. 1–4.

[P7] GRABIŃSKI W., INIGUEZ B., SALLESE J.-M., BAZIGOS A., TOMASZEWSKI D., YAKUPOV M., DEPEYROT G.: COMON – The European Compact Modeling Network. Proc. of the 8th Int. Workshop on Compact Modeling. Jokohama, Japonia, 25.01.2011, s. 7–13.

[P8] GRZELKA J., SZCZYPIŃSKI R., PIJANOWSKA D., GRODECKI R., LESIŃSKI J., GRABIEC P., ŁYSKO J.: Optoelectronic Bacteria Cells Detection System. *Opt. Appl.* 2011 vol. XLI nr 2 s. 403–408.

[P9] GUZIEWICZ M., SŁYSZ W., BORYSIEWICZ M., KRUSZKA R., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., DOMAGAŁA J., RZODKIEWICZ W., RATAJCZAK J., BAR J., WĘGRZECKI M., SOBOLEWSKI R.: Fabrication and Properties of Ultrathin NbN and NbTiN Films for Superconducting Photodetectors. *Acta Phys. Pol.* A (złoż. do red.).

[P10] HOFFMANN K.H., AUZINGER G., BERGAUER T., DRAGICEVIC M., ERFLE J., GRABIEC P., GRODNER M., HANSEL S., HARTMANN F., HUEMER E., KIESENHOFER W., KUCHARSKI K., MARCZEWSKI J., STEINBRUCK G., VALENTAN M.: R&D on Novel Sensor Routing and Test Structure Development. *Nucl. Instr. & Meth. in Phys. Res.* A 2011 vol. 628 s. 268–271.

[P11] KALICIŃSKI S., BIENIEK T., JANUS P., GRABIEC P.: Determination of Electrical and Mechanical Parameters in Capacitive MEMS Accelerometers using Electrical Measurements. *Microelectron. Reliab.* 2011 vol. 51 s. 1192–1197.

[P12] KARCZEMSKA A., RALCHENKO V., BOLSHAKOV A., SOVYK D., ŁYSKO J., FIJAŁKOWSKI M., HASSARD J.: Application of Diamond for Manufacturing Microfluidic Devices. [W] *Implantexpert*, red. Z. Nawrat, Zabrze, 2011, s. 107–116.

[P13] KAZIMIERCZAK B., BARANIECKA A., DAWGUL M., PIJANOWSKA D., TORBICZ W., GÓRSKA M., GRABIEC P.: Microfluidics Based System for Amperometric Determination of CRP. Proc. Eurosensors XXV [w serii: *Procedia Eng.*] (złoż. do red.).

[P14] KILIMENKO O., KNAP W., CHENAUD B., COQUILLAT D., TEPPE F., DYAKONOVA N., VIDELIER H., MARCZEWSKI J., KUCHARSKI K.: Temperature Dependence of THz Detection by Field Effect Transistors – from Diffusion to Tunneling Regime. *J. Appl. Phys.* (złoż. do red.).

[P15] KOPYT P., MARCZEWSKI J., KUCHARSKI K., ŁUSAKOWSKI J., GWAREK W.: Planar Antennas for THz Radiation Detector Based on a MOSFET. Proc. of the 36th Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, Houston, USA, 2–7.10.2011, s. 1–2.

[P16] KOZANECKA-SZMIGIEL A., SZMIGIEL D., SWITKOWSKI K., SCHAB-BALCERZAK E., SIWY M.: Electro-Optic Activity of an Azopolymer Achieved via Poling with the Aid of Silicon Nitride Insulating Layer. *Optica Appl.* 2011 vol. XLI nr 3 s. 777–785.

[P17] KUCHARSKI K., RENAUX C., CRAHAY A., GRABIEC P., GRODNER M., BIENIEK T., PANAS A., SIERAKOWSKI A., KŁOS H., TOMASZEWSKI D., OBRĘBSKI D., MARCZEWSKI J., FLANDRE D.: Implementacja technologii FD SOI CMOS w ITE. *Elektronika* 2011 vol. LII nr 3 s. 13–16.

[P18] KUTYŁA-OLESIUK A., ZABOROWSKI M., PROKARYN P., CIOSEK P.: Monitoring of Beer Fermentation Based on Hybrid Electronic Tongue. *Bioelectrochem.* (złoż. do red.).

[P19] ŁUSAKOWSKI J., BIAŁEK M., MARCZEWSKI J., KOPYT P., GWAREK W., KNAP W., KUCHARSKI K., GRODNER M., GÓRSKA M., GRABIEC P.: Planar Antennas for Detection of 340 GHz Band with Single Si Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors. Proc. of the 36th Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, Houston, USA, 2–7.10.2011, s. 1–2.

[P20] ŁYSKO J., DUMANIA P., JANUS P., GRODNER M., KŁOS H., SKWARA K., GRABIEC P.: Nanosensitive Silicon Microprobes for Mechanical Detection and Measurements. *Mat. Sci. a. Appl.* 2011 vol. 2 s. 582–591.

[P21] ŁYSKO J., PIJANOWSKA D., BARANIECKA A., NIEPRZECKI M., GRABIEC P.: Microfluidic Devices for Bio-Medical Applications. *Prz. Elektrotechn.* (zgłosz. do red.).

[P22] MANOVA N. N., KORNEEVA YU. P., KORNEEV A. A., SŁYSZ W., VORONOV B. M., GOLTSMAN G. N.: Sverkhprovodnikovoi NBN odnofotonnyi detektor, integrovannyi s chetvert'volnovym rezonatorom. *Z. Tekhn. Fiz.* 2011 vol. 37 nr 10 s. 49–55.

[P23] MALINOWSKI A., SEKINE M., HORI M., ISHIKAWA K., KONDO H., SUZUKI T., TAKEUCHI W., YAMAMOTO H., JAKUBOWSKI A., ŁUKASIK L., TOMASZEWSKI D.: Sticking Coefficient of Hydrogen Radicals on ArF Photoresist Estimated by Parallel Plate Structure in Conjunction with Numerical Analysis. Proc. of the Int. Conf. on Simulation of Semiconductor Processes and Devices, Osaka, Japonia, 8–10.2011, s. 235–238.

[P24] NIERADKA K., MAŁOZIĘĆ G., KOPIEC D., GRABIEC P., JANUS P., SIERAKOWSKI A., GOTSZALK T.: Expanded Beam Deflection Method for Simultaneous Measurement of Displacement and Vibrations of Multiple Microcantilevers. *Rev. Sci. Instr.* 2011 vol. 82 s. 105112-6.

[P25] OBRĘBSKI D., KUCHARSKI K., TOMASZEWSKI D., KŁOS H.: The MPW Service Development. *Elektronika* 2011 vol. LII nr 3 s. 16–21.

[P26] PIOTROWSKI T., MALYUTENKO V. K., WĘGRZECKI M., CZERWIŃSKI A., POLAKOWSKI H., TYKHONOV A. M.: Optimization of Parameters for Silicon Planar Source of Modulated Infrared Radiation. *Mater. Sci. Eng.* B 2011 vol. 176 s. 363–367

[P27] PIOTROWSKI T., TOMASZEWSKI D., WĘGRZECKI M., MALYUTENKO V. K., TYKHONOV A. M.: Planar Silicon Structure in Application to the Modulation of Infrared Radiation. *Opt. Appl.* 2011 vol. XLI nr 2 s. 333–339.

[P28] SAWICKA A., ŁUKASIAK L., JAKUBOWSKI A., TOMASZEWSKI D.: Model prądu drenu i pojemności w dwubramkowym tranzystorze MOS o krótkim kanale. *Elektronika* 2011 vol. LII nr 2 s. 80–84.

[P29] SIERAKOWSKI A., DOMAŃSKI K., JANUS P., GRABIEC P., GOTSZALK T., KOPIEC D.: Maskless Laser Lithography for Fast Micro- and Nanotechnology Devices Prototyping in ITE. *Elektronika* 2011 vol. LII nr 3 s. 38–40.

[P30] SZCZEPAŃSKI Z., BORECKI M., SZMIGIEL D., KORWIN-PAWŁOWSKI M.: Design and Realization of a Microfluidic Capillary Sensor Based on a Silicon Structure and Disposable Optrodes. Proc. of the 35th Int. Conf. of IMAPS - CPMT IEEE Poland. Gdańsk Sobieszewo, 21–24.09.2011 s. 1–5.

[P31] SZCZYPIŃSKI R., GRZELKA J., BARANIECKA A., GÓRSKA M., LESIŃSKI J., ŁYSKO J., GRODECKI R., PIJANOWSKA D., GRABIEC P.: Microfluidic Preconcentrator and Microfluidic Chip for Bacterial Cells Detection. *Opt. Appl.* 2011 vol. XLI nr 2 s. 395–401.

[P32] SŁYSZ W., GUZIEWICZ M., BORYSIEWICZ M., DOMAGAŁA J., PASTERNAK I., HEJDUK K., RZODKIEWICZ W., RATAJCZAK J., BAR J., WĘGRZECKI M., GRABIEC P., GRODECKI R., WĘGRZECKA I., SOBOLEWSKI R.: Ultrathin NbN Films Designed for Superconducting Single-Photon Detectors. *Acta Phys. Pol.* A 2011 vol. 120 nr 1 s. 200–203.

[P33] VIDELIER H., DYAKONOVA N., TEPPE F., CONSEJO C., CHENAUD B., KNAP W., ŁUSAKOWSKI J., TOMASZEWSKI D., MARCZEWSKI J., GRABIEC P.: Terahertz Photovoltaic Response of Si-MOSFETs: Spin Related Effect. *Acta Phys. Pol.* A (złoż. do red.).

[P34] WIELGOSZEWSKI G., SULECKI P., GOTSZALK T., JANUS P., GRABIEC P., HECKER M., RITZ Y., ZSCHECH E.: Scanning Thermal Microscopy: A Nanoprobe Technique for Studying the Thermal Properties of Nanocomponents. *phys. stat. sol.* B 2011 vol. 248 nr 2 s. 370–374.

[P35] WIELGOSZEWSKI G., SULECKI P., JANUS P., GRABIEC P., ZSCHECH E., GOTSZALK T.: A High-Resolution Measurement System for Novel Scanning Thermal Microscopy Resistive Nanoprobes. *Measur. Sci. a. Technol.* 2011 vol. 22 s. 094023-6.

[P36] YAKUPOV M., TOMASZEWSKI D.: Analysis of Selected Methods for CMOS Integrated Circuit Design for Yield Optimization. Proc. of the 18th Int. Conf. Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. Gliwice, 16–18.06.2011, s. 71–76.

[P37] ZABOROWSKI M., TOMASZEWSKI D., DUMANIA P., GRABIEC P.: Development and Characterisation of Nanowire-Based FETs. *Microelectron. Reliab*. 2011 vol. 51 s. 1162–1165.

[P38] ZABOROWSKI M., TOMASZEWSKI D., ŁUKASIAK L., JAKUBOWSKI A.: Non-Standard FinFET Devices for Small Volume Sample Sensors. Nanoscaled Semiconductor-on-Insulator Materials, Sensors and Devices [w serii: Advanced Materials Research: t. 276] Trans Tech Publ, 2011, s. 127–135.

Prezentacje konferencyjne 2011

[K1] ABALOSHEVA I., ZAYTSEVA I., ALESZKIEWICZ M., CIEPLAK M. Z., SYRYANYY Y., GIERŁOWSKI P., ABAL'OSHEV O., SŁYSZ W., GUZIEWICZ M., BORYSIEWICZ M., PASTERNAK I., HEJDUK K., RZODKIEWICZ W., RATAJCZAK J., BAR J., WĘGRZECKI M., GRABIEC P., GRODECKI R., WĘGRZECKA I., SOBOLEWSKI R.: Superconducting Thin Films with High Critical Current Densities. 4th Forum Sci. & Technol. Days Poland – East. Białowieża, 12–14.04.2011 (plakat).

[K2] BIENIEK T., JANCZYK G.: WP 1.3x - Simulation, Design and Test, WP 1.4.x – Characterization of the Test Structures with Nano Components. e-Brains Progress Meet. Cork, Irlandia, 5.04.2011 (kom.).

[K3] BIENIEK T., JANCZYK G.: Typical Sensor Application Scenario. Corona Workshop podczas 8th MST-Regional Conf. Dortmund, Niemcy, 25.05.2011 (ref. zapr.).

[K4] BIENIEK T., JANCZYK G.: WP 1.3.x – Hierarchical System Modeling and Model Validation, WP 1.4.x - Characterization of the Test Structures with Nano Components. e-Brains Progress Meet. Leuven, Belgia, 5.07.2011 (kom.).

[K5] BIENIEK T., JANCZYK G.: WP - 1.3.3 – Hierarchical System Modeling and Model Validation. e-Brains Progress Meet. Graz, Austria, 20.09.2011 (kom.).

[K6] BIENIEK T., JANCZYK G., GRABIEC P., SZYNKA J.: CORONA Customer-Oriented Product Engineering of Micro and Nano Devices. Opportunities for Bilateral Cooperation in the Area of Science and Research between Poland and North Rhine-Westphalia. Kolonia, Niemcy, 8.06.2011 (ref. zapr.).

[K7] BIENIEK T., JANCZYK G., GRABIEC P., SZYNKA J., KALICIŃSKI S., JANUS P.: Methodology and Tools for Customer-Oriented Micro and Nanodevices Efficient Product Development. The 2nd Int. Conf. on Eng. a. Meta-Eng. Orlando, USA, 27–30.03.2011 (ref.).

[K8] BIENIEK T., JANCZYK G., KALICIŃSKI S.: Customer-Oriented Product Engineering of Micro and Nano Devices – Validation and Demonstration. Corona Progress Meet. at Corallia – the Hellenic Technology Clusters Initiative. Ateny, Grecja, 4–5.11.2011 (kom.).

[K9] BIENIEK T., JANCZYK G., KALICIŃSKI S., JANUS P.: Institute of Electron Technology, Warsaw, Poland for e-BRAINS Project. Task 1.3.1 – Typical Sensor Design Flow. e-Brains Progress Meet. Graz, Austria, 20.09.2011 (kom.).

[K10] DOMAŃSKI K., EKWIŃSKA M., PROKARYN P., SIERAKOWSKI A., JAROSZEWICZ B., JANUS P., DOBROWOLSKI R., NIEPRZECKI M., SKWARA K., GRABIEC P.: Silicon Sensors for Biomedical Applications. 4th Forum Science & Technology Days Poland – East. Białowieża, 12–14.04.2011 (plakat).

[K11] DOMAŃSKI K., MAŁOZIĘĆ G., NIERADKA K., ŚNIADEK P.: Micro- and Nano-Systems for Chemistry and Biomedical Diagnostics. 4th Forum Science & Technology Days Poland – East. Białowieża, 12–14.04.2011 (ref.).

[K12] DOMAŃSKI K., PROKARYN P., SIERAKOWSKI A., SZMIGIEL D., EKWIŃSKA M., JAROSZEWICZ B., ZABOROWSKI M., ŁYSKO J., BARANIECKA A., JANUS P., DUMANIA P., GRABIEC P.: Micro- and Nano-Systems for Biomedical Applications. 5th Int. Forum on Innovative Technologies for Medicine & 5th Int. Forum Science & Technology Days Poland – East. Warszawa, 28–30.11.2011 (kom.).

[K13] DUMANIA P.: Micro- and Nanosystems in Chemistry and Biomedical Diagnostics – from Nation-Wide Cooperation in Interdisciplinary Research to Building Innovative Technology Platform. Conf. "I3E Hightech Days. Research. Funding. Implementation". Wiedeń, Austria, 23–24.05.2011 (ref. zapr.).

[K14] DUMANIA P., WOGERER CH., HAIDEGGER G.: SMART FRAME Project – Empowering Business in Central Europe. Special Forum & Exhib. on Best of East – for Eastern Partnership. Challenges and Opportunities for Collaboration European Union – Poland – Eastern Europe Countries. Warszawa, 28–30.11.2011 (ref.).

[K15] DUMANIA P., ZABOROWSKI M., JAROSZEWICZ B., GOTSZALK T., SCHROEDER G., OSSOWSKI T., RYBKA J., GRABIEC P.: Toward Individual Molecule Detection. 4th Forum Science & Technology Days Poland – East. Białowieża, 12–14.04.2011 (plakat).

[K16] DUMANIA P., ZABOROWSKI M., SCHROEDER G., GRABIEC P.: Development of Nanoelectronic Sensors for Biochemical Analysis. 5th Int. Forum on Innovative Technologies for Medicine & 5th Int. Forum Science & Technology Days Poland-East. Warszawa, 28–30.11.2011 (plakat).

[K17] EKWIŃSKA M., JANUS P., DOMAŃSKI K., GRABIEC P., GOTSZALK T., NIERADKA K.: Wafer Level Measurements of Mechanical Parameters of Microsensors Structures. 37th Int. Conf. on Micro and Nano Eng. Berlin, Niemcy, 19–23.09.2011 (plakat).

[K18] EKWIŃSKA M., JAROSZEWICZ B., DOMAŃSKI K., GRABIEC P., ZABOROWSKI M., TOMASZEWSKI D., PAŁKO T., PRZYTULSKI J., ŁUKASIK W., DAWGUL M., PIJANOWSKA D.: Transcutaneous Blood Capnometry Sensor Head Based on a Back-Side Contacted ISFET. 9th Int. Conf. Mechatronics 2011. Warszawa, 21–24.09.2011 (plakat).

[K19] EKWIŃSKA M., RYMUZA Z., EKWIŃSKI G.: Nowa metoda kalibracji toru pomiaru siły normalnej w mikroskopie sił atomowych z wykorzystaniem wzorników sprężystych. V Kraj. Konf. Nanotechnologii. Gdańsk, 3–7.07.2011 (ref.).

[K20] EKWIŃSKA M., RYMUZA Z., EKWIŃSKI G.: Wzorniki do kalibracji toru pomiaru siły normalnej w mikroskopie sił atomowych. V Kraj. Konf. Nanotechnologii. Gdańsk, 3–7.07.2011 (plakat).

[K21] GÓRSKI Ł., ZIÓŁKOWSKI R., MALINOWSKA E., PROKARYN P., ZABOROWSKI M.: Silicon-Based Gold Transducer for DNA Biosensors. Int. Conf. on Biomedical Electronics and Devices BIODEVICES 2011. Rzym, Włochy, 26–29.01.2011 (ref.).

[K22] GRABIŃSKI W., INIGUEZ B., SALLESE J.-M., BAZIGOS A., TOMASZEWSKI D., YAKUPOV M., DEPEYROT G.: COMON – The European Compact Modeling Network. 8th Int. Workshop on Compact Modeling. Jokohama, Japonia, 25–25.01.2011 (ref. zapr.).

[K23] GUZIEWICZ M., SŁYSZ W., BORYSIEWICZ M., KRUSZKA R., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., DOMAGAŁA J., RZODKIEWICZ W., RATAJCZAK J., BAR J., WĘGRZECKI M., SOBOLEWSKI R.: Fabrication and Properties of Ultrathin NbN and NbTiN Films for Superconducting Photodetectors. E-MRS 2011 Fall Meet. Warszawa, 19–23.09.2011 (plakat).

[K24] JANCZYK G., BIENIEK T.: ITE for PARSIMO Project. PARSIMO Project Kick-Off Meet. Sheffield, Wielka Brytania, 7.04.2011 (kom.).

[K25] JANCZYK G., BIENIEK T.: Customer-Oriented Product Engineering of Micro and Nano Devices – Validation. Final Review Corona Project Meet. Siegen, Niemcy, 21–22.06.2011 (ref.).

[K26] JANCZYK G., BIENIEK T.: SIESTA Demonstrator Development, Optimization Software Interaction. 2nd Technical Project Meet. Le Mensil Amelot, Francja, 18.10.2011 (kom.).

[K27] JANCZYK G., BIENIEK T.: Instytut Technologii Elektronowej for FoF.NMP.2012-6 Project & Typical Sensor Application Scenario. Smart Production Process Planning Platform. Dortmund, Niemcy, 19.10.2011 (kom.).

[K28] JANCZYK G., BIENIEK T., KALICIŃSKI S.: Parsimo Software/Hardware Development (D)efficiencies. 3rd Technical Project Meet. Mensil Amelot, Francja, 7.11.2011 (kom.).

[K29] JAROSZ A., WĄSOWSKI J., ZARASKA K.: CMOS Circuit for Detection of Neural Impulses. 18th Int. Conf. Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. Gliwice, 16–18.06.2011 (ref.).

[K30] KAZIMIERCZAK B., BARANIECKA A., DAWGUL M., PIJANOWSKA D., TORBICZ W., GÓRSKA M., GRABIEC P.: Microfluidics Based System for Amperometric Determination of CRP. Eurosensors XXV. Ateny, Grecja, 4–7.09.2011 (plakat).

[K31] KOPYT P., MARCZEWSKI J., KUCHARSKI K., ŁUSAKOWSKI J., GWAREK W.: Planar Antennas for THz Radiation Detector Based on a MOSFET. 36th Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves. Houston, USA, 2–7.10.2011 (ref.).

[K32] KUTYŁA-OLESIUK A., ZABOROWSKI M., WRÓBLEWSKI W., CIOSEK P.: Hybrid Electronic Tongue for the Monitoring of Beer Fermentation. 5th Int. Forum on Innovative Technologies for Medicine & 5th Int. Forum Science & Technology Days Poland-East. Warszawa, 28–30.11.2011 (plakat).

[K33] ŁUSAKOWSKI J., BIAŁEK M., MARCZEWSKI J., KOPYT P., GWAREK W., KNAP W., KUCHARSKI K., GRODNER M., GÓRSKA M., GRABIEC P.: Planar Antennas for Detection of 340 GHz Band with Single Si Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors. 36th Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves. Houston, USA, 2–7.10.2011 (ref.).

[K34] MALINOWSKI A., HORI M., SEKINE M., ISHIKAWA K., KONDO H., YAMAMOTO H., TAKEUCHI W., SUZUKI T., ŁUKASIAK L., JAKUBOWSKI A., TOMASZEWSKI D.: Radical Flux Analysis in ArF Photoresist Plasma Etching using Parallel Plate Structures. 58th Spring Meet. of Jap. Soc. of Applied Physics. Kanagawa, Japonia, 24–27.03.2011 (ref.).

[K35] MALINOWSKI A., HORI M., SEKINE M., ISHIKAWA K., KONDO H., YAMAMOTO H., TAKEUCHI W., SUZUKI T., ŁUKASIAK L., JAKUBOWSKI A., TOMASZEWSKI D.: Time-Dependent Radical Flux Analysis in ArF Photoresist Plasma Etching using Parallel Plate Structure. 72nd Fall Meet. of the Jap. Soc. of Applied Physics. Yamagata, Japonia, 28.08–2.09.2011 (ref.).

[K36] MALINOWSKI A., HORI M., SEKINE M., ISHIKAWA K., KONDO H., YAMAMOTO H., TAKEUCHI W., SUZUKI T., MIYAWAKI Y., ŁUKASIAK L., JAKUBOWSKI A., TOMASZEWSKI D.: Radical Transport Simulation under Roof on Substrate in Processing. 71st Fall Meet. of the Jap. Soc. of Applied Physics. Nagasaki, Japonia, 14–17.09.2011 (plakat, kom.).

[K37] MALINOWSKI A., JAKUBOWSKI A., ŁUKASIAK L., TOMASZEWSKI D.: Analiza wpływu chropowatości szerokości linii na charakterystyki i parametry elektryczne tranzystora typu FinFET. III Warsztaty Naukowe CSZ - Wiosna 2011. Będlewo, 10–12.06.2011 (plakat).

[K38] MALINOWSKI A., SEKINE M., HORI M., ISHIKAWA K., KONDO H., SUZUKI T., TAKEUCHI W., YAMAMOTO H., JAKUBOWSKI A., ŁUKASIAK L., TOMASZEWSKI D.: Sticking Coefficient of Hydrogen Radicals on ArF Photoresist Estimated by Parallel Plate Structure in Conjunction with Numerical Analysis. 2011 Int. Conf. on Simulation of Semiconductor Processes and Devices. Osaka, Japonia, 8–10.09.2011 (plakat).

[K39] MALINOWSKI A., SEKINE M., HORI M., ISHIKAWA K., KONDO H., SUZUKI T., TAKEUCHI W., YAMAMOTO H., JAKUBOWSKI A., ŁUKASIAK L., TOMASZEWSKI D.: Development of Radical Kinetic Behavior Investigation Method and Its Application for Sticking Coefficient Estimation. 41st Europ. Solid-State Device Research Conf. Helsinki. Finlandia, 8–9.10.2011 (plakat).

[K40] MARCZEWSKI J., GRABIEC P.: ITE Research in More-Than-Moore Domain. ST WWW Energy Harvesting Council. Rousset, Francja, 30.11–1.12.2011 (ref. zapr.).

[K41] SIERAKOWSKI A., JANUS P., DOBROWOLSKI R., DOMAŃSKI K., GRABIEC P., GOTSZALK T., NIERADKA K., KOPIEC D.: Design and Technology of Cantilevers for Non-Standard Bio-Medical Diagnostic Assay. XII Ogólnopolskie Sem. „Techniki Jonowe" połączone z II Zimową Szkołą Nanoinżynierii Powierzchni. Szklarska Poręba, 2–5.03.2011 (plakat).

[K42] SZCZEPAŃSKI Z., BORECKI M., SZMIGIEL D., KORWIN-PAWŁOWSKI M.: Design and Realization of a Microfluidic Capillary Sensor Based on a Silicon Structure and Disposable Optrodes. 35th Int. Conf. of IMAPS - CPMT IEEE Poland. Gdańsk Sobieszewo, 21–24.09.2011 (plakat).

[K43] SŁYSZ W., GUZIEWICZ M., BORYSIEWICZ M., BAR J., WĘGRZECKI M., GRABIEC P., WĘGRZECKA I., SIKORA F., SOBOLEWSKI R.: Weak Signals Superconducting Detectors. Special Forum & Exhib. on Best of East – for Eastern Partnership. Challenges and Opportunities for Collaboration European Union – Poland – Eastern Europe Countries. Warszawa, 28–30.11.2011 (plakat).

[K44] SŁYSZ W., GUZIEWICZ M., BORYSIEWICZ M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., JUCHNIEWICZ M., RZODKIEWICZ W., RATAJCZAK J., BAR J., WĘGRZECKI M., GRABIEC P., GRODECKI R., WĘGRZECKA I., CIEPLAK M. Z., ZAYTSEVA I., DORENBOS S., SCHOUTEN R., ZWILLER V., KITAYGORSKY J., JUKNA A., SOBOLEWSKI R.: Ultrathin NbN Films for Superconducting Detectors. E-MRS 2011 Fall Meet. Warszawa, 19–23.09.2011 (ref. zapr.).

[K45] SŁYSZ W., GUZIEWICZ M., BORYSIEWICZ M., PASTERNAK I., DOMAGAŁA J., HEJDUK K., RZODKIEWICZ W., RATAJCZAK J., BAR J., WĘGRZECKI M., GRABIEC P., GRODECKI R., WĘGRZECKA I., SOBOLEWSKI R.: Ultrathin NbN Films Designed for Superconducting Single-Photon Detectors. SPIE Europe Optics a. Optoelectronics 2011. Praga, Czechy, 18–20.04.2011 (plakat).

[K46] SZYNKA J., JANCZYK G., BIENIEK T.: Opportunities for Bilateral cooperation in the Area of Science and Research between Poland and North Rhine-Westphalia. Opportunities for Bilateral Cooperation in the Area of Science a. Research between Poland and North Rhine-Westphalia. Kolonia, Niemcy, 8.06.2011 (ref. zapr.).

[K47] TOMASZEWSKI D., SALLESE J.-M., CHEVILLON N., PREGALDINY F., LALLEMENT C., YESAYAN A., ALVARADO J., FLANDRE D., MONGA U., FJELDLY T., BAZIGOS A., BUCHER M., GNEITING T., SEEBACHER E., SADI T., SCHWIERZ F., DEPEYROT G., YAKUPOV M., RITZENHALER R., GRABIŃSKI W., INIGUEZ B.: COMON – The European Compact Modelling Network and Verilog-A Compact Model Standardization. Companion Workshop Compact Model and Its Emerging Technology Linking New Device Technology and Advanced Circuit Design. Osaka, Japonia, 7.09.2011 (ref. zapr.).

[K48] VIDELIER H., DYAKONOVA N., TEPPE F., CONSEJO C., KNAP W., ŁUSAKOWSKI J., TOMASZEWSKI D., MARCZEWSKI J., GRABIEC P.: Spin Related Effect in Terahertz Photovoltaic Response of Si-MOSFETs. 35th Int. Conf. Infrared Millimeter and Terahertz Waves IRMMW-THz 2010. Rzym, 5–10.09.2010 (ref.).

[K49] WIELUNSKI M., WĘGRZECKI M., SARNECKI J., BAR J., BERCHTOLD F., BUDZYŃSKI T., CIEŻ M., GRABIEC P., HAIDER B., GRUBER E., KARINDA F., KULAWIK J., LIPIŃSKI D., PANAS A., RUHM W., WAHL W., SŁYSZ W., WĘGRZECKA I., WITEK K., ZABOROWSKI M.: PIN Diodes for Use in Radiation Protection. 14th Int. Congr. of Radiation Research. Warszawa, 28.08–1.09.2011 (plakat).

[K50] YAKUPOV M., TOMASZEWSKI D.: Stand-Alone Application for Parameter Extraction and Statistical Evaluation of FinFET Verilog-A Models. MOS-AK/GSA Workshop. Paryż, Francja, 7–8.04.2011 (plakat).

[K51] YAKUPOV M., TOMASZEWSKI D.: Analysis of Selected Methods for CMOS Integrated Circuit Design for Yield Optimization. 18th Int. Conf. Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. Gliwice, 16–18.06.2011 (kom.).

[K52] YAKUPOV M., TOMASZEWSKI D.: A Cumulative Distribution Function-Based Method for Yield Optimization of CMOS ICs. MOS-AK/GSA Workshop towarzyszący konferencji ESSDERC/ /ESSCIRC. Helsinki, Finlandia, 16.09.2011 (ref. zapr.).

[K53] YAKUSHEV A., GATES J. M., ACKERMANN D., ANDERSSON L., BLOCK M., BRUCHLE W., DULLMANN CH. E., DVORAK J., EBERHARDT K., EIBACH M., ESSEL H.-G., EVEN J., FORSBERG U., GORSHKOV A., GRAEGER R., HERZBERG R. D., HESSBERGER F. P., HILD D., HUBNER A., JAGER E., KHUYAGBAATAR J., KINDLER B., KRATZ J. V., KRIER J., KURZ N., LOMMEL B., NIEWISCH L. J., NITSCHE H., OMTVEDT J. P., PARR E., QUIN Z., RUDOLPH D., RUNKE J., SCHADEL M., SCHAUSTEN B., SCHIMPF E., SEMCHENKOV A., THORLE-POSPIECH P., TURLER A., UUSITALO J., WĘGRZECKI M., WIEHL N.: Superheavy Element 114 is a Volatile Metal. The 4rd Int. Conf. on the Chemistry and Physics of the Transactinide Elements. Soczi, Rosja, 5–11.09.2011 (ref.).

[K54] ZIÓŁKOWSKI R., GÓRSKI Ł., ZABOROWSKI M., PROKARYN P., MALINOWSKA E.: Fabrication of Silicon-Based Tranducers for Electrochemical Applications. 5th Int. Forum on Innovative

Technologies for Medicine & 5th Int. Forum Science & Technology Days Poland-East. Warszawa 28–30.11.2011 (plakat).

Patenty 2011

[PA1] SIERAKOWSKI A., JANUS P., DOMAŃSKI K., GRABIEC P., GOTSZALK T.: Sposób wyznaczania optymalnych parametrów naświetlania warstw światłoczułych w procesie fotolitografii oraz głowica do realizacji tego sposobu. Nr zgł. P.394250 z dn. 17.03.2011.

[PA2] GRABIEC P., WĘGRZECKI M., BAR J., BUDZYŃSKI T., PANAS A., SZMIGIEL D., WĘGRZECKA I.: Struktura ogniwa fotowoltaicznego oraz sposób wytwarzania tej struktury. Nr zgł. P.396321 z dn. 13.09.2011.

[PA3] SIERAKOWSKI A., JANUS P., DOMAŃSKI K., GRABIEC P., GOTSZALK T.: Method for Optimization of Photoresist Exposure Parameters in Photolithography Process and Device for Implementing the Method. Nr zgł. EP11008132.0 z dn. 7.10.2011.