PL ISSN 0209–0066

INSTYTUT
TECHNOLOGII
MATERIAŁÓW
ELEKTRONICZNYCH

PRACE ITME

NOWE MATERIAŁY, TECHNOLOGIE, MIKROSYSTEMY, A 5. RAMOWY PROGRAM BADAŃ, ROZWOJU TECHNICZNEGO I PREZENTACJI UNII EUROPEJSKIEJ (1998-2002)

KONFERENCJA ZORGANIZOWANA POD PATRONATEM KBN

2000 Zeszyt 55

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH

NOWE MATERIAŁY, TECHNOLOGIE, MIKROSYSTEMY, A 5. RAMOWY PROGRAM BADAŃ, ROZWOJU TECHNICZNEGO I PREZENTACJI UNII EUROPEJSKIEJ (1998-2002)

KONFERENCJA ZORGANIZOWANA POD PATRONATEM KBN
8 - 10 GRUDNIA 1999 R.

WARSZAWA ITME 2000

http://rcin.org.pl

KOLEGIUM REDAKCYJNE:

prof. dr hab. inż. Andrzej JELEŃSKI (redaktor naczelny)
doc. dr hab. inż. Paweł KAMIŃSKI (z-ca redaktora naczelnego)
prof. dr hab. inż. Andrzej JAKUBOWSKI, doc. dr hab. inż. Jan KOWALCZYK
doc. dr Zdzisław LIBRANT, dr Zygmunt ŁUCZYŃSKI
doc. dr hab. inż. Tadeusz ŁUKASIEWICZ, prof. dr hab. inż. Wiesław MARCINIAK
prof. dr hab. inż. Władysław K. WŁOSIŃSKI, mgr Eleonora JABRZEMSKA (sekretarz redakcji)

Adres Redakcji:

INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, e-mail: ointe@sp.itme.edu.pl
http://sp.itme.edu.pl

tel.	835 44 16 lub 835 30 41 w. 454	- redaktor naczelny
	835 30 41 w. 164	- z-ca redaktora naczelnego
	835 30 41 w. 129	- sekretarz redakcji

Publikacja dofinansowana przez Komitet Badań Naukowych

PL ISSN 0209 - 0066

Skład i grafika komputerowa - ITME

http://rcin.org.pl

SPIS TREŚCI

Wstęp 5

Program Konferencji 6

Słowniczek 8

Referaty

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
Materiały funkcjonalne i mikrosystemy
Andrzej Jeleński 10

Schlumberger Limited-European Affairs
Schlumberger Industries, Montrouge Technology Center
MST Related Activities at Schlumberger
Anne Mikoulinsky, Gabriel Marquette, Jan Suski 27

Prezentacje instytucji uczestniczących w konferencji

Instytut Technologii Elektronowej
Interdyscyplinarne zastosowania mikroinżynierii krzemowej
Jacek Marczewski, Piotr Grabiec, Krzysztof Domański 41

Politechnika Wrocławska, Instytut Techniki Mikrosystemów
Wydziału Elektroniki - Grupy badawcze
Zbigniew Znamirowski 47

Instytut Szkła i Ceramiki
Kierunki działalności Instytutu Szkła i Ceramiki
Wacław Rećko 51

Przemysłowy Instytut Elektroniki
Nowe metrologiczne metody i narzędzia diagnostyki
procesów wytwarzania
Krzysztof Badźmirowski, Jerzy Kern, Piotr Machalica 53

http://rcin.org.pl

Instytut Elektrotechniki Oddział Technologii
i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego
Przygotowania Wrocławskiego Oddziału Instytutu
Elektrotechniki do uczestnictwa w 5. Programie
Ramowym Unii Europejskiej
Grzegorz Paściak 63

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Mikroelektroniki Hybrydowej i Rezystorów
Technologie niskotemperaturowych warstw grubych
bazą dla nowych generacji produktów
Michał Cież 69

http://rcin.org.pl

WSTĘP

Celem konferencji była prezentacja i integracja polskich zespołów badawczych działających w obszarze materiałów funkcjonalnych, podzespołów i mikrosystemów, zainteresowanych udziałem w 5. Programie Ramowym Badań, Rozwoju Technologicznego i Prezentacji Unii Europejskiej (5. PR) (1998-2002). W zamiarze organizatorów konferencji miała ułatwić ona tworzenie zespołów partnerskich do realizacji programów naukowo-badawczych w ramach *Tematycznych i Horyzontalnych Programów 5.PR*, zdefiniowanych przez Komisję Europejską. Konferencja była też przeglądem aktualnej oferty projektów krajowych instytucji badawczych, w miarę możności na tle europejskich, międzynarodowych programów badawczych w celu ułatwienia poruszania się w dość skomplikowanym schemacie struktury 5.PR. Referatów przedstawicieli V Framework... nie wydrukowano, ponieważ teksty te znajdują się w oficjalnych materiałach Komisji Europejskiej. Również wydrukowano tylko prezentacje tych instytucji, które po konferencji nadesłały autoryzowane teksty. Pełny spis instytucji uczestniczących w Konferencji znajduje się na str. 74. Do materiałów konferencyjnych dodano też słowniczek zawierający elementy terminologii charakterystyczne dla działań w ramach 5.PR.

http://rcin.org.pl

Program Konferencji

Dzień pierwszy - 8 grudnia, środa

godz. 10:30 **Rejestracja uczestników Konferencji, kawa i herbata**

godz. 11:30 **Sesja inauguracyjna**

- Otwarcie Konferencji - wystąpienie Dyrektora ITME dr Zygmunta Łuczyńskiego
- Przedstawienie szczegółowego programu Konferencji
  - prof. dr hab. inż. Andrzej Jeleński

godz. 12:00 **Referaty wprowadzające**

- Materiały funkcjonalne i mikrosystemy - prof.dr hab.inż. Andrzej Jeleński
- Małe i średnie przedsiębiorstwa branży elektronicznej w Polsce
  - prof. dr hab. inż. Wiesław Marciniak

godz. 13:30 - 14:30 **Przerwa na obiad**

godz. 14:30 **Wystąpienia zaproszonych gości**

godz. 14:30 III Program Tematyczny *Competitive and Sustainable Growth* w 5.PR: Innovative products, processes and organisation (IPPO); Contents, aims, main focus - Mr. Christopher Lesniak - European Commission, DG XII

godz. 15:30 III Program Tematyczny *Competitive and Sustainable Growth* w 5.PR: Materials and their technologies for production and transformation (MAT); Contents, aims, main focus - Mrs. Susanne Becker - European Commission, DG XII

godz. 16:20 - 16:50 **Przerwa na kawę i herbatę**

godz. 16:50 **Panel discussion on polish initiatives concerning the creation of Centres of Excellence, Design and Technology Transfer in the area "New Materials, Technologies, Microsystems and the 5th Framework Programme of the EU"**

prof. Eino Tunkelo, dr Andrzej Krasławski, prof.dr hab.inż. Janusz Dobrowolski, prof. dr hab.inż. Władysław Włosiński, prof.dr hab.inż. Andrzej Jeleński, doc. dr Zdzisław Librant, doc. dr inż. Tomasz Postupolski, dr inż. Selim Achmatowicz

godz. 18:00 **Koktail**

Drugi dzień - 9 grudnia, czwartek

godz. 9:00 **Wystąpienie przedstawicieli Krajowego Punktu Kontaktowego 5.PR,** koordynujących zdarzenia i wspomagających krajowe działania w II i III Programie - Tematycznego 5.PR
- dr L. Chmielewski i dr Z. Turek

godz. 10:30 MST related activities at Schlumberger: example of EURIMUS projects
- dr Jan Suski, RMS Montrouge Technology Center (Francja)

godz. 11:00 - 11:30 **Przerwa na kawę i herbatę**

godz. 11:30 **Prezentacje instytucji uczestniczących w Konferencji** obejmujące informacje na temat prowadzonych projektów badawczych, w których poszukuje się partnerów do współpracy oraz oferty takiej współpracy:

godz. 11:30 Instytut Optyki Stosowanej - dr Marek Daszkiewicz

http://rcin.org.pl

godz. 12:00	Instytut Technologii Elektronowej - dr inż. Jacek Marczewski
godz. 12:30	Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Mikroelektroniki Hybrydowej i Rezystorów - mgr Michał Cież
godz. 13:00	Instytut Szkła i Ceramiki, Zakład Ceramiki Budowlanej i Technicznej - dr inż. Wacław Rećko
godz. 13:00 - 14:30	**Przerwa na obiad**
godz. 14:30	**Prezentacje instytucji uczestniczących w Konferencji c.d.**
godz. 14:30	Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych - doc.dr Zdzisław Librant, dr inż. Elżbieta Nossarzewska-Orłowska, dr inż. Włodzimierz Strupiński, dr Eugeniusz Najdeker, dr hab.inż. Katarzyna Pietrzak, doc. dr hab. inż. Tadeusz Łukasiewcz, dr inż. Lech Dobrzański, dr inż. Andrzej Maląg, dr inż. Selim Achmatowicz, mgr inż. Piotr Zabierowski
godz. 16:10 - 16:40	**Przerwa na kawę i herbatę**
godz. 16:40	Instytut Techniki Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej - dr inż. Zbigniew Znamirowski

Dzień trzeci - 10 grudnia, piątek

godz. 9:00	**Prezentacje instytucji uczestniczących w Konferencji c.d.**
godz. 9:00	Wojskowa Akademia Techniczna - Instytut Fizyki Technicznej - prof. dr hab. inż. Antoni Rogalski
godz. 9:40	Przemysłowy Instytut Elektroniki - prof. dr hab.inż. Krzysztof Badźmirowski, dr inż. Jerzy Kern, doc. dr inż. Lech Borowicz, mgr inż. Piotr Machalica
godz. 10:20	Instytut Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Warszawskiej - dr hab. inż. Adam Bieńkowski
godz. 10:50	CEMAT-SILICON - dr inż. Andrzej Bukowski
godz. 11:20	CEMAT'70 - mgr inż. Wojciech Sochaczewski
godz. 11:50	Przemysłowy Instytut Telekomunikacji - dr inż. Wojciech Glogier
godz. 12:20	**Podsumowanie i zakończenie konferencji**
godz. 13:00	Obiad

http://rcin.org.pl

SŁOWNICZEK

Akcje Kluczowe, KA, *(Key Action)* są jedną z innowacji 5.PR. Celem jej jest koncentracja zasobów i umiejętności objętych 5.PR dyscyplin, dziedzin techniki i związanych z nimi ludzi do wyraźnie określonych problemach socjoekonomicznych. "Duch" akcji kluczowych różni się zatem od dotychczasowej tradycyjnej organizacji badań wg oddzielnych dyscyplin. W akcjach kluczowych podchodzi się do konkretnych problemów w sposób wielodyscyplinarny, angażujący wszystkie elementy mogące wchodzić w ich zakres.

Działania Badawcze Ogólne, (GA), (*RTD Generic Activities*) wspomagają prace naukowe uzupełniające tematykę podejmowaną w obrębie akcji kluczowych, w celu utrzymywania elastyczności 5.PR oraz wsparcia badań i technologii o charakterze ogólnym w rozwijających się i przyszłościowych dziedzinach.

Celowe Działania Badawcze, (TRA), i **Platformy Technologiczne, (PT)**, (*Targeted Research Actions; Technology Platforms*) realizują przyjętą w 5.PR ideę "podejścia rozwiązującego problem". Chodzi o nierozdrabnianie priorytetów. Jasno określone Celowe Działania Badawcze i Platformy Technologiczne mają na celu koncentrację zasobów i wysiłków na realizacji zadań określonych przez priorytety Obszarów Badawczych.

Wsparcie dla infrastruktur badawczych, (RI) *(Research Infrastructure)*, jest przewidziane, mimo że powinność ta wchodzi w zakres kompetencji poszczególnych Krajów Członkowskich Wspólnoty. Wsparcie przewidziane w 5.PR jest usprawiedliwione na dwóch poziomach: zapewnienia optymalnego wykorzystania istniejących infrastruktur oraz umożliwienia racjonalnego i gospodarczo skutecznego rozwoju dodatkowych infrastruktur badawczych służących ponadnarodowej współpracy.

Udział Małych i Średnich Przedsiębiorstw (MŚP) - zwielokrotnienie. Specjalny nacisk położono na spotęgowanie uczestnictwa MŚP, które są głównym źródłem zatrudnienia w Europie. Jak dotąd, MŚP miały trudności z uczestnictwem w programach wspólnotowych. Aby temu przeciwdziałać, przewidziano specjalne przedsięwzięcia (specific measures) oraz zindywidualizowaną pomoc zmierzające do zwiększenia zainteresowania wszystkich stron w zwiększaniu uczestnictwa MŚP w 5.PR. Ponad 1200 MŚP uczestniczyło w różnych projektach 4PR (1994 - 1998). Stanowiło to podwojenie udziału MŚP w poprzednim programie. Obecnie, europejskie MŚP wykazują większe zainteresowania programami wspólnotowymi niż programami narodowymi.

Obszar zainteresowań środowiska, które konferencja zgromadziła, lokuje się najpełniej w **Trzecim Programie Tematycznym - Konkurencyjny i Zrównoważony Wzrost** *(Competitive and Sustainable Growth)* a szczególnie w jego **Akcji Kluczowej KA-1** *Innowacyjne produkty, procesy i organizacja*, i **Działaniach Badawczych Ogólnych GA 1A** *Materiały i ich technologie produkcyjne i przetwórcze*. W GA 1A skupiają się najważniejsze aktualnie kierunki badawcze. Jako pierwsze można wymienić badania dotyczące "nanoskali" (1 - 100 nm) i technologii "powierzchniowych". Te badania są perspektywiczne dla wielu zastosowań. W szczególności potencjalnie bardzo obiecujące jest wykorzystanie nanocząsteczek do poprawy własności materiałów. Materiały nano strukturalne mogą również umożliwić dalszą miniaturyzację systemów elektronicznych. Druga grupa badań dotyczy szybkiego wzrostu rynku materiałów funkcjonalnych. Jest to odbiciem wzrastającego znaczenia przemysłowego i społecznego tych materiałów, zwłaszcza zaś biomateriałów i materiałów optoelektronicznych. Badania nad materiałami funkcjonalnymi

http://rcin.org.pl

stanowią szerokie spektrum obejmując m.in. stopy, ceramikę, polimery, zjawiska powierzchniowe i powierzchni międzyfazowych. Zagadnienia materiałowe są w ogromnej części związane z chemią, a w szczególności z czystymi i specjalnymi chemikaliami, których cechą charakterystyczną jest to, że są wytwarzane w stosunkowo małej skali produkcyjnej. Jest tu szerokie pole działania, jeśli chodzi o udoskonalanie materiałów, a także procesów, ich doboru, wydajności, elastyczności, zapewnienia ciągłości wytwarzania (przy danej skali wytwórczej), rozwoju nowych sposobów syntezy i inżynierii wyspecjalizowanych procesów. Procesy umożliwiające odzysk surowców będą skupiać szczególną uwagę. W przypadku materiałów strukturalnych badania ich własności mechanicznych są najistotniejsze. Te materiały mają kluczowe znaczenie w takich dziedzinach jak budownictwo, budowa maszyn i transport. Zadaniami priorytetowymi są tu obniżanie ciężaru, zwiększanie wytrzymałości mechanicznej, podnoszenie temperatury pracy, niepalność, odporność na korozję itp., przy zapewnieniu nieszkodliwości ekologicznej i możliwości wtórnego przerobu i użycia (recyklingu). Badania nad przedłużonym użyciem materiałów *(sustainable use)* powinny się cechować wszechstronnością podejścia, w którym optymalizacja wykorzystania materiałów, udział surowców wtórnych przyczyniają się do przezwyciężania istniejących barier technicznych.

Problemy te znalazły odbicie w wystąpieniach przedstawicieli XII Dyrekcji Generalnej Komisji Europejskiej. Christopher Lesniak przedstawił referat *Innovative products, processes and organisation (IPPO); Contents, aims, main focus,* a Susanne Becker przedstawiła referat *Materials and their technologies for production and transformation (MAT); Contents, aims, main focus.* Wielce interesujące były również wprowadzające referaty dotyczące pewnej filozofii materiałów funkcjonalnych (Prof. A. Jeleński) oraz sytuacji małych i średnich przedsiębiorstw branży elektronicznej w Polsce (prof. W. Marciniak).

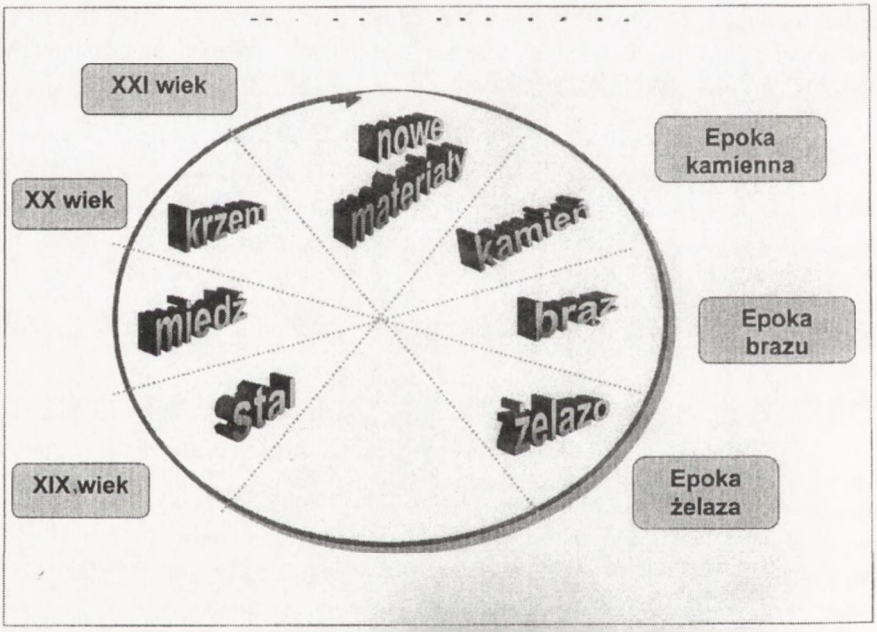
http://rcin.org.pl

MATERIAŁY FUNKCJONALNE

prof. dr hab.inż. Andrzej **Jeleński**

WSTĘP

Już od zarania dziejów postęp ludzkości opierał się na wytwarzaniu coraz to nowszych, doskonalszych narzędzi, z coraz to lepszych materiałów. O ich użyteczności decydowały właściwości mechaniczne oraz łatwość ich kształtowania. Na Rys. 1 (Materiały w dziejach świata) pokazano, że postęp wiązał się z wykorzystaniem lepszych materiałów. Zastąpienie kamienia dającym się łatwiej kształtować brązem, a potem żelazem stwarzało nowe możliwości zastosowań. Jednak upłynę-



Rys.1. Materiały w dziejach świata.

[1] Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa
e-mail: jelens_a@sp.itme.edu.pl

http://rcin.org.pl

ło wiele lat zanim stal została wykorzystana jako materiał konstrukcyjny. Z czasem zastosowanie to stało się na tyle dominujące, że materiały, o przydatności których decydowały właściwości mechaniczne, takie jak wytrzymałość, elastyczność, czy trwałość, nazwane zostały materiałami konstrukcyjnymi. Powstała nowa dziedzina nauki, zajmująca się tymi materiałami-inżynieria materiałowa.

Odkrycie w XIX wieku i szerokie wykorzystanie elektryczności stało się podstawą rozwoju technologii nowej rodziny materiałów, dla których kryterium przydatności stanowiły właściwości elektryczne, przede wszystkim zdolność przewodzenia prądu elektrycznego. Okres ten, w którym o postępie decydował rozwój maszyn i sieci elektrycznych nazwać można okresem miedzi.

Odkrycia tranzystora w 1947 r. i układów scalonych w 1950 r. spowodowały szerokie stosowanie nowej grupy materiałów, zwanych materiałami półprzewodnikowymi, takich jak krzem oraz różne związki półprzewodnikowe. Możliwości stworzone przez te elementy spowodowały ogromny rozwój urządzeń elektronicznych, z których najbardziej istotnymi były komputery i systemy telekomunikacyjne, dlatego też drugą połowę wieku XX nazwać można epoką krzemu.

Wkrótce okazało się, że dla tych zastosowań wykorzystać można nie tylko częstotliwości z zakresu fal radiowych, lecz również fale świetlne. Właściwości pewnych materiałów mogły zostać wykorzystane do przetwarzania energii elektrycznej na światło (diody luminescencyjne, lasery) lub światła na energię bądź sygnały elektryczne (fotowoltaika, detektory). Materiały takie jak GaAs, InP i ich związki, tworzą kategorię materiałów optoelektronicznych.

Znacznie szersze pasma przenoszenia światłowodów, w porównaniu z liniami telefonicznymi i kablowymi oraz możliwość bezpośredniego wzmacniania sygnałów optycznych bez ich przetwarzania na sygnały elektryczne były przyczyną, ogromnego rozwoju fotoniki. Wzrosło zainteresowanie materiałami wykorzystywanymi przy konstrukcji podzespołów i układów fotonicznych i optoelektronicznych. Są to zarówno monokrystaliczne materiały tlenkowe, jak i szkła, które domieszkowane różnymi pierwiastkami pozwalają na generację, obróbkę i przesyłanie sygnałów optycznych. Zyskały one miano materiałów fotonicznych.

Z wykorzystaniem sygnałów elektrycznych czy optycznych dużych mocy, a także postępującą miniaturyzacją układów scalonych wiąże się konieczność odprowadzania coraz większych ilości ciepła z określonej powierzchni. A następnie z koniecznością opracowania materiałów o możliwie dużej przewodności termicznej i współczynniku rozszerzalności termicznej podobnym do współczynnika rozszerzalności elementu aktywnego. Często naturalne odprowadzanie ciepła nie wystarcza i układ musi być chłodzony. W celu uniknięcia zawodnych i zajmujących duże objętości wymuszonych obiegów cieczy lub gazów. Dla spełnienia tych funkcji

http://rcin.org.pl

opracowuje się cały szereg materiałów kompozytowych o dużej przewodności cieplnej oraz wykorzystuje dla chłodzenia efekt Peltiera.

W ostatnich latach w związku z postępującą stale miniaturyzacją sprzętu, wystąpiła również potrzeba miniaturyzacji podzespołów mechanicznych. Rozwinęła się bardzo dynamicznie mikromechanika - technologia pozwalająca na integrację funkcji mechanicznych i elektronicznych na płytce krzemu. Elektronizacja i automatyzacja przemysłu, medycyny, badań biologicznych i chemicznych, a wreszcie wyposażenia domów i samochodów stworzyła ogromne zapotrzebowanie na szereg czujników, wykorzystujących różne właściwości materiałów dla przetworzenia różnych rodzajów pobudzenia na sygnały elektryczne. Powstała technologia mikrosystemów, miniaturowych przyrządów składających się z czujników, układów elektronicznych do przetwarzania sygnałów i aktuatorów wykonujących zaprogramowane zadania.

Wszystkie te materiały, o których przydatności decydują właściwości inne niż mechaniczne zaczęto nazywać materiałami funkcjonalnymi, w odróżnieniu od materiałów konstrukcyjnych. Właściwości pozwalające na ich wykorzystanie w różnych dziedzinach techniki przedstawiono w Tabeli 1. Pokazano w niej miejsce materiałów konstrukcyjnych, elektronicznych i optoelektronicznych. Materiały dla czujników dające, przy różnych pobudzeniach, odpowiedź w postaci sygnału elektrycznego zajęłaby drugą kolumnę tabeli, a materiały dla różnego typu aktuatorów, przetwarzające sygnały elektryczne, jej drugi "rząd".

Nazwa "materiały funkcjonalne" nie jest zbyt precyzyjna, materiały konstrukcyjne przecież też spełniają określone funkcje, również ten sam materiał może znaleźć wiele zastosowań. I tak np. ceramika może służyć jako element konstrukcyjny lub jako izolator, a z arsenku galu można wytwarzać układy scalone i lasery. Oprócz materiałów spotykanych w przyrodzie współczesna technologia potrafi wytwarzać materiały o zupełnie nowych strukturach, złożonych z cienkich warstw różnych materiałów nanoszonych kolejno metodami epitaksji, naparowywania lub implantacji. Od parametrów tych struktur, takich jak grubość i skład chemiczny materiału warstw, zależy działanie prawie wszystkich przyrządów półprzewodnikowych. Sprawiło to, że oprócz klasycznego już badania właściwości materiału litego w skali makro, koniecznością stało się badanie w skali nie tylko mikro, ale i nano, co oznacza skalę współmierną z grubością pojedynczych warstw atomowych. We współczesnych układach scalonych stosowane już są elementy o wymiarach mikrometrowych, a o ich parametrach decydują warstwy dielektryczne lub studnie kwantowe o grubości równej kilku warstwom atomowym. Wymaga to nie tylko ogromnej czystości składników i otoczenia, odpowiednio precyzyjnych i stabilnych

http://rcin.org.pl

Tabela 1. Właściwości materiałów funkcjonalnych

Odpowiedź / *Pobudzenie*	mechaniczna	elektryczna	optyczna	termiczna	magnetyczna	chemiczna
mechaniczne	**Przenoszenie momentu**	Piezoelektryczność	Fotoelastyczność	Tarcie	Magnetostrykcja	Przemiana fazowa
elektryczne	Piezorezystywność	**Opór elektryczny złącza**	**Fotoemisja LED, lasery**	Efekt Peltier'a	Efekt Ampera	Elektroliza
optyczne	Ciśnienie radiacyjne	**Fotooptyka**	**Fotoluminescencja**	Ciepło radiacyjne	Fotomagnetyzm	Fotochemia
termiczne	Rozszerzalność termiczna	Efekt Seebeck'a	Radiacyjna strata ciepła	Przewodność cieplna	Efekt Curie, Weissa	Reakcje endotermiczne
magnetyczne	Magnetostrykcja	Efekt Halla	Efekt Faraday'a	Efekt Ettinghausena	Indukcja magnetyczna	
chemiczne	Reakcje wybuchowe	Efekt Volty	Chemolumine-scencja	Reakcja egzotermiczna		Reakcja chemiczna

Materiały konstrukcyjne
Materiały optoelektroniczne
Materiały elektroniczne

http://rcin.org.pl

procesów technologicznych, lecz także nowatorskich metod charakteryzacyjnych, szczególnie uwzględniających badania powierzchni i międzywarstw. Dlatego też inżynieria materiałów funkcjonalnych jest aktualnie jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin, gdyż warunkuje ona rozwój technologii informacyjnych, będących miarą aktualnego postępu.

W tym krótkim artykule nie sposób omówić wszystkich materiałów funkcjonalnych, które znalazły już zastosowanie w technice, bądź też dają potencjalne możliwości ich zastosowania. Dlatego też w dalszej części zostaną omówione tylko najważniejsze materiały elektroniczne i optoelektroniczne, jak również możliwości ich zastosowań wybiegających poza ten zakres.

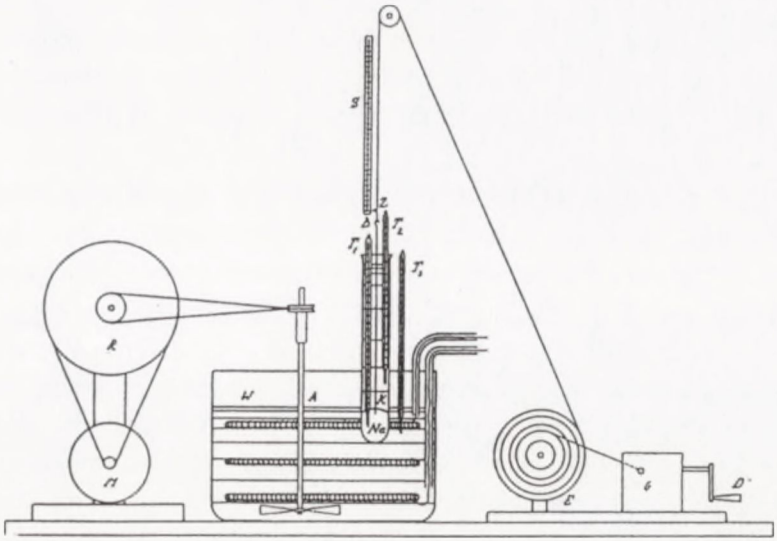
MATERIAŁY ELEKTRONICZNE

Wśród materiałów elektronicznych podstawową rolę odgrywają materiały półprzewodnikowe, a wśród nich krzem, z którego wykonana jest ogromna większość układów scalonych i półprzewodnikowych elementów dyskretnych. Więcej niż 80% monokryształów krzemu, oraz większość innych monokryształów mających zastosowanie w elektronice i optoelektronice wytwarza się aktualnie metodą Czochralskiego.

W 1916 r. Jan Czochralski skonstruował aparat służący do badania procesu monokrystalizacji metodą polegającą na wyciąganiu kryształu narastającego na wprowadzanej do roztworu zarodzi. Ilustracja oryginalnego urządzenia Czochralskiego stosowanego przez niego w jego laboratorium na Politechnice Warszawskiej pochodzi z publikacji z 1936 r[1]., przedstawiona jest na Rys. 2. Widać na nim, iż urządzenie to posiadało wszystkie podstawowe części składowe urządzeń współczesnych. Kąpiel wodna, termometry i silniki gramofonowe zostały wprawdzie zastąpione przez skomplikowane układy grzejne, czujniki temperatury i sterowanie komputerowe, lecz zasada działania pozostała ta sama.

[1] Wiadomości Instytutu Metalurgii i Metaloznawstwa 1936, 3, 39-41

http://rcin.org.pl



Rys.2. Oryginalne urządzenie Czochralskiego do pomiaru szybkości krystalizacji sodu. Probówka zawierająca roztopiony sód (Na) pokryty warstwą ksylenu (K), zanurzona jest w kąpieli parafinowej (W), w której stały rozkład temperatury utrzymuje mieszadło (A) napędzane motorem (M) poprzez przekładnię ®. Termometry T1, T2, T3 mierzą temperaturę stopionego sodu w strefie wzrostu kąpieli parafinowej. Napęd gramofonu (G) nakręcany rączką (D) poprzez przekładnie (E) wolno wyciąga monokryształ z cieczy, a jego długość mierzona jest przesuwem wskazówki (Z) i na skali (S) [1].

Krzem

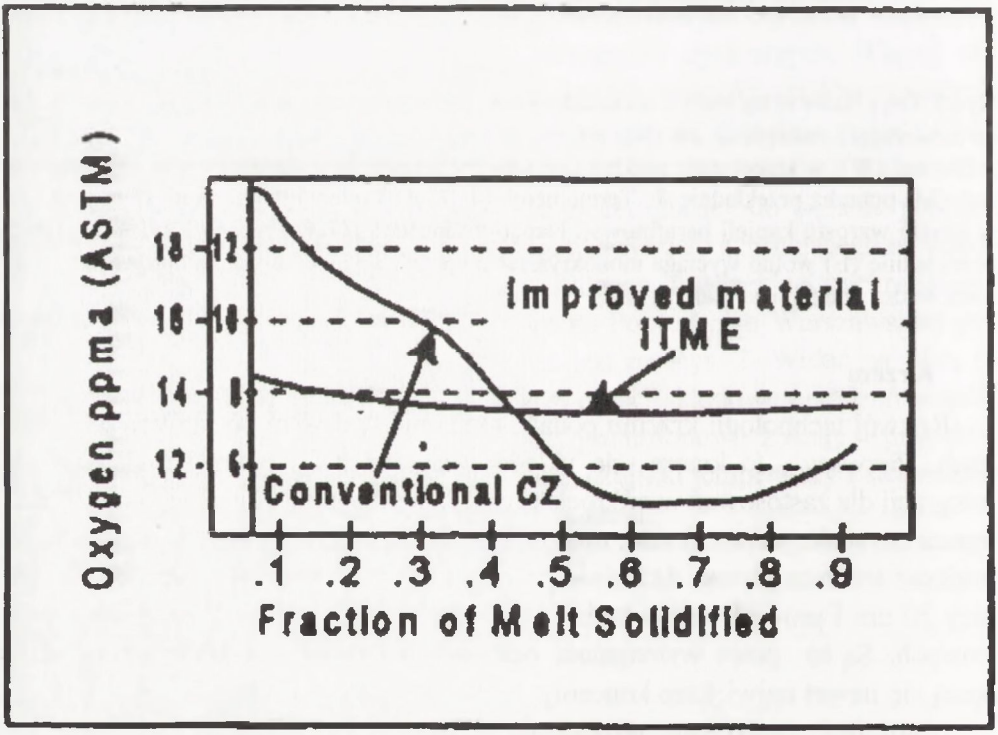
Rozwój technologii krzemu podąża aktualnie w dwóch podstawowych kierunkach. Pierwszy - to krzem do układów scalonych o coraz to większej skali integracji dla zastosowań w mikroelektronice. Wymagania wobec tego materiału to: lepsza czystość, jednorodność, mniejsza liczba defektów i mikrowydzieleń i coraz większe średnice płytek. Aktualnie powstają fabryki wykorzystujące płytki o średnicy 30 cm i prowadzone są badania nad technologią płytek czterdziestocentymetrowych. Są to prace wymagające ogromnych nakładów i dla ich prowadzenia łączą się nawet największe koncerny, takie jak Siemens-Matsuchita.

Natomiast nieco inne wymagania stawiane są materiałom stosowanym w dziedzinie mikrosystemów, a zwłaszcza czujników i aktuatorów. Parametry ich są znacznie bardziej związane z różnorodnymi zastosowaniami, stąd serie produkcyjne są krótsze, a konstrukcje przyrządów realizuje się na ogół na płytkach o mniejszych wymiarach (10 do 15 cm średnicy). Za to grubości ich zmieniać się mogą w grani-

http://rcin.org.pl

cach od 20 do 500 μm i wymagane są różne orientacje monokryształów krzemu (100, 110 i 111). Stosowana do zastosowań w mikromechanice obróbka krzemu wymaga głębokiego trawienia z jednoczesnym, precyzyjnym zachowaniem kształtów obrabianych elementów. Zawartość tlenu w krzemie dla tego zastosowania powinna być bardzo mała (< 30 ppm) w celu uniknięcia defektów trawienia powstałych z wytrąceń tlenowych. Z kolei dla innych zastosowań wymagane są duże zawartości tlenu. I tak np. dla sensorów jakimi są detektory promieniowania, duża koncentracja tlenu służy zwiększeniu ich odporności na promieniowanie.

Dla spełnienia coraz to ostrzejszych wymagań metoda Czochralskiego jest stale doskonalona. Badany jest wpływ pola magnetycznego oraz termokonwekcji krzemu roztopionego w tyglu na koncentrację i jednorodność rozkładu osiowego i radialnego tlenu w tym monokrysztale. Przykłady rezultatów prac dotyczących poprawy jednorodności rozkładu tlenu w monokrysztale krzemu pokazuje Rys. 3.



Rys.3. Programowana osiowa koncentracja tlenu (około 8 10^{17} atomów/cm^3).

http://rcin.org.pl

Otrzymanie monokryształu jest jedynie pierwszym krokiem w procesie wytworzenia produktu. Cięcie, szlifowanie i polerowanie winno dać w wyniku płytki o odpowiedniej płaskości powierzchni, chropowatości i zanieczyszczeniach. Słowo "odpowiednia" w przypadku współczesnych układów scalonych wielkiej integracji, złożonych z milionów tranzystorów, często o długości bramki rzędu 0,3 μm, to chropowatość odpowiadająca nierównościom powierzchni mniejszym niż grubość dwóch warstw atomowych. Równie wysokie wymagania względem chropowatości i płaskości obowiązują w procesie spajania płytek dla potrzeb mikrromechaniki. Wymagana "czystość półprzewodnikowa" na stanowisku pracy to mniej niż 10 pyłków w metrze sześciennym powietrza, podczas gdy normalne "czyste" powietrze zawiera więcej niż 100.000 pyłków w metrze sześciennym.

Taka płytka to dopiero materiał wyjściowy dla dalszych procesów technologicznych, w wyniku których powstają przyrządy półprzewodnikowe. Większość z nich wymaga naniesienia wielu warstw krzemu z takimi domieszkami, aby można było otrzymać materiały typu n lub p; na właściwościach złączy pn, oparte jest bowiem działanie szeroko stosowanych diod pn i tranzystorów bipolarnych. Cienkie warstwy dielektryczne niezbędne są dla działania tranzystorów MOS (*Metal Oxide Semiconductor*), z których składają się mikroprocesory i pamięci komputerowe. Warstwy półprzewodnikowe o różnych domieszkowaniach i grubościach otrzymuje się najczęściej metodą epitaksji gazowej (CVD - *chemical vapor deposition*) z użyciem $SiCl_4$ lub $SiHCl_3$ jako źródeł krzemu i odpowiednich domieszek. Metoda ta pozwala na uzyskanie struktur wielowarstwowych, często z programowanymi profilami koncentracji, o grubościach od kilku μm do ~ 200 μm i opornościach od ułamków Ωcm do paru kΩcm.

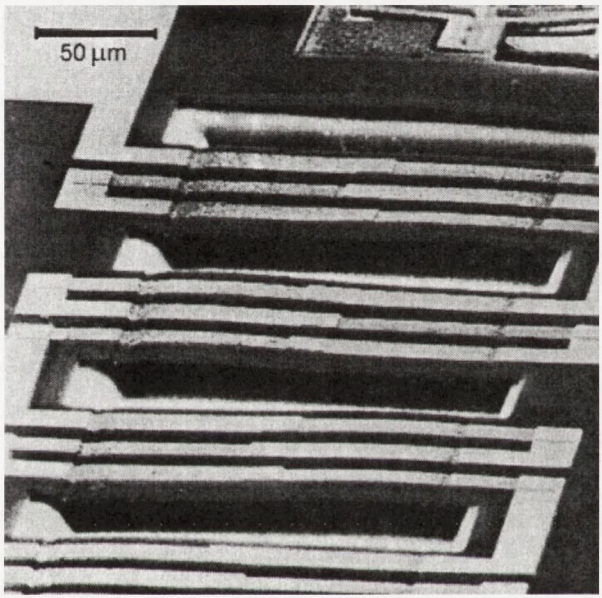
Dla celów mikromechaniki opracowane zostały płytki spajane, powstałe przez połączenie dwóch, a czasem większej liczby płytek o różnych właściwościach. Najczęściej jedna z tych płytek, z której następnie wykonuje się membrany, czy mikrobelki winna posiadać parę μm grubości, co stanowi trudność przy ich wytwarzaniu.

Czasem dla uzyskania cienkiej warstwy spojonej z podłożem wykorzystuje się implantację jonów, zamiast obróbki mechanicznej. Bombardowanie jonami tlenu tworzy warstwę silnie uszkodzoną na głębokości zależnej od energii jonów. Po spojeniu płytki od strony implantowanej z płytką podłożową bezpośrednio lub przez warstwę tlenku, podczas szybkiego ogrzania, oddzielić można grubą część płytki. W ten sposób powstają tzw. podłoża SIMOX (*separation by implanted oxygen).*

Podobne możliwości daje krzem porowaty. Jest to ciekawy materiał powstały przy powierzchni w wyniku odpowiedniego procesu trawienia chemicznego krzemu. W przeciwieństwie do krzemu monokrystalicznego wykazuje on zdolność do

http://rcin.org.pl

fotoluminescencji, przy czym kolor świecenia zależy od parametrów procesu. Niestety, z powodu jego dużej rezystywności nie udało się dotychczas, w oparciu o ten materiał, wytworzyć diod luminescencyjnych. W Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych (ITME) opanowano technologię epitaksji warstw krzemu na tym materiale. Dzięki dużej oporności, płytki takie posiadają właściwości podłoży SOI (*semiconductor on insulator*), obecnie bardzo poszukiwanych. Dzięki łatwości z jaką krzem porowaty może być wytrawiany, płytki te stanowią doskonały materiał dla mikromechaniki. Przykładem tego może być wykonane w ITME termoogniwo krzemowe (Rys. 4) do detekcji promieniowania, w którym wykorzystano krzem porowaty, jako warstwę wytrawianą pod membraną.



Rys.4. Termoogniwo krzemowe wykonane w ITME.

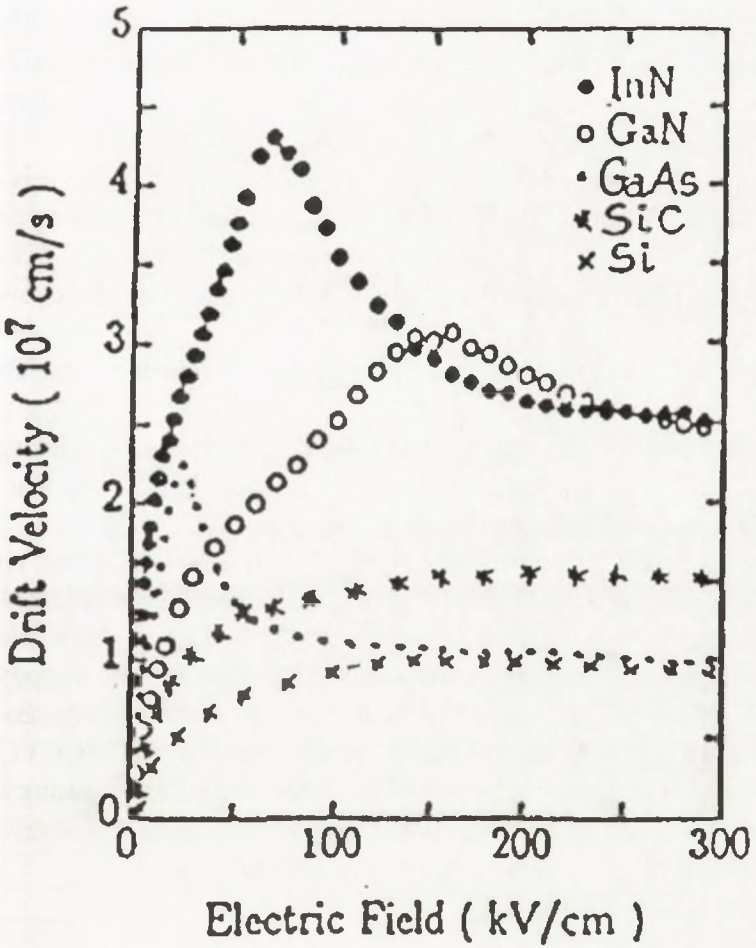
Większą uwagę poświęcono tu zastosowaniom krzemu w mikromechanice (*sensor grade silicon*) co wynika z faktu, że o ile wytwarzanie krzemu dla mikroelektroniki i układów scalonych wielkiej skali integracji, jak już wspomniano, wymaga ogromnych nakładów, to krzem dla mikromechaniki opracowywany jest w ITME, a także produkowany i sprzedawany (na razie na eksport) przez prywatną firmę Cemat-Silicon za ~1,2 mln USD miesięcznie. Stosunkowo łatwiejsza i nie wyma-

http://rcin.org.pl

gająca tak wielkich nakładów technologia, może stać się podstawą dla przemysłu wytwarzającego czujniki i mikrosystemy dla różnych zastosowań w Polsce.

Związki półprzewodnikowe

Mimo niewątpliwych zalet krzemu, jakimi są duża jednorodność, przewodność cieplna i łatwość obróbki, to stosunkowo mała prędkość nośników (Rys. 5) ogranicza jego stosowanie w bardzo szybkich układach cyfrowych i układach pracujących w zakresie bardzo wysokich częstotliwości (falach krótszych niż ~ 10 cm). Skośna przerwa zabroniona sprawia, że nie nadaje się on dla generacji światła, a stosunkowo niska maksymalna temperatura pracy (~ 150°C) ogranicza jego stosowanie do wytwarzania elementów elektroniki wysokotemperaturowej i elektroniki mocy.



Rys.5. Obliczone zależności prędkości elektronów pola elektrycznego dla różnych związków półprzewodnikowych.

http://rcin.org.pl

Wad tych nie posiadają niektóre związki półprzewodnikowe z grupy III/V takie, jak: GaAs, InP, GaP, GaSb, InSb, InAs otrzymywane również metodą Czochralskiego. Na Rys. 5 pokazano, że prędkości elektronów w arsenku galu, podobnie jak w fosforku indu są większe niż w krzemie. Z powodu szerszej i prostej przerwy energetycznej diody i tranzystory z tych materiałów mogą nie tylko pracować w wyższych temperaturach, lecz także emitować fale świetlne niekoherentne (diody luminescencyjne), bądź też koherentne (lasery).

Duże ruchliwości i prędkości maksymalne elektronów sprawiły, że arsenek galu i fosforek indu oraz oparte o te materiały związki podwójne i poczwórne stały się materiałami powszechnie stosowanymi dla konstrukcji diod i tranzystorów pracujących w zakresie bardzo dużych częstotliwości, w pasmach mikrofalowych i fal milimetrowych. Tranzystory polowe FET i diody z barierą Schottky'ego oraz układy scalone z nich złożone pozwoliły na konstrukcję systemów łączności, wykorzystujących ogromne możliwości przesyłu informacji w tych pasmach i bardzo szybkiej obróbki sygnałów cyfrowych wykorzystujących impulsy subnanosekundowe.

Jeszcze większe możliwości dało wykorzystanie efektów niskowymiarowych. Znacznie większa ruchliwość elektronów w studniach kwantowych powstających przy heterozłączach, z których historycznie pierwszymi były heterozłącza GaAs, AlGaAs, pozwoliło na skonstruowanie tranzystorów HEMT (*high electron mobility transistors*) i HBT *(heterojunction bipolar transistor)*, a także diod luminescencyjnych i laserów o podwyższonych parametrach.

Przykładowe struktury lasera i tranzystora HEMT (Tabele 2 i 3) pokazują jak są one skomplikowane: duża liczba warstw, mała grubość (studnie kwantowe, warstwy donorowe δ) oraz stopniowany skład warstw$Al_xGa_{1-x}As$.

Studnię kwantową może tworzyć parę warstw atomowych (np. 7 w laserze na pasmo 808 nm), dlatego też bardzo istotną jest umiejętność nanoszenia pojedynczych warstw, bez mieszania się warstw o kolejnych składach. Jest to niezwykle trudne, zwłaszcza że dla kontroli międzywarstw stosować można jedynie metody pośrednie. Wyniki takich pomiarów wykonanych dla kontroli warstw wytworzonych w ITME za pomocą epitaksji ze związków metaloorganicznych MOCVD przedstawiono na Rys. 6 i 7. Na Rys. 6 przedstawiono widmo luminescencji struktury z warstwami o różnych grubościach pokazując, że metodą tą wytworzyć można warstwę o grubości równej dwóm warstwom atomowym.

http://rcin.org.pl

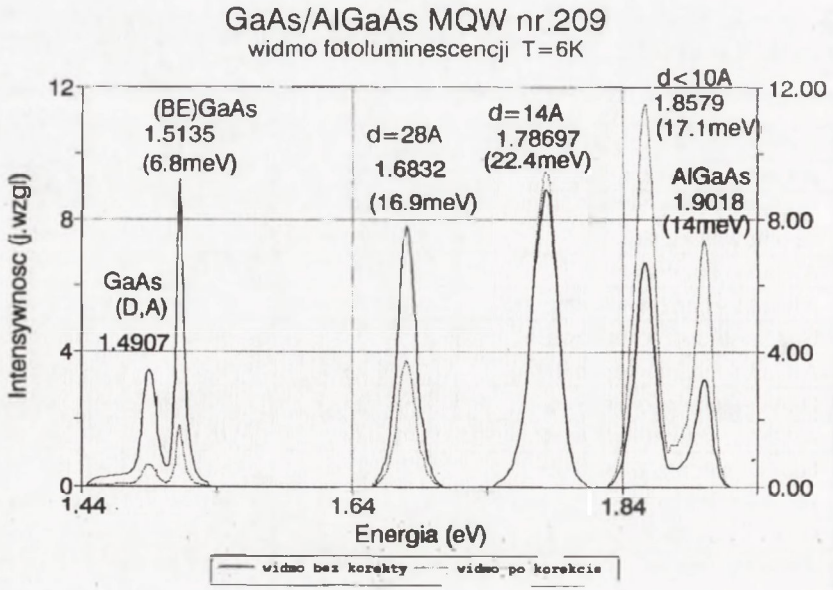
Tabela 2. Heterostrukura epitaksjalna MOVPE lasera 810 nm z 4 studniami kwatnowym GaAs-QW o grubości 4 nm każda.

Nr	Warstwa	Skład Al	Grubość	Koncentracja
17	GaAs – warstwa podkontaktowa	0	250 nm	$1 \cdot 10^{19}$ cm^{-3}
16	AlGaAs – emiter typu p	0,35	3300 nm	$6 \cdot 10^{17}$ cm^{-3}
15	AlGaAs – warstwa o stopniowanym składzie	0,6→0,35	20 nm	4 10^{17} cm^{-3}
14	AlGaAs -bariera	0,6	30 nm	$4 \cdot 10^{17}$ cm^{-3}
13	AlGaAs - bariera wewnętrzna	0,23	60 nm	niedomieszkowana
12	GaAs –studnia kwantowa	0	4 nm	niedomieszkowana
11	AlGaAs- bariera wewnętrzna	0,23	10 nm	niedomieszkowana
10	GaAs –studnia kwantowa	0	4 nm	niedomieszkowana
9	AlGaAs – bariera wewnętrzna	0,23	10 nm	niedomieszkowana
8	GaAs – studnia kwantowa	0	4 nm	niedomieszkowana
7	AlGaAs- bariera wewnętrzna	0,23	10 nm	niedomieszkowana
6	GaAs –studnia kwantowa	0	4 nm	niedomieszkowana
5	AlGaAs – bariera wewnętrzna	0,23	60 nm	-
4	AlGaAs -bariera	0,6	30 nm	$4 \cdot 10^{17}$ cm^{-3}
3	AlGaAs – warstwa o stopniowanym składzie	0,35→0,6	20 nm	$4 \cdot 10^{17}$ cm^{-3}
2	AlGaAs – emiter typu n	0,35	3300 nm	$4 \cdot 10^{17}$ cm^{-3}
1	GaAs - bufor	0	1000 nm	$2 \cdot 10^{18}$ cm^{-3}
0	GaAs – podłoże niskooporowe			

Tabela 3. Projekt heterostruktury tranzystora z dwuwymiarowym gazem elektronowym HEMT wytwarzanego metodą epitaksji MOVPE na podłożu InP.

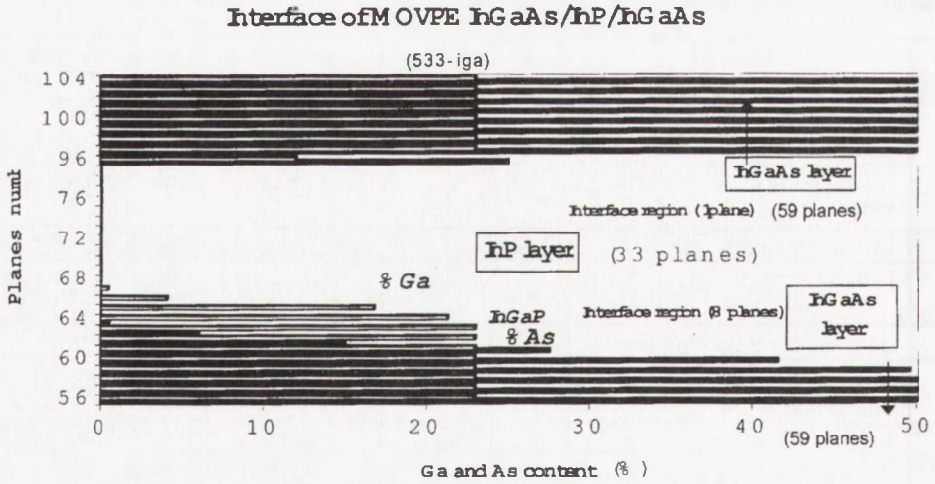
Nr	Materiał	Skład In lub Al	Grubość	Domieszkowanie
10	InGaAs-warstwa podkontaktowa	53%	15nm	$1 \cdot 10^{19}$cm^{-3}
9	InGaAs-warstwa Schotky'ego	53%	15nm	niedomieszkowana
8	InP-warstwa ograniczająca		2,5nm	niedomieszkowana
7	InAlAs-bariera	52%	20 nm	niedomieszkowana
6	domieszkowanie typu δ			$7 \cdot 10^{12}$cm^{-2}
5	InAlAs-warstwa oddzielająca	52%	4 nm	niedomieszkowana
4	InGaAs-kanał	53%	20 nm	niedomieszkowana
3	InAlAs-bufor	52%	10 nm	niedomieszkowana
2	InAlAs/InGaAs-supersieć	52%/53%	10x(25Å/18Å)	niedomieszkowana
1	InP-bufor		180 nm	niedomieszkowana
0	InP-półizolacyjne podłoże			

http://rcin.org.pl



Rys. 6. Widmo fotoluminescencji studni kwantowych GaAs. Grubość najcieńszej studni (d) - rzędu 2. warstw atomowych.

Na Rys.7 pokazano przykładowy wynik badania liczby międzywarstw w strukturze InP/InGaAs wytworzonej także metodą MOCVD, przy zastosowaniu metody opartej o pomiary dyfrakcji promieni rtg również opracowanej w ITME .

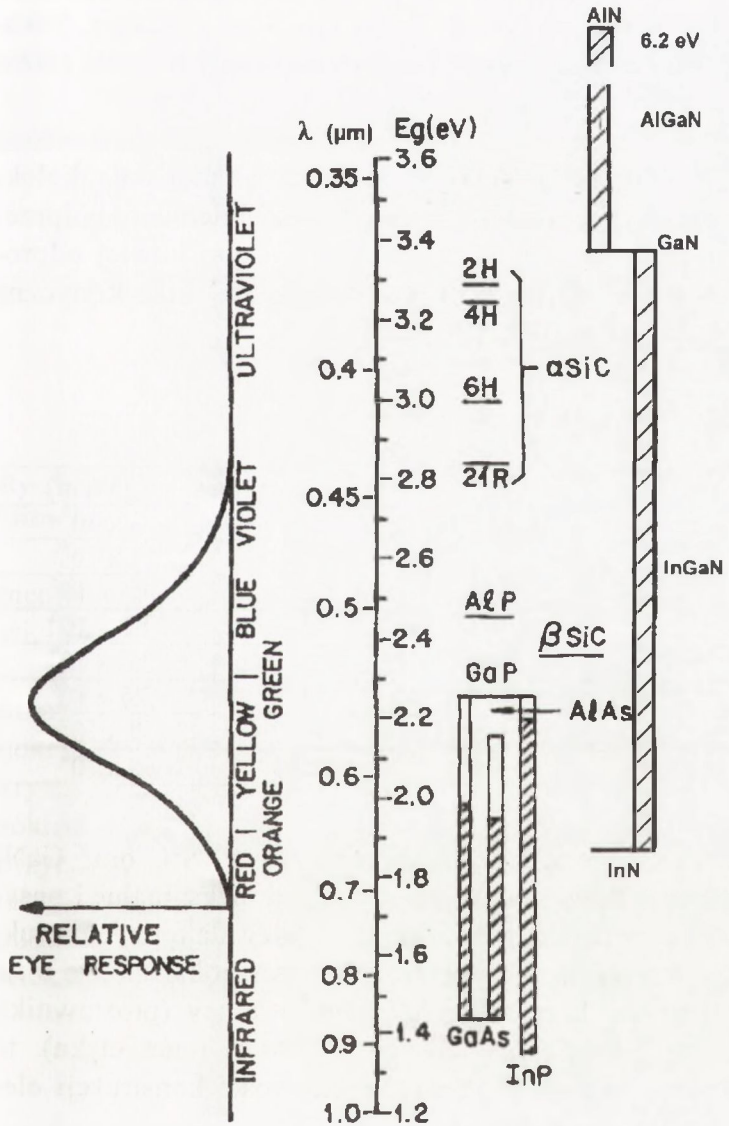


Rys. 7. Model kształtu interfejsu InP - InGaAs na podstawie badań metodą wysokorozdzielczej dyfrakcji rentgenowskiej. Obserowane różnice w grubości interfejsu w zależności od kolejności wzrostu warstw: InGaAs - InP lub InP - InGaAs.

http://rcin.org.pl

Drugą oprócz wspomnianej wyżej metody epitaksji gazowej ze związków metaloorganicznych jest metoda epitaksji z wiązek molekularnych MBE. Bardziej skomplikowana z powodu konieczności utrzymywania wysokiej próżni, pozwala ona jednak na kontrole procesu epitaksji *in situ* za pomocą dołączonych przyrządów pomiarowych.

Przerwy energetyczne różnych związków półprzewodnikowych i wynikające stąd możliwe długości fal generowanego promieniowania porównane z krzywą czułości oka ludzkiego pokazane są na Rys. 8. Związki potrój-



Rys.8. Przerwy energetyczne różnych związków półprzewodnikowych i określające ich potencjalne zakresy długości fal promieniowanych, porównane z krzywą czułości oka ludzkiego.

http://rcin.org.pl

ne GaAsP, AlGaAs, GaInP o odpowiednich składach pozwalają na wytwarzanie źródeł światła pokrywających zakres od podczerwieni do światła koloru żółto-zielonego. Światło zielone generować mogą diody z homozłączy z βSiC oraz z niektórych związków II/VI, choć problemy niezawodności tych ostatnich nie pozwoliły na ich szersze praktyczne zastosowanie.

Dlatego też, w tak wielu laboratoriach świata prowadzone są aktualnie prace nad azotkiem galu, charakteryzującym się znacznie szerszą przerwą energetyczną oraz jego związkami AlGaN i InGaN, które pozwalają na generację światła w zakresie od czerwonego do ultrafioletu. Źródło światła niebieskiego stanowi brakujące ogniwo do generacji światła białego. Stwarza to ogromne możliwości zastosowania diod luminescencyjnych dla celów oświetleniowych.

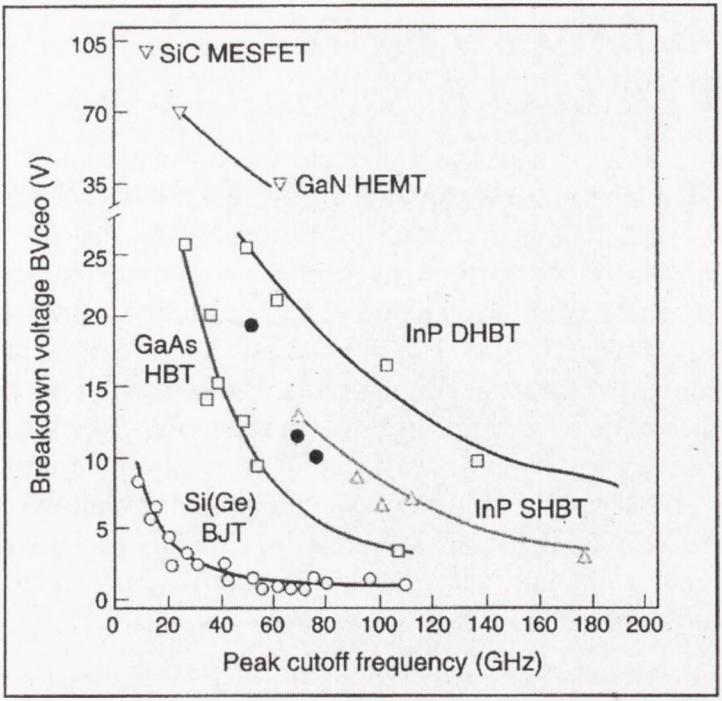
Właściwości różnych materiałów półprzewodnikowych przedstawione są w Tabeli 4. Oprócz szerokości przerwy E_g pokazano na niej stałą dielektryczną materiału decydującą o pojemności pasożytniczej elementu półprzewodnikowego, przewodność termiczną Θ (im większa tym łatwiej odprowadzać ciepło generowane w złączu przy pracy elementu) oraz krytyczne pole elektryczne decydujące o napięciach przebicia.

Tabela 4. Właściwości materiałowe niektórych półrzewodników.

Materiał	E_g(eV)	ε_r	θ(W/°K-cm)	E_c(V/cm)
Si	1,12	11,9	1,5	3×10^5
GaAs	1,43	12,5	0,54	4×10^5
InP	1,34	12,4	0,67	$4,5 \times 10^5$
3C-SiC	2,3	9,7	4	$1,8 \times 10^6$
4H-SiC	3,2	10,0	4	$3,5 \times 10^6$
6H-SiC	2,86	10,0	4	$3,8 \times 10^6$
GaN	3,4	9,5	1,3	2×10^6
Diament	5,6	5,5	20-30	5×10^6

W Tabeli 4 wykazano, że materiały szerokopasmowe (SiC oraz GaN) oprócz dobrych parametrów transportu (duże szybkości maksymalne i nasycenia), posiadają dobre właściwości termiczne oraz pozwalają na konstrukcję przyrządów o dużych napięciach przebicia. Na Rys.9 pokazano, że o ile SiC nadaje się doskonale do konstrukcji elementów mocy (prostowniki, tyrystory) pracujących w zakresie niskich częstotliwości (energetyka), to tranzystory HEMT "oparte" o GaN dają duże możliwości konstrukcji ele-

http://rcin.org.pl



Rys.9. Napięcie przebicia w funkcji częstotliwości odcięcia dla różnych elementów półprzewodnikowych.

mentów dużej mocy w wyższych pasmach częstotliwości i zastąpienia w wielu zastosowaniach lamp elektronowych.

Jednak zasadniczą przeszkodą w rozwoju technologii przyrządów półprzewodnikowych "opartych o" GaN jest brak technologii wytwarzania monokryształów GaN o odpowiednich wymiarach. Największe płytki monokrystaliczne krystalizowane metodą wysokotemperaturową pod bardzo wysokimi ciśnieniami mają wymiary pojedynczych cm, dlatego też wszystkie przyrządy wytworzone z tych materiałów otrzymuje się metodą heteroepitaksji, przy czym najczęściej stosowanymi podłożami są szafir oraz SiC. Na podłożu szafirowym skonstruował Nakamura pierwsze lasery niebieskie i większość diod luminescencyjnych.

http://rcin.org.pl

PODSUMOWANIE

Omówione wyżej właściwości i zastosowania materiałów nie wyczerpują wszystkich ich rodzajów. Całkowicie nowe właściwości posiadać mogą związki w postaci nanomateriałów, czyli złożone z cząstek o wymiarach nanometrycznych. O pewnych prostych jednowymiarowych formach takich materiałów w postaci bardzo cienkich warstw (studnie kwantowe) czy strukturach periodycznych złożonych z kilkudziesięciu bardzo cienkich warstw różnych materiałów (supersieci), a szeroko stosowanych w elektronice i optoelektronice dla wytwarzania laserów, tranzystorów czy zwierciadeł Bragga, była mowa wyżej. Ostatnie badania pokazały ogromne możliwości, jakie w technice laserowej daje wykorzystanie kropek kwantowych, a oprócz materiałów, o których była mowa wyżej, duże możliwości stwarzają materiały organiczne i dlatego tylko przyszłość odpowie, jaki materiał będzie nowym materiałem XXI wieku.

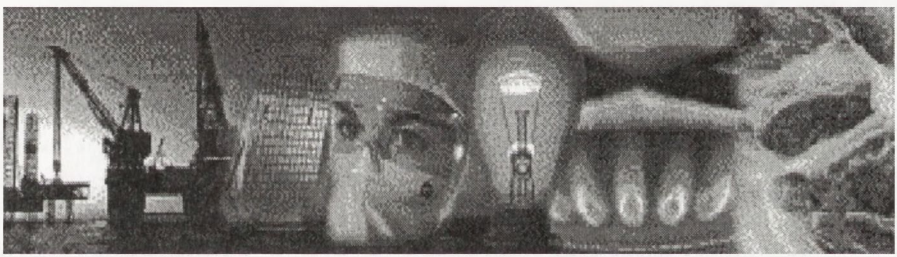
http://rcin.org.pl

MST RELATED ACTIVITIES AT SCHLUMBERGER

Anne **Mikoulinsky**[1], Gabriel **Marquette**[1], Jan **Suski**[2]

PRESENTATION OF SCHLUMBERGER

Schlumberger is a multinational company represented in more than one hundred countries. Key figures describing the company are given in Figs. 1 i 2.



Revenue	Net Income	Net Income	R&D
US$ 11.8 billion	US$ 1.01 billion	US$ 1.87 (per Share)	US$ 568 million

Employing 64,000 people of 100 nationalities in over 100 countries

Fig.1. 1998 Key figures.

[1] Schlumberger Limited-European Affairs
[2] Schlumberger Industries, Montrouge Technology Center
e-mail: suski@montrouge.rms.slb.com

http://rcin.org.pl

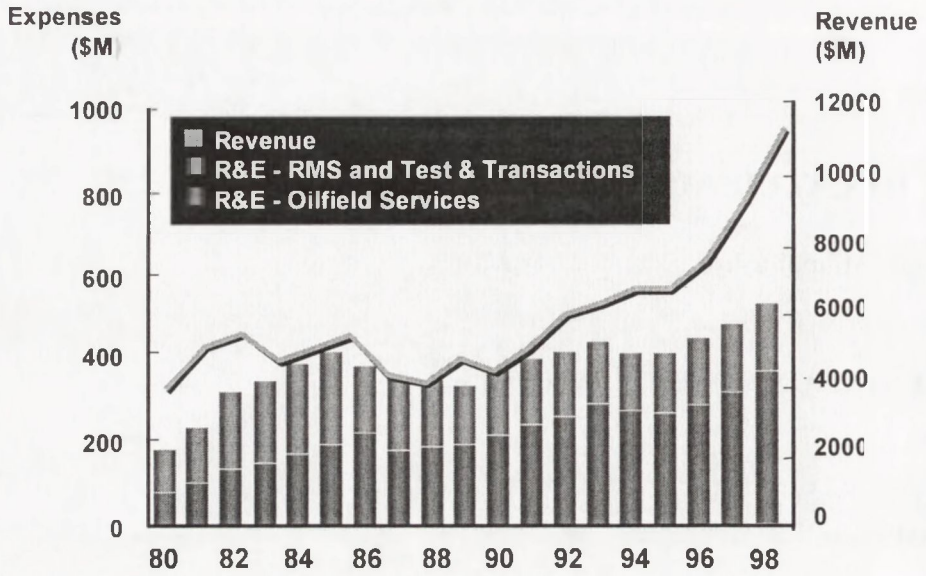


Fig.2. Commitment to technology.

Schlumberger has three major industrial segments: Oil Field Services, Resource Management Services and Test & Transactions. These three business groups join more than ten product lines.

Oil field Services (OFS) offer well-site exploration and production services to the petroleum industry in its search for and recovery of oil and gas.

Resources Management Services (RMS), its metering division, provides advanced technologies for optimizing the distribution of natural resources and adapts metering to the most varied uses, flows and types of distribution. Schlumberger is a world-wide leading player in the metering business (electricity, gas, water and heat).

Test & Transactions (T&T) provides solutions to public and private operators to optimize their profits and revenue through secured Electronic Transactions, e.g. smart cards, terminals, publiphones, etc. Sensors, MST's their applications and exploitation constrains needed by Schulmberger are listed below:

http://rcin.org.pl

MST - AT SCHLUMBERGER

Oil Field Services:

Seismic & Geophysics: μsensors (hydrophones, geophones,...)
distributed systems and database technology

Wireline & Testing: high temperature high pressure electronics
systems integration

- Resource Management Services:
  μsensors, μelectronics (low power, low cost)
  embedded software, multimedia technology
  process re-engineering
- Test & Transactions:
  μelectronics, embedded software
  multimedia technology, network
  customized service
- Omnes:
  communication systems.

Applications:

Oil field services: exploration & field development
RMS & T&T: gas, water and electricity metering, smart cards

- Microsystem / system components needed:
  pressure, acceleration, temperature, optical, chemical sensors
- Exploitation constraints:
  harsh environment: HT, humidity, mechanical shocks, ...
  low power consumption
  very long life-time? 20 years
  low drift
  low cost.

RATIONALE FOR THE MST USE

Oil field Services

Approximately 40% of the world's estimated recoverable reserves has been consumed. The extraction of the next third of the reserve will depend upon the increased knowledge of the reservoirs and the capability of a very tight control/

http://rcin.org.pl

management of oil well production parameters. The oil field output efficiency will rely on the extensive seismic experiments/interpretations and the continuous real time control of the production. This will require largely spread measurements resulting from marine and land seismic experiences and in-situ monitoring of the oil wells, respectively. The collection of a huge information volume will need the use of distributed sensors and sensor arrays capable to transmit data to the operation centres (Fig. 3). It is thus self-understood that Microsystems Technologies (MST)/MEMS are already and will be employed to carry out these tasks which combine extremely precise measurements with very sophisticated electronic and communication skills.

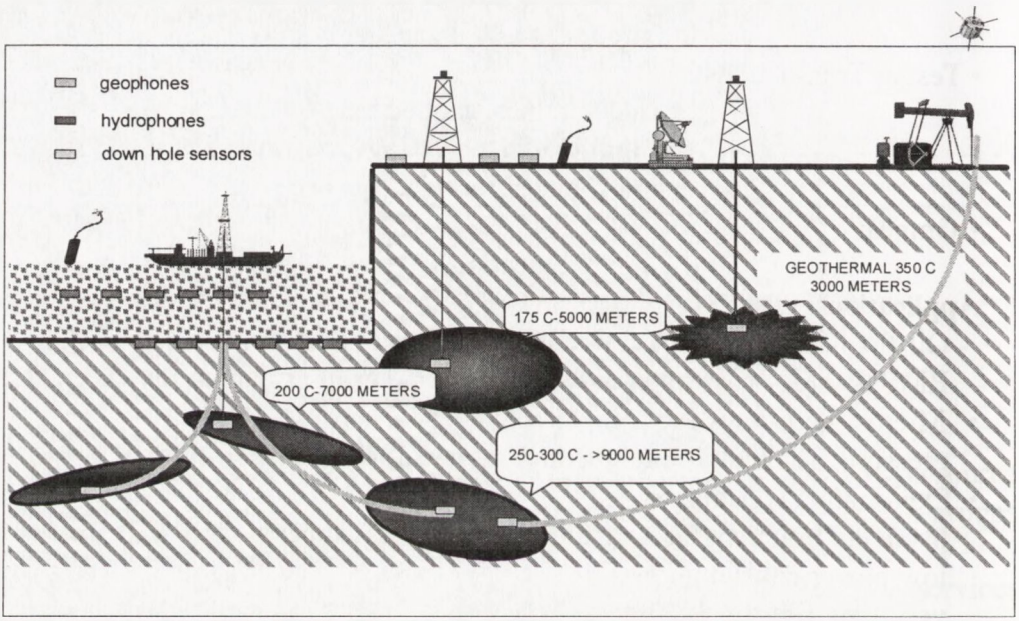


Fig. 3. MST on oil field services.

Resource Management Services

The conditions of a marketplace in which energy and resource operators are undergoing massive changes are forcing transport and energy distribution industries to offer ever more reliable metering solutions. It is now essential to control energy flow. The deregulation and privatization in many European markets as well as the US bring new challenges to utilities today. Also managing vast

http://rcin.org.pl

quantities of energy resource data is increasingly a key element for utilities wishing to reduce costs, increase efficiency, and package and market energy resource-related services.

It is expected that the application of Microsystems in the energy meters will help the following functions:

- faster and more accurate billing
- improvement of fraud detection
- customized solutions to the end-users.

The introduction of the MST devices will be also encouraged by a development of intelligent home automation which is addressing among different items such problems as energy saving, consumption monitoring and domestic device management.

APPLICATIONS

Oil field services

The list of sensors contains hydrophones and geophones used in marine and land seismology, respectively, as well as various sensors to monitor oil well parameters (pressure, temperature, flow rate, multiphase medium, etc.). (Fig.4).

Two aspects of the use of Microsystems are intimately linked: harsh environment conditions and need for extremely precise and low drift measurements to assure among others the long term permanent monitoring of the oil wells.

High reliability of the measurements carried out in such difficult conditions is mandatory to allow the optimization of production techniques, problem diagnostics and improvement of reservoir models. For long term functioning of the Microsystems possibilities of self-calibrations and in-situ corrections will be important features of the device.

http://rcin.org.pl

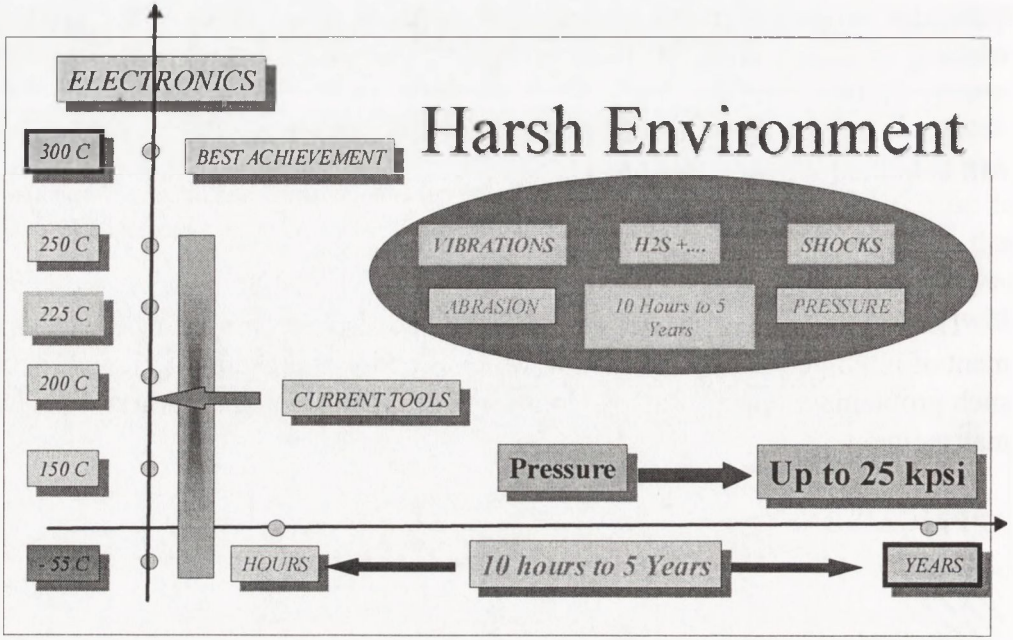


Fig.4. MST of oil field services.

APPLICATIONS

Resource management services

Basic components of energy (gas, electricity and heat) distribution networks are stand-alone meters that should exhibit extremely stable long term performances for about 20 years, very low power consumption and capability to operate in very different climate conditions. Because of the fiscal character of the measurements each meter has to be authorized to satisfy a corresponding legislation and it has to respect well defined standards. In some countries, in particular in the USA, the additional function of the meter such as a capability for a remote data collection is already operating. It is expected that metering and communication tasks can be substantially facilitated with the introduction of metrologically reliable Microsystems.

One of the trends today is to replace classical mechanical meters by new meters in which moveable parts are removed to give place for static sensors and signal treatment electronics. Semiconductor based sensors have a very difficult task to compete mechanical devices in terms of stability and reliability. This

http://rcin.org.pl

starts to be possible with a system approach which should be able to match metering requirements. Solutions adopted by Schlumberger are illustrated in Fig. 5-7.

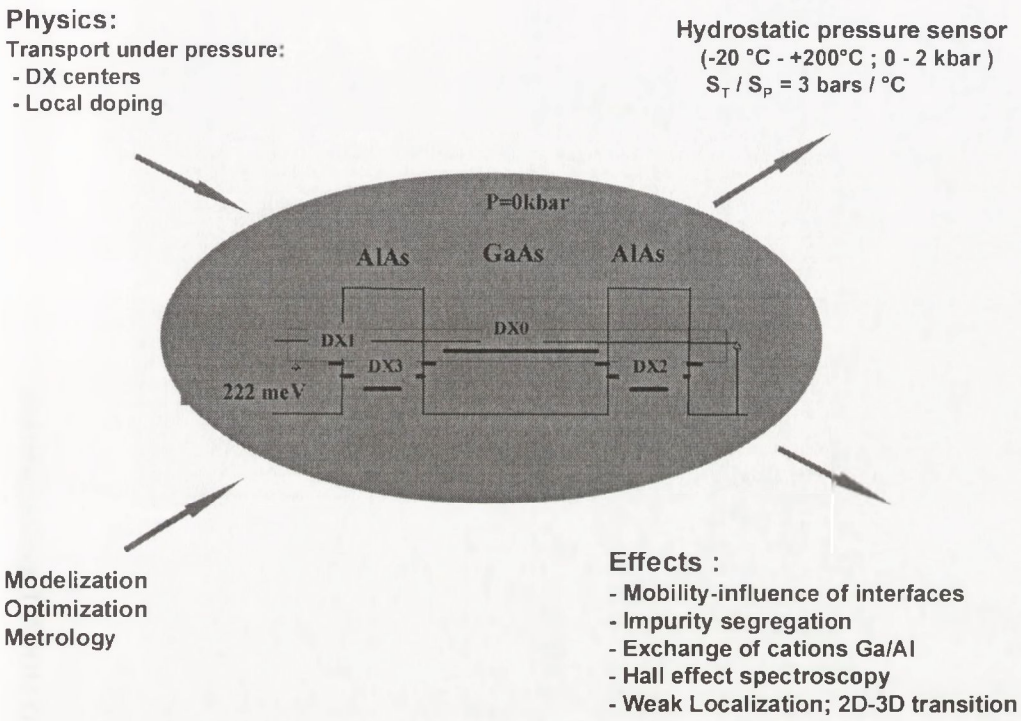


Fig. 5. Super-lattice pressure sensor.

http://rcin.org.pl

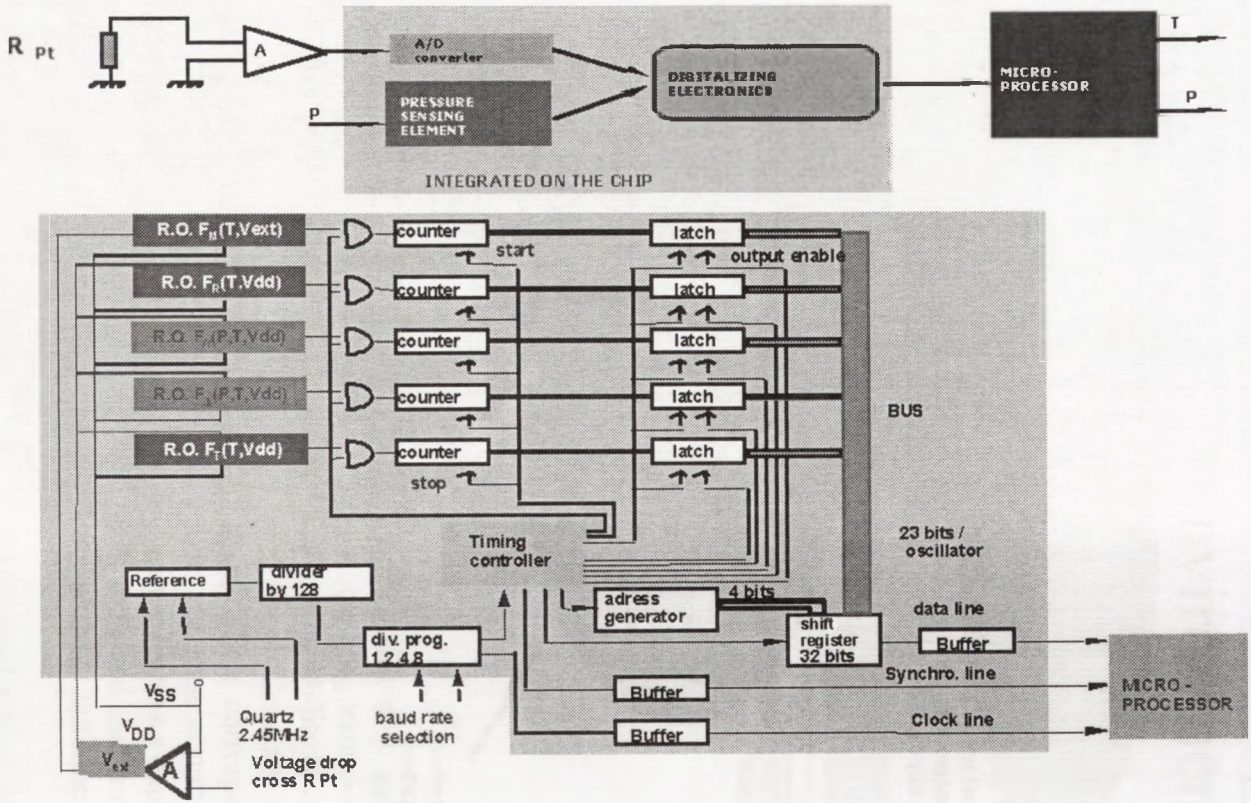


Fig. 6. RO MOSFET operting principle.

http://rcin.org.pl

Frequency ratio behavior of the pressure sensitive ring oscillator pairs

Resolution	Full Scale sensitivity	TC of sensitivity	Non linearity (terminal based)	Pressure hysteresis	TC of offset	Vdd coeff.
10^{-5} FS	10^{-1}	1.2×10^{-3} FS / °C	3×10^{-3} FS	$\pm 1.5 \times 10^{-4}$ FS	6×10^{-5} FS / °C	7×10^{-6} FS / mV

- **Pressure sensor performance**
  - Sensitivity 10 % Full scale
  - Accuracy 0.1% Full scale
  - Long term stability < 0.1% Full scale / year

- **Power consumption**
  - 2 mW at 3 Volts
  - 10 mW at 5 Volts

- **Programmable baud rate**
  - 2 400 2800
  - 9 600 19200

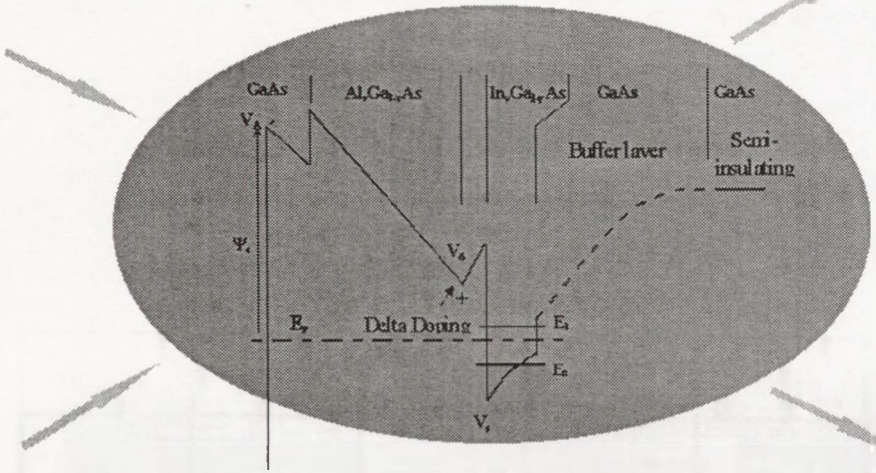
Fig. 7. RO MOSFET performances.

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

Physics of Heterostructures

DX centers
Quantum well:
- SDH
- Cyclotron Resonance
- Transport properties under pressure

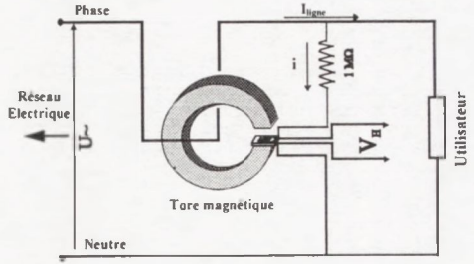


Model
Optimization
Metrology

Hall Effect Sensor

K_H=1 / n.e = 1000 A/T

S_T=150 ppm/°C



$V_H \approx K_H U I$

Physics Effects:

- Interfaces
- Charge Correlations
- Antilocalization

Fig. 8. 2D Hall effect sensor.

When the performances of MST are proven for the industrial metering then a huge domestic market could be open for the MST. The high volume domestic metering applications will require simultaneous solving of the metrological performances and extremely low power consumption (in the range of μWatts) of the whole system. These targets are summarised in Fig.8.

EUROPEAN RTD PROGRAMS

European RTD Programs play extremely important role in the stimulation of the European industrial and R&D competitiveness, as well as in the development of international cooperations. Those collaborative projects contribute to improve European social and economic cohesion, for example by technology transfer to less technically advanced regions.

Schlumberger interest to participate in RTD Programs

- Acceleration of time-to-market for strategic development
- Through partnerships with subcontractors and customers help develop Schlumberger products and services & new business opportunities
- System approach ==> Synergy, know-how transfer
- Avoid reinventing the wheel: be aware of complementary expertise
- Technology Watch, Competition watch.

Beside technical goals, safety, social and environmental impact should also be identified. A basic rule is that Consortia provide an assessment of the potential impacts of the research on safety and environment, identifying and quantifying expected environmental benefits in terms of sustainable development, identify and quantify social significance, e.g. better working or living conditions (health and safety, improved ergonomics, enhanced job satisfaction).

In the today's competitive industrial world, it is very rare to be able to develop a new product only through in-house development. Then, European Commissions provide good means to find industrial and R&D partners to build up a dedicated consortium. EU bodies and National representatives in the European Commissions provide all necessary guidelines to help in this research. A good partnership structure is essential for the project success. Is should cover

http://rcin.org.pl

complementarity, transnationality and multi-disciplinary nature of the partners. On the other hand, the partners should assure a post-project life, that is the further cooperation in an exploitation phase of the project. Industrial Property Rights of the involved partners are fully respected thanks to the contract signed between a given consortium and the European Commissions. In particular Ownership of Background Information and Background Patents shared with the consortium have to be carefully defined to protect partner interests during the project development and subsequent exploitation phase. Those issues are particularly important and have to be treated immediately at the proposal writing level:

- for big industries, it is a essential for preserving confidentiality on their strategic developments, which is not only a matter of know-how but also of market share and competition positioning.
- for SME's, it is crucial for protecting their know-how, and to be in an equilibrated situation for discussing future exploitation of the foreground of the project.
- for academia, to keep their leading role in scientific development and being recognized as real actors for the future industrial world development.

The Eurimus initiative is one of the European programmes in which Schlumberger is actively participating. Its rules are described below:

- EURIMUS:
  Eureka Industrial Initiative for Microsystems Uses (EURIMUS)
  Eureka Project n°1884
  Opened to all 26 Eureka Countries (including Poland)
- Industry driven Research Programme
  Bottom-up approach
- Continuous submission scheme
  Follow National fundings rules
- Domains of interest for Schlumberger:
  Energy management
  Geoscience
  Electronic commerce

Three Eurimus projects in which Schlumberger is participating are described below.

- ALLIGATOR:
  ALL Integrated metering (ALLIGATOR)
- Objective

http://rcin.org.pl

Achieve a single phase residential electricity meter in three years. The aim is to achieve a metering micro-system through the integration of the register, the communication and the packaging (including magnetic core, conductors, relay and antenna).

- Consortium
  France: RMS-MTC, IRCOM (Univ. Limoges)
  Germany: FAPS, SIMLAB
- DIAGNOSIS:
  Sensor network for reservoir drainage optimization based on a new silicon resonator gauge
- Objective
  Develop a low-cost, high reliable tool for permanent monitoring
  - New pressure sensor based on silicon resonator.
  - A miniaturized interface sensor ASIC
  - A new communication system : data processing and telemetry
- Consortium
  France: SRPC, ESIEE, Tronic's, ATI
  Norway: Chipcon
  Germany: EuroPEP

- HERO:
  Development of a new Hall effect sensor for (HERO) an electricity meter
  - Objective
    The project objective is to develop a Hall effect μ-sensor dedicated to measurements of electrical power with performances satisfying exceptional metrological quality: +/-0.5% accuracy for a current dynamic measurement range of 1:4000.
  - Consortium
    France: RMS-MTC, LETI, GES (Univ. Montpellier), Crouzet
    Belgium: UCL
    Switzerland: EPFL, EM-Marin.

http://rcin.org.pl

CONCLUSIONS/PERSPECTIVE

Market pull is the major motivation for industrial innovation

Today, know-how acquisition and technology transfer go through external collaboration, even if the technical monitoring remains in the company

- Participation to RTD programs (5FP, EUREKA):
  Know-how acquisition through funded European Projects
  IPR matters covered by Consortium Agreement
  Technical and financial risks minimization.

==> Increase presence in Collaborative Actions results in:
opening avenues towards new businesses, etc.,
new customers, new countries (CEEC)

==> Develop partnership with recognized Polish MST community.

http://rcin.org.pl

INTERDYSCYPLINARNE ZASTOSOWANIA MIKROINŻYNIERII KRZEMOWEJ

dr inż. Jacek **Marczewski**, dr inż.Piotr **Grabiec**, mgr inż. Krzysztof **Domański**

WSTĘP

Instytut Technologii Elektronowej (ITE) jest jednostką naukowo-badawczą prowadzącą prace rozwojowe w zakresie szeroko rozumianej technologii półprzewodnikowych przyrządów elektronowych. Ważną dziedziną działalności ITE jest technologia przyrządów krzemowych. W tym zakresie Instytut ma bardzo poważne osiągnięcia naukowo-badawcze. Praktycznym wykorzystaniem badań jest między innymi produkcja specjalizowanych układów scalonych (ASICs), fotodiod lawinowych o wyśmienitych parametrach (produkt eksportowy) oraz udział Instytutu w szeroko zakrojonej współpracy międzynarodowej dotyczącej detektorów promieniowania jonizującego. Obecnie na świecie powstają szczególnie interesujące zastosowania tej właściwości technologii krzemowej, które pozwalają na wytwarzanie układów mechanicznych w połączeniu z elektronicznymi. Poniżej na przykładzie wybranych klas przyrządów wytwarzanych na linii doświadczalnej Zakładu Technologii Mikroelektronicznej przedstawiono w ogólnym zarysie potencjał Instytutu w dziedzinie mikroinżynierii krzemowej.

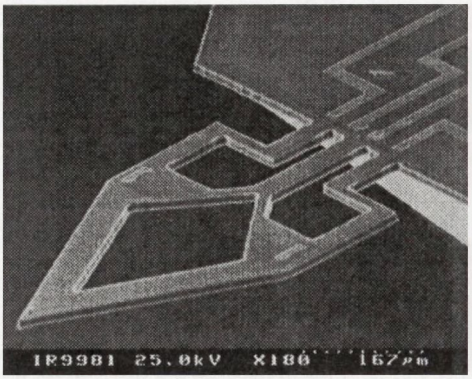
KIERUNKI DZIAŁALNOŚCI

Mikrosondy LFM/AFM

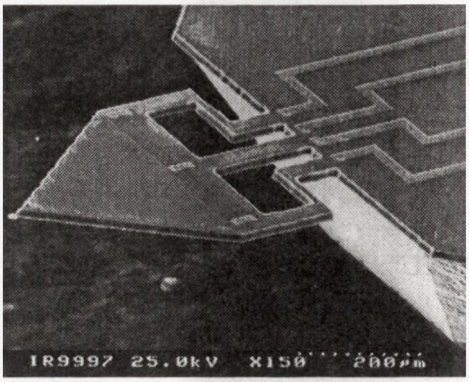
W ramach prac prowadzonych w ITE skonstruowano i wykonano modele mikrosond (LFM/AFM) (Lateral Force Microscopy/Atomic Force Microscopy). Sondę taką działającą w dwóch płaszczyznach pokazano na Rys. 1. Przez dodanie w strukturze sondy otworu w kształcie rombu widocznego na Rys. 2 "uczulono" ją na siły działające w trzeciej płaszczyźnie. Rozwiązanie te zostało zgłoszone do opatentowania.

[1] Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
e-mail - jmarcz@ite.waw.pl

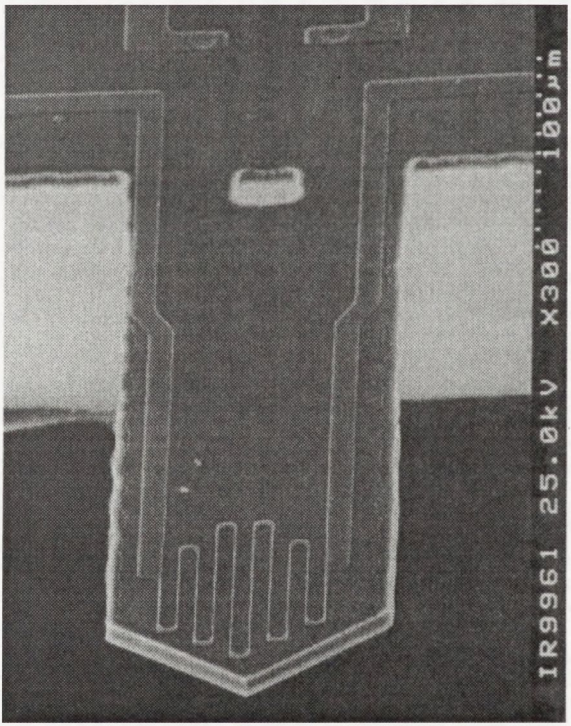
http://rcin.org.pl



Rys.1. Mikrosonda umożliwiająca pomiar sił działających w dwóch kierunkach lateralnym do badanej powierzchni (LFM) i wertykalnym (AFM).



Rys.2. Struktura mikrosondy umożliwiającej pomiar sił działających w trzech płaszczyznach.



Rys. 3. Femtokalorymetr z mikrogrzejnikiem.

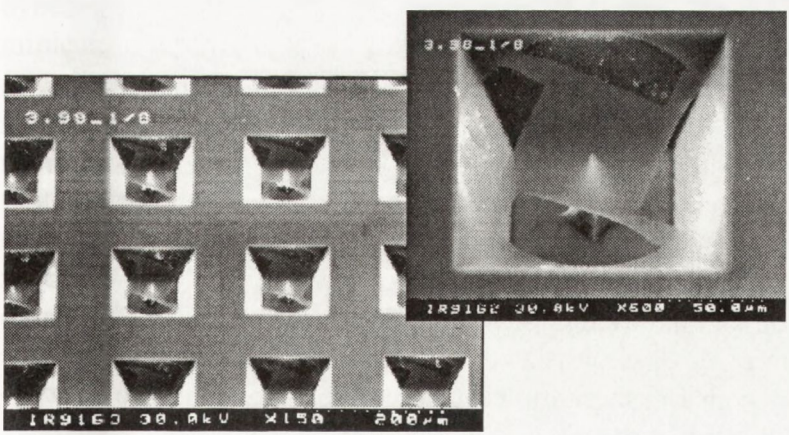
http://rcin.org.pl

· **Femtokalorymetr**

Piezorezystywna dźwignia krzemowa pokryta grubą warstwą dwutlenku krzemu może posłużyć jako precyzyjny przyrząd do pomiaru ciepła - femtokalorymetr. Zasada działania tego przyrządu polega na uginaniu się dźwigni absorbującej ciepło na skutek różnej rozszerzalności cieplnej krzemowej dźwigni i pokrywającego ją tlenku. Ugięcie dźwigni wyznaczane jest za pomocą mostka piezorezystorów umieszczonych u nasady dźwigni. Otwór wytrawiony w dźwigni wewnątrz ramki piezorezystorów koncentruje naprężenia mechaniczne w tym obszarze i zwiększa czułość przyrządu. Femtokalorymetry wykonane w ITE (Rys. 3) zostały dodatkowo wyposażone w mikrogrzejnik wykonany w postaci metalicznego meandra. Energia elektryczna dostarczana do mikrogrzejnika pozwala na kompensację przyrządu i umożliwia przeprowadzanie pomiarów, podczas których dźwignia femtokalorymetru nie jest ugięta.

· **Matryca emiterów do emisji polowej**

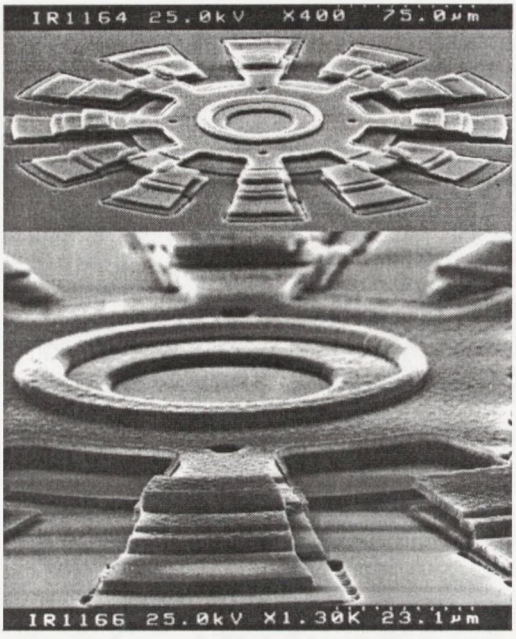
W efekcie prowadzonych w ITE prac nad mikrosondami, opracowano koncepcję wytwarzania matryc ostrzy umieszczonych w zagłębieniach wytrawionych w krzemie. Matryce te mogą służyć jako emitery polowe (elektronów) i stanowią punkt wyjścia przy opracowaniu technologii, mogącej znaleźć zastosowanie na przykład, przy wytwarzaniu płaskich wyświetlaczy FED (Field Emission Display). Fragment wytworzonej w ITE struktury. pokazano na Rys. 4. W zagłębieniach o wymiarach 120 x 120 μm centrycznie umieszczona jest igła krzemowa o wysokości rzędu 30 μm. Nad zagłębieniem i ponad igłą rozpięta jest cienka membrana, która po wykonaniu w niej centrycznego otworu może służyć jako elektroda przyspieszająca i sterująca. Dodatkowe zwiększenie emi-



Rys. 4. Matryca emiterów emisji polowej.

http://rcin.org.pl

sji polowej można będzie uzyskać po nałożeniu na ostrze cienkiej warstwy węgla diamentopodobnego (materiału o małej pracy wyjścia).



Rys. 5. Struktura mikrosilnika krzemowego wykona w ITE.

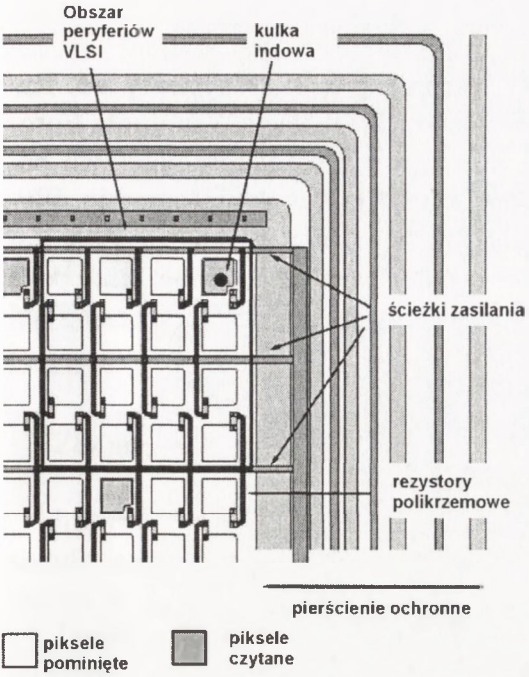
· Mikrosilniki

W przeciwieństwie do mikromechaniki objętościowej, wykorzystującej głębokie (rzędu wielu mikrometrów) trawienie płytki podłożowej, technika mikromechaniki powierzchniowej polega na wytwarzaniu przyrządów w osadzanych warstwach polikrzemu, azotku krzemu i dwutlenku krzemu. Warstwy dwutlenku krzemu służą jako pomocnicze warstwy nośne, które po spełnieniu swojej roli mogą być selektywnie usunięte spomiędzy pozostałych warstw. Typowym przykładem przyrządu wykonanego w tej technice jest mikrosilnik krzemowy pokazany na Rys. 5. Przedstawiony mikrosilnik ma 12 biegunów stojana i 8 biegunów wirnika. Elektryczne połączenie co trzeciego bieguna stojana powoduje, ze mikrosilnik może pracować jako maszyna trójfazowa. Polikrzemowe podpory (widoczne z góry jako symetrycznie rozmieszczone wklęśnięcia), wytworzone pod pierścieniem wirnika zmniejszają tarcie pomiędzy podłożem, a obracającym się wirnikiem.

· Detektory jądrowe

Pozycyjne detektory promieniowania jonizującego są niesłychanie ważnym narzędziem badawczym w fizyce cząstek elementarnych. Służą do wykrywania miejsca jonizacji następującej przy przejściu wysokoenergetycznej cząstki przez obszar detektora. Jedną z klas tego typu przyrządów są krzemowe detektory pikselowe. Tradycyjny detektor tego typu składa się z wielu gęsto rozłożonych złączy p-n (pikseli) wykonanych w wysokorezystywnym podłożu. Każdy z pikseli jest połączony z kilkutranzystorowym układem cyfrowo/analogowym o dużym wzmocnieniu. Możliwie blisko detektora muszą być też umieszczone układy kształtujące sygnał oraz multipleksujące. Całość powinna być niezwy-

http://rcin.org.pl



Rys. 6. Fragment konstrukcji detektora z pikselami pomijanymi przy odczycie, wytworzonego w ITE.

kle odporna na uszkodzenia radiacyjne. Niestety, ze względu na wymagania detektora nie można wykonać elektroniki odczytowej na tym samym podłożu. Zazwyczaj stosuje się rozwiązanie hybrydowe polegające na jej umieszczeniu na oddzielnej płytce krzemowej i połączenie z pikselami za pomocą maleńkich indowych kuleczek (tzw. montaż bump-bonding).

Zmniejszenie odstępów pomiędzy pikselami poniżej 20 mikrometrów prowadzi do sytuacji, w której obszar zajęty przez tranzystory podłączone do pojedynczego piksela staje się większy od modułu piksela. Rozwiązaniem jest pominięcie odczytu części pikseli. Wykorzystuje się wówczas istnienie pojemnościowego sprzężenia wszystkich pikseli, które sprawia, że możemy mimo wszystko wyliczyć dokładnie miejsce jonizacji. W ten sposób część pikseli nie jest w ogóle podłączona - a miejsca na elektronikę odczytową przybywa. Technologię wytwarzania pierwszego na świecie detektora tego typu opracowano w Zakładzie Mikroelektroniki ITE, zaś fragment jego konstrukcji przedstawiono na Rys. 6.

http://rcin.org.pl

PODSUMOWANIE

Celem konferencji - Nowe Materiały, Technologie, Mikrosystemy a 5. Ramowy Program Badań, Rozwoju Technicznego i Prezentacji Wspólnoty Europejskiej (lata 1998-2002) jest prezentacją krajowych ośrodków naukowo badawczych w kontekście analizy możliwości ich udziału w tym programie. Wydaje się, że udział w konsorcjum ubiegającym się o grant w ramach 5.PR jest możliwy, gdy instytucje mogą zaoferować potencjał twórczy wykraczający poza technologie standardowe. Dlatego zdecydowaliśmy się dokonać prezentacji naszych nietypowych rozwiązań technicznych.

http://rcin.org.pl

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA INSTYTUT TECHNIKI MIKROSYSTEMÓW WYDZIAŁ ELEKTRONIKI - GRUPY BADAWCZE

Zbigniew **Znamirowski**

Instytut Techniki Mikrosystemów zatrudnia około 100 pracowników. Obok statutowych zadań dydaktycznych pracownicy Instytutu prowadzą badania naukowe w ramach 11 zakładów badawczych.

Jeżeli poniżej nie wskazano inaczej to oferta współpracy dotyczy całej tematyki badawczej zakładu.

- ZAKŁAD MIKROMONTAŻU
  Kierownik: dr inż. ANDRZEJ BOCHENEK
  e-mail: aboch@wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
zgrzewanie i mikrozgrzewanie oporowe, termokompresja, ultrakompresja, lutowanie warstw metalicznych, klejenie i łączenie eutektyczne struktur półprzewodnikowych, techniki montażu bezdrutowego, mechanika precyzyjna i mikromechanika.

- ZAKŁAD TECHNOLOGII STRUKTUR SUBMIKROMETROWYCH
  Kierownik: prof. dr hab. inż. WOJCIECH CZARCZYŃSKI
  e-mail: wczarcz@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
badania zjawisk w źródłach jonowych do jonowego trawienia powierzchni, optymalizacja konstrukcji źródeł jonowych typu Kaufmana do jonowego trawienia powierzchni, polowe mikroźródła elektronów dla mikroelektroniki próżniowej,

*) Politechnika Wrocławska, Instytut Techniki Mikrosystemów, ul. Janiszewskiego 11/17 50-372 Wrocław, e-mail: zbigznam@itm.ite.wroc.pl

http://rcin.org.pl

modelowanie komputerowe rozkładu pól elektrycznych i torów w układach polowych mikroźródeł elektronów.

- ZAKŁAD TECHNOLOGII APARATURY ELEKTRONICZNEJ
  Kierownik: dr hab. inż. JAN FELBA
  e-mail: felba@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
techniki elektronicznego mikromontażu powierzchniowego (flip-chip, chip-on-board i innych), komputerowe modelowanie elementów elektronicznych i mikrosystemów oraz procesów montażu aparatury elektronicznej, diagnostyka połączeń układów wielowarstwowych, opracowanie klejów do mikromontażu elektrycznego, spawanie i lutowanie super twardych materiałów oraz modyfikacja powierzchni wiązką elektronową, badania wiązek elektronowych dużej mocy, optymalizacja konstrukcji wyrzutni elektronowych.

- ZAKŁAD ELEKTRONIKI CIAŁA STAŁEGO
  Kierownik: prof. dr hab. inż. BENEDYKT LICZNERSKI
  e-mail: belicz@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
badania strukturalne materiałów, badanie elektrycznych właściwości ciał stałych metodą spektroskopii impedancyjnej, badanie optycznych właściwości ciał stałych, fotowoltaika, diagnostyka niezawodności podzespołów i układów elektronicznych, sensory oparte na technologii grubowarstwowej, mikroskopia bliskich oddziaływań (mikroskopia tunelowa i sił atomowych).

- ZAKŁAD TECHNIKI PRÓŻNIOWEJ
  Kierownik: doc. dr inż. MICHAŁ MORAW
  e-mail: ztp@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
technika wytwarzania próżni, metrologia próżni, techniczne zastosowanie próżni, kriogenika.

OFERTA WSPÓŁPRACY:
diagnostyka próżniowa, badanie materiałów stosowanych w układach wysokiej próżni, niekonwencjonalne zastosowania techniki próżniowej.

- ZAKŁAD ELEKTRONOWIĄZKOWYCH BADAŃ POWIERZCHNI
  Kierownik: prof. dr hab. inż. ANDRZEJ MULAK
  e-mail: mulak@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

http://rcin.org.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
badania powierzchni ciał stałych metodami elektronowej mikroskopii skaningowej, cyfrowa akwizycja i obróbka obrazów mikroskopowych, badania defektów w półprzewodnikach metodą DLTS (*deep level transient spectroscopy*), zastosowanie metody RHEED (*reflection high - energy electron diffraction*) do oceny jakości powierzchni ciał stałych, pomiary mechanizmów przewodnictwa elektrycznego w implantowanych warstwach epitaksyjnych GaAs.
OFERTA WSPÓŁPRACY:
projektowanie i wytwarzanie układów detekcji do mikroskopów skaningowych, badania elektrycznie aktywnych defektów w półprzewodnikach technikami: DLTS, fotoprądów, EBIC i LBIC

- ZAKŁAD MIKROUKŁADÓW HYBRYDOWYCH
  Kierownik: prof. dr hab. STANISŁAW J. OSADNIK
  e-mail: osadnik@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
technologia warstw cienkich, mikroelektroniczne cienkowarstwowe struktury bierne, mikroczujniki i przetworniki oparte o technologię cienkowarstwową; np.: czujniki temperatury i przepływu, przetworniki mocy mikrofalowej.

- LABORATORIUM PRÓŻNIOWYCH URZĄDZEŃ TECHNOLOGICZNYCH
  Kierownik: dr inż. WITOLD POSADOWSKI
  e-mail: posadows@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
opracowanie układów do magnetronowego rozpylania materiałów i nanoszenia warstw przewodzących i dielekrtycznych, badanie warunków nanoszenia warstw na potrzeby układów mikrofalowych, rozwój unikalnej techniki rozpylania magnetronowego tzw. autorozpylania (self sputtering) do warstw o dużej czystości.
OFERTA WSPÓŁPRACY:
budowa systemów magnetronowego rozpylania, opracowanie metod wytwarzania warstw przewodzących i dielektrycznych z użyciem rozpylania magnetronowego.

- ZAKŁAD URZĄDZEŃ ELEKTRONOOPTYCZNYCH
  Kierownik: prof. dr hab. inż. WITOLD SŁÓWKO
  e-mail: wislo@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

http://rcin.org.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
optyka elektronowa i jonowa, zastosowania optyki elektronowej w aparaturze technologicznej i diagnostycznej, rozwój możliwości diagnostycznych elektronowej mikroskopii skaningowej m.in. w zakresie: trójwymiarowego obrazowania i metrologii topografii powierzchni, obrazowania i metrologii powierzchniowego rozkładu potencjałów, obrazowania dielektryków i obiektów o dużej prężności par (mikroskopia niskopróżniowa).

- ZAKŁAD PRZYRZĄDÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH
  Kierownik: dr inż. MAREK TŁACZAŁA
  e-mail: tlaczala@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
projektowanie, konstrukcja i technologia przyrządów półprzewodnikowych oraz układów scalonych; mikrofalowe diody Schottky'ego, tranzystory MESFET i HEMT, mikrofalowe układy scalone, struktury optoelektroniczne, detektory promieniowania i fotoodbiorniki, projektowanie, konstrukcja, technologia i wdrażanie półprzewodnikowych struktur mikromechanicznych, czujniki ciśnienia i przyspieszenia, systemy i czujniki inteligentne, mikromechanizmy i systemy mikromechaniczne MEMS, epitaksja warstw, struktur niskowymiarowych i super sieci związków $A^{III}B^{V}$, (GaAs i GaN) metodą MOVPE.

- ZAKŁAD TECHNIKI JONOWEJ
  Kierownik: prof. dr inż. JERZY ZDANOWSKI
  e-mail: jzdan@ wtm.ite.pwr.wroc.pl

TEMATYKA BADAWCZA:
nanoszenie warstw cienkich za pomocą różnych wariantów metody platerowania jonowego, trawienie wiązką jonów wraz z badaniami morfologii powierzchni, implantacja jonowa, teoria oddziaływania jonów z ciałem stałym,
OFERTA WSPÓŁPRACY:
budowa urządzeń jonowych do nanoszenia warstw cienkich i do trawienia ciał stałych, wyrzutnie elektronowe do parowania w wersjach jedno i dwutyglowej, pokrywanie narzędzi i części maszyn warstwami twardymi, antykorozyjnymi i dekoracyjnymi.

PODSUMOWANIE

Zaprezentowano zakłady naukowo-badawcze Politechniki Wrocławskiej w kontekście możliwości ich udziału w 5. Programie Ramowym (5.PR).

http://rcin.org.pl

KIERUNKI DZIAŁALNOŚCI INSTYTUTU SZKŁA I CERAMIKI

dr inż. Wacław **Rećko**

WSTĘP

Krótkie przedstawienie kierunków działania Instytutu Szkła i Ceramiki na forum niniejszej Konferencji stawia sobie za cel pokazanie części obszarów działalności Instytutu i wybranych rezultatów. Mamy nadzieję że niektóre z nich mogą obecnych zainspirować do niestandardowych zastosowań, być może i w elektronice.

Instytut Szkła i Ceramiki (ISiC) podzielony jest na trzy oddziały:

- Odział Krakowski ISiC
  30-702 KRAKÓW ul. Lipowa 3; tel. (012) 423-67-77; fax (012) 423-58-36
- Zakłady Badawczo - Produkcyjne ISiC w Pruszkowie
  05-800 PRUSZKÓW ul. Bolesława Prusa 41; tel. (022) 758-70-87;
  fax (022) 758-70-14
- ISiC w Warszawie
  02-676 WARSZAWA ul. Postępu 9; tel. (022) 843-74-21 do 26;
  fax (022) 843-17-89

Laboratorium Badawcze Oddziału Krakowskiego ISiC jest akredytowane przez Polskie Centrum Badań i Certyfikacji wykonuje w szerokim zakresie badania fizykochemiczne szkła oraz wyrobów szklanych.

Zakłady Badawczo - Produkcyjne w Pruszkowie specjalizują się w produkcji pigmentów do cementów, mas ceramicznych, farb itp. oraz produkują wyroby z ceramiki elektrotechnicznej.

---

*) Instytut Szkła i Ceramiki, ul. Postępu 9, 02-676 Warszawa

http://rcin.org.pl

KIERUNKI DZIAŁALNOŚCI

W działalności Zakładów badawczych w Warszawie wyróżnić można trzy najważniejsze kierunki:

- **Bioceramika**

Badania nad bioceramiką (cementy apatytowe, implanty korundowe) jako nośnikiem leków.

Badania nad cementami apatytowymi do ubytków kostnych.

W zaawansowanych badaniach klinicznych znajdują się: materiały implantacyjne do otolaryngologii i porowate implanty korundowe.

Produkowane w ISiC stomatologiczne cementy szkło jonomerowe mogą znaleźć zastosowanie w technice jako "super kleje" do ceramiki.

- **Farby i barwniki**

ISiC wytwarza farby ceramiczne na wszystkie podłoża i dla wszystkich technik nakładania (zdobienia). Wytwarzane są też farby znacznikowe (markery) dla różnorodnych zastosowań.

- **Ceramika techniczna**

W zaawansowanej ceramice technicznej ISiC specjalizuje się w technice cienkościennej ekstruzji - grubość ścianek do 0,2 mm. Wytwarzane tą techniką są struktury typu "HONEYCOMB". Stosowane są one jako nośniki katalizatorów między innymi w konwertorach spalin w samochodach benzynowych oraz jako sita odlewnicze.

Prowadzone są badania nad korundową ceramiką na osłony balistyczne (pancerze czołgowe).

http://rcin.org.pl

NOWE METROLOGICZNE METODY I NARZĘDZIA DIAGNOSTYKI PROCESÓW WYTWARZANIA

Krzysztof **Badźmirowski**[1)], Jerzy **Kern**[1)], Piotr **Machalica**[1)]

WSTĘP

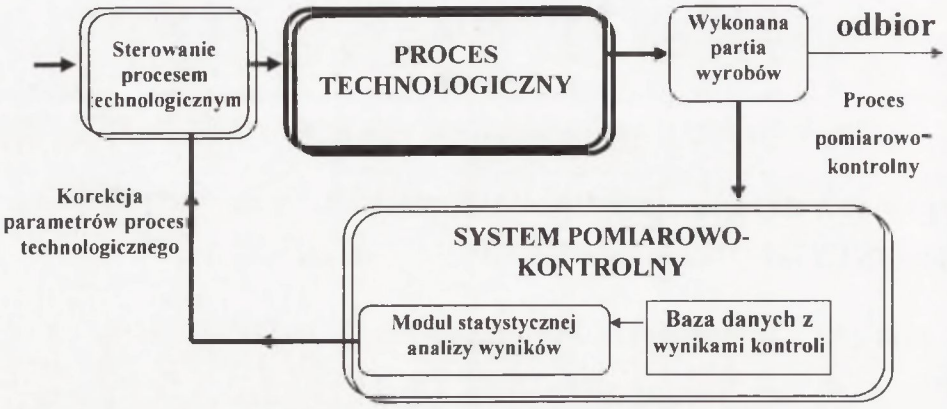
Szczególne znaczenie metrologicznych metod, narzędzi i ich ścisłe powiązanie z informatyką wynika z istoty i celu metrologii - jaką jest pozyskiwanie informacji o właściwościach wszelkich obiektów i procesów fizycznych. Informacje te, zazwyczaj po ich przetworzeniu, mogą być wykorzystywane w procesach produkcyjnych nie tylko do kontroli jakości wyrobów i procesów, lecz również do analizy i korekty źródeł ewentualnych, zaobserwowanych nieprawidłowości.

Wykorzystywane dane pomiarowe dotyczą zarówno warunków wytwarzania (określanych zmierzonymi lub ustawianymi parametrami technologicznymi procesów wytwórczych), jak i uzyskanych wartości parametrów wyrobów, półproduktów i stosowanych materiałów. Na Rys. 1 przedstawiono uproszczony, schematyczny model systemu wspomagającego analizę jakości procesów technologicznych na podstawie analizy wyników badań wyrobów końcowych.

Z uwagi na dużą pracochłonność analiz, wykorzystujących znaczne ilości danych (danych zazwyczaj rozproszonych i trudnodostępnych), zastosowanie środków informatyki oraz środków transmisji danych pozwala na zautomatyzowanie wielu czynności pomocniczych związanych z diagnozowaniem procesów. Obserwowany ciągły wzrost złożoności procesów wytwórczych i ich rozproszenie przestrzenne utrudnia zarządzanie dużymi zbiorami danych, ich przetwarzaniem i analizą. Tym niemniej, szybki rozwój wspomagających środków informatyki oraz metod i aparatury akwizycji i cyfrowego przetwarzania sygna-

*) Przemysłowy Instytut Elektroniki, ul. Długa 44/50, 00-241 Warszawa
e-mail: badzmir@pie.edu.pl

http://rcin.org.pl



Rys.1. Ogólny schemat algorytmu diagnostyki i korekcji procesu technologicznego z wykorzystaniem systemu pomiarowo-kontrolnego badającego parametry wytwarzanych wyrobów.

łów pomiarowych, stwarza nowe możliwości nie tylko w przezwyciężaniu takich trudności, ale i w zakresie opracowywania nowych metod i narzędzi zapewniających monitorowanie jakości wyrobów i procesów.

Przemysłowy Instytut Elektroniki (PIE) od wielu lat specjalizuje się w zagadnieniu automatyzacji pomiarów, w szczególności pomiarów związanych z kontrolą jakości materiałów, podzespołów i urządzeń elektroniki. Opracowywane przez PIE wspomagane komputerowo systemy pomiarowo-kontrolne stanowią nie tylko narzędzia kontroli jakości, ale mogą być również rozbudowywane dla wykorzystania w diagnostyce procesów technologicznych. Poniżej przedstawiono struktury rozproszonych systemów pomiarowych, w których zastosowanie sieci komputerowych pozwala na tworzenie zintegrowanych systemów archiwizacji i przetwarzania wyników pomiarowych oraz zintegrowanych systemów zapewniania jakości pomiarów (zgodnie z zaleceniami międzynarodowych norm ISO 9001, ISO 10012).

KIERUNKI DZIAŁALNOŚCI

Rozproszony system pomiarowo-kontrolny z wykorzystaniem komputerowej sieci lokalnej

Systemy pomiarowo-kontrolne dla celów przemysłowych, opracowywane i budowane w PIE od końca lat osiemdziesiątych są systemami wspomaganymi komputerowo, w których funkcje autonomicznego sterownika pełnią szeroko rozpowszechnione komputery personalne typu PC. W dotychczasowych przy-

http://rcin.org.pl

padkach zastosowań, związanych z realizacją funkcji zarządzania przebiegiem procesów pomiarowych wykonywanych przez bloki pomiarowe, oraz współpracujące urządzenia elektromechaniczne (np. probery, podajniki i sortery), sterowniki takie w zupełności wystarczają do zautomatyzowania czynności pomiarowo-kontrolnych. Przykładami zautomatyzowanych systemów pomiarowo-kontrolnych, opracowanych w PIE dla celów przemysłowych są: system kontroli elektronicznych aparatów telefonicznych typu TAT (wdrożony w RWT oraz Cyfral), systemy pomiarowe materiałów półprzewodnikowych (SPCV-90, SPC-90, PR-100 wdrożone w Silicon CEMAT, ITE, TESLA, eksportowane również do krajów Unii Europejskiej), system kontroli kondensatorów (wdrożenie w MIFLEX), system pomiarowy rezonatorów kwarcowych (wdrożenie w ZD ITR), system pomiarowo-diagnostyczny samochodowych przewodów hamulcowych (wdrożenie w FSO), mikrokomputerowe multimetry systemowe (wdrożone w METROL) itd.

Oferowane systemy pomiarowo-kontrolne charakteryzują się elastyczną strukturą, pozwalającą na dostosowywanie ich parametrów do indywidualnych wymagań użytkowników i nowych aplikacji. Bardzo dobre parametry metrologiczne, funkcjonalne i niezawodnościowe uzyskiwane są dzięki;

- Wyposażaniu systemów w precyzyjne i niezawodne sensory oraz bloki pomiarowe renomowanych firm światowych, z wykorzystywaniem tych bloków do współpracy z komputerami realizującymi nowoczesne metody cyfrowego przetwarzania sygnałów zapewniającymi minimalizację zakłóceń i wpływów wielkości zewnętrznych;
- Budowaniu oprogramowania aplikacyjnego zawierającego przyjazne dla użytkownika przyrządy wirtualne, posługujące się grafiką komputerową, współpracujące ze standardowymi systemami oprogramowania (WINDOWS NT, LABWINDOWS CVI, VISUALBASIC, C++, MS ACCESS, MS EXCEL, itp.);
- Wyposażaniu systemów (opcjonalnie) w niezbędne adaptery oraz precyzyjne układy mechaniki do pozycjonowania i automatycznego obsługiwania badanych obiektów w trakcie procesów pomiarowych, włącznie z ich selekcją.

W przypadkach, gdy wytwórca działa w ramach systemu jakości, i/lub wyniki pomiarów są wykorzystywane dla analizy jakości procesów, funkcje sterowników komputerowych powinny być rozbudowywane. Polega to m.in. na:

- Wbudowywaniu w systemy środków (sprzętowych i programowych) kontrolujących, analizujących i korygujących wymaganą jakość procesów po-

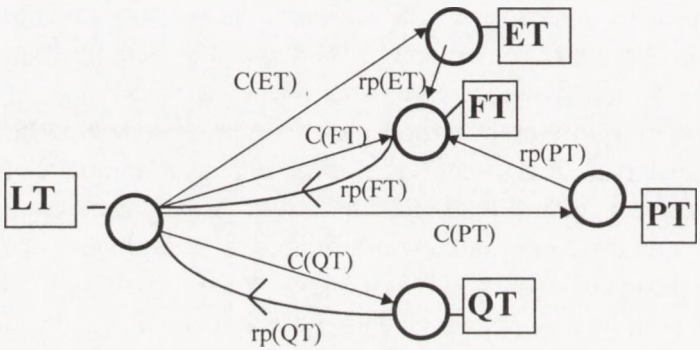
http://rcin.org.pl

miarowo-kontrolnych (zgodnie z wymaganiami norm międzynarodowych ISO 9001, ISO 10012);

- Wyposażaniu systemów w bazy danych pozwalające na archiwizację i analizę wyników pomiarowych, generację raportów i obliczeń statystycznych.

Jeżeli w ramach linii produkcyjnej wyrobów działa wiele systemów pomiarowo-kontrolnych (kontrola materiałów wejściowych, podzespołów, wyrobów finalnych) istnieje potrzeba zarządzania zasobami danych i integrowania tych zasobów. Narzędziem wspomagającym integrację danych może być lokalna sieć komputerowa i odpowiedni rozproszony system oprogramowania.

Zagadnienia związane z zarządzaniem zasobami informacji i podejmowaniem niektórych decyzji na podstawie analizy danych za pomocą sieci komputerowej może być zilustrowane przykładem systemu zapewniania jakości pomiarów w linii produkcyjnej oraz przykładowym modelem takiego systemu, zilustrowanym grafem z Rys.2.



Rys. 2. Model formalny sieci testowania w postaci grafu odwzorującego zdalną kooperację pomiędzy systemami pomiarowo-kontrolnymi należącymi do sieci testowania (ST) w zakresie zapewnienia jakości pomiarów.

Podstawowe zasady zapewniania jakości wykonywanych w procesie produkcji procesów pomiarowo-kontrolnych i diagnostycznych określają międzynarodowe i krajowe normy [1]. Oczywiście normy te powinny być również źródłem wskazań określających organizację współpracy poszczególnych węzłów komputerowej sieci testowania (ST) i zarazem strukturę sieci ST, aby ułatwić i usprawnić wdrażanie i utrzymywanie systemów jakości w celu zwiększania konkurencyjności wyrobów i usług.

http://rcin.org.pl

Analiza zaleceń ww. norm [1] doprowadziła do sformułowania następujących założeń wstępnych [2]:

a) Zarządzanie procesem weryfikacji jakości procesów pomiarowo-kontrolnych i potwierdzanie wiarygodności uzyskiwanych wyników sprawdzania niepewności pomiarów w ST powinno być zadaniem scentralizowanym i należeć do podmiotu dysponującego wzorcami mającymi bezpośrednie odniesienie do wzorców państwowych. Potrzeba centralnego nadzoru nad jakością procesów pomiarowo-kontrolnych w sieci ST wynika z konieczności przestrzegania zgodności i jednorodności w zakresie stosowanych metod diagnozowania i kalibrowania oraz w zakresie stosowanych definicji estymowanych parametrów i wykonywanych procedur. Pożądane jest również, by podmiot nadzorujący jakość badań był niezależny od podmiotów wykonujących produkcję i sprzedaż wyrobów. Odpowiednie warunki spełnia w tym przypadku niezależne Laboratorium Badań Jakości, akredytowane zgodnie z normą EN/PN 45000, dysponujące odpowiednimi wzorcami posiadającymi odniesienie do wzorców państwowych.

b) System pomiarowo-kontrolny przeznaczony do finalnej kontroli wytwarzanych produktów powinien mieć opcję dostępu do wyników pomiarowych uzyskiwanych w innych węzłach kontrolnych sieci ST. Wynika to z konieczności dysponowania informacją o cechach stosowanych w produkcji partii materiałów, półproduktów i wyrobów finalnych, w celu prowadzenia analiz przyczyn obserwowanych ewentualnych nieprawidłowości. Zazwyczaj wydziały produkcyjne, które wykonują kontrolę finalną dysponują również informacją o jakości sprawdzonych wcześniej, sprzedanych i eksploatowanych produktów, na podstawie analiz reklamacji.

Jeżeli przyjmiemy powyższe założenia jako podstawę organizacyjną kooperacji pomiędzy poszczególnymi elementami sieci testowania ST w procesie diagnozowania, wtedy modelem kooperacji może być graf przedstawiony na Rys.2. Graf ten odwzorowuje hierarchiczną strukturę zarządzania zbiorami danych przy dwu poziomach hierarchii. Wierzchołki grafu z Rys.2 są elementami zbioru V, odwzorowującego zbiór systemów pomiarowo-kontrolnych - (SPK) - należących do ST:

$$V = \{ET,PT, FT,QT,LT\}$$

Krawędzie grafu należą do dwu zbiorów I i R:

$$I = \{C(ET),C(PT),C(FT),C(QT)\}$$
$$R = \{RP(ET),RP(PT),RP(FT),RP(QT)\}$$

http://rcin.org.pl

Zgodnie z założeniami wstępnymi, wierzchołek LT ma przyporządkowany najwyższy poziom i wszystkie pozostałe wierzchołki są następnikami LT.

ET, PT, FT -wierzchołki odwzorowujące SPK, należące do linii produkcyjnej, przeznaczone do sprawdzania elementów, pakietów i produktów finalnych;

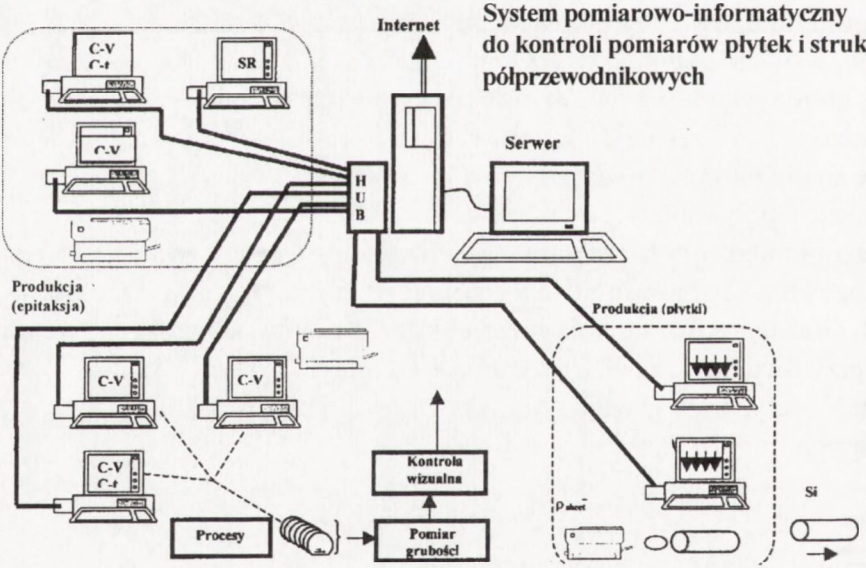
QT - wierzchołek odwzorowujący SPK przeznaczony do statystycznej kontroli jakości;

LT - wierzchołek odwzorowujący SPK przeznaczony do badań jakości wyrobów w Akredytowanym Laboratorium Badania Jakości i Wzorcowania;

C(ET), C(PT), C(FT), C(QT) - krawędzie odwzorowujące transmisję rozkazów, instrukcji, parametrów procedur itp.;

RP(CT), RP(ST), RP(FT), RP(QT) - krawędzie odwzorowujące transmisję raportów z wynikami weryfikacji SPK, wartościami niepewności pomiarów i wzorcowania.

Inne wierzchołki są połączone z LT przez krawędzie należące do I. Niższy, następny poziom hierarchii jest zdefiniowany za pomocą następników wierzchołka FT, określających priorytet FT w stosunku do wierzchołków ET and PT. W tym przypadku priorytet nadrzędności FT wynika z potrzeby posiadania przez FT informacji o wynikach badań jakości kontrolowanych elementów i pakietów.



Rys.3. Przykład pomiarowo-kontrolnej lokalnej sieci komputerowej obejmującej linię produkcyjną.

http://rcin.org.pl

Na Rys. 3 przedstawiono wariant opisywanej sieci testowania dla linii produkcji płytek i struktur półprzewodnikowych.

Inteligentny, rozproszony system weryfikacji, monitorowania i analiz jakości wyrobów dla grup małych i średnich przedsiębiorstw

W obecnym procesie globalizacji gospodarki ma miejsce coraz większe rozproszenie przestrzenne procesów związanych z całościowym istnieniem produktu, tzn. z projektowaniem, wytwarzaniem, testowaniem, dystrybucją, serwisem, jak również procesami proekologicznymi, dotyczących odnawiania i recyklingu produktów.

Rozproszenie to ma dwa aspekty:

- rozproszenie przestrzenne pomiędzy różnymi krajami;
- rozproszenie instytucjonalne i własnościowe, szczególnie dotyczące udziału małych i średnich instytucji w procesach opracowania, wytwarzania i użytkowania określonych produktów.

Efektywne zarządzanie jakością produktów i procesów oraz konkurowanie na globalnym rynku wymaga obecnie dysponowania pełną i szybko dostarczaną informacją o szeroko rozumianej jakości produktów.

Z drugiej strony rosną wymagania dotyczące spełniania przez produkty różnego rodzaju norm, jak również konieczności elastycznego reagowania na nowe wymagania klientów. Sprostanie tej sytuacji przez producentów wymaga szybkiego pozyskiwania, archiwizowania i przetwarzania przez systemy komputerowe niekiedy trudnodostępnych i zasobnych plików informacji zawierającej m.in.:

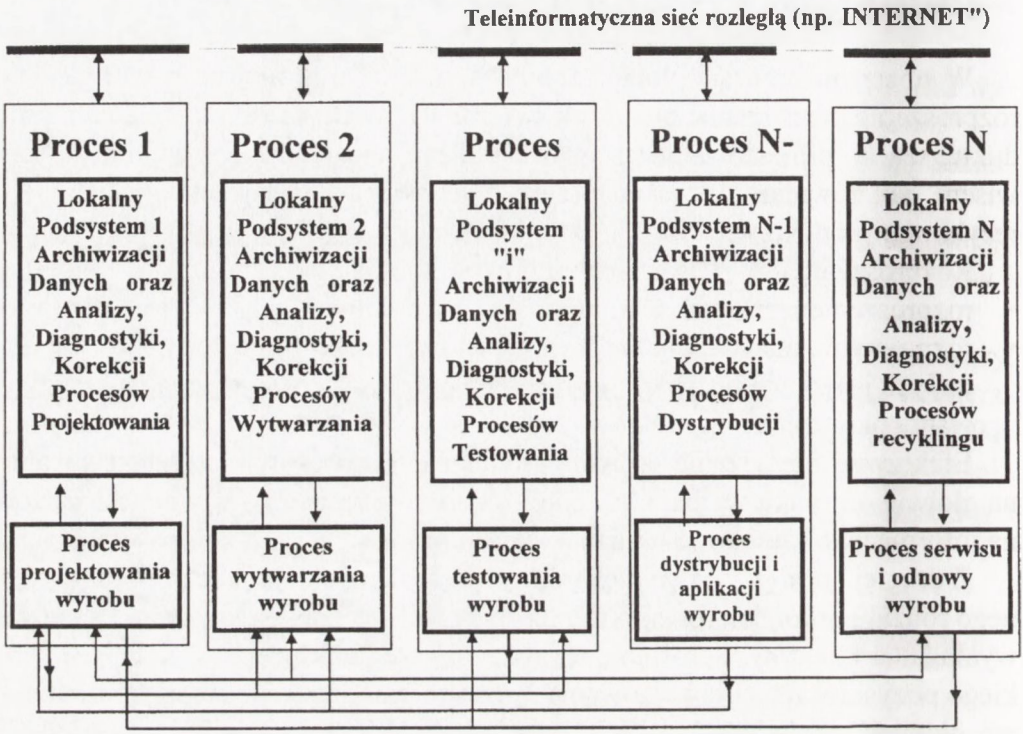
- wyniki pomiarów i testów komponentów oraz wyrobów gotowych, na różnych etapach istnienia wyrobów;
- dane dotyczące reklamacji, napraw, niezawodności wyrobów;
- wiedzę określającą związki przyczynowo-skutkowe pomiędzy właściwościami konstrukcji, technologii, dystrybucji i eksploatacji wyrobów, a obserwowaną ich jakością;
- nabywaną wiedzę dotyczącą potrzeb klientów.

Analizowanie i wykorzystywanie wyników analiz tak dużych baz danych i baz wiedzy wymaga nie tylko wysokich kwalifikacji, ale również sprzętu komputerowego i oprogramowania wysokiej jakości.

Obecnie zadaniom tym sprostać mogą tylko duże koncerny, tworzące w wyniku dużych nakładów własne, rozbudowane centra informatyczne zatrudniające sztaby wykwalifikowanych specjalistów. Rozwiązaniem opisywanego

http://rcin.org.pl

problemu w przypadku małych firm, współpracujących ze sobą w procesie produkcyjnym dla wspólnego celu jest system pomiarowo-teleinformatyczny, którego przykładową strukturę przedstawia Rys. 4.



Rys.4. Przykład struktury rozproszonego systemu pomiarowo-teleinformatycznego z wykorzystaniem sieci rozległej (np. INTERNET).

Przyjęta, zilustrowana na Rys.4 koncepcja zakłada, że utworzenie rozproszonych zasobów baz danych i baz wiedzy obsługiwanych lokalnie przez różnych uczestników procesów istnienia produktów oraz zintegrowanie ich za pośrednictwem Internetu , nie tylko zsumuje zasoby wszystkich pozyskiwanych informacji, ale będzie źródłem swoistej synergii umożliwiającej osiągnięcie nowych jakościowo możliwości, takich jak:

- zautomatyzowanie i zobiektywizowanie weryfikacji danych pomiarowych, uzyskiwanych przez różnych partnerów, ale dotyczących tych samych wielkości (np. przez porównywanie parametrów partii komponentów sprawdzanych przez dostawcę, z wynikami statystycznej kontroli dostaw u produ-

http://rcin.org.pl

centa wyrobu finalnego oraz z wynikami współpracującego autonomicznego laboratorium testującego);

- wspomagane komputerowo generowanie zaleceń dotyczących korekcji projektów, procesów technologicznych, procesów testowania na podstawie wyników analiz łącznych danych charakteryzujących właściwości wyrobów, a pochodzących z różnych źródeł;
- szybkie przekazywanie pozyskiwanej i korygowanej wiedzy związanej z procesami testowania, diagnostyki, napraw, odnowy i recyklingu.

Realizacja tych celów zostanie osiągnięta m.in. przez rozwojowe przedsięwzięcia techniczne i organizacyjne takie jak:

- tworzenie lokalnych podsystemów u poszczególnych partnerów, współpracujących ze sobą za pośrednictwem Internetu, zawierających serwery obsługujące opracowane w ramach projektu bazy danych oraz moduły sztucznej inteligencji (z systemami eksperckimi obsługującymi bazy wiedzy, sieciami neuronowymi, systemami przetwarzania i statystycznej analizy danych);
- wyposażanie lokalnych podsystemów w opracowane informatyczne mechanizmy współpracy, które umożliwią uruchamianie i wykorzystywanie modułów sztucznej inteligencji wbudowanych w podsystemy należące do innych partnerów;
- tworzenie usługowych, specjalistycznych instytucji pełniących funkcje administratora lokalnych podsystemów z bazami danych, modułami sztucznej inteligencji, zdalnie współpracującymi z różnymi systemami pomiarowo-kontrolnymi, wieloma drobnymi producentami, dystrybutorami, ośrodkami serwisowymi, wyręczając te firmy z konieczności prowadzenia własnych podsystemów tego typu;
- tworzenia usługowych małych laboratoriów (w tym również laboratoriów mobilnych) wykonujących testowanie dla różnych drobnych producentów i dystrybutorów, przekazujących wyniki testowania za pośrednictwem Internetu lub innych sieci do odpowiednich lokalnych podsystemów baz danych (swoich lub innych instytucji).

PODSUMOWANIE

Jak przedstawiono powyżej, integracja nowych środków teleinformatyki z cyfrowymi systemami pomiarowo-kontrolnymi, wyposażonymi w nowoczesne programowe i aparaturowe narzędzia pomiarowe (przyrządy wirtualne, pomiary techniką próbkowania i cyfrowego przetwarzania danych, wbudowane układy

http://rcin.org.pl

autokalibracji i autokontroli) - może znacznie usprawnić współpracę różnych zespołów pracowniczych realizujących w sposób rozproszony wspólne cele. Dotyczy to zarówno zespołów działających w ramach jednej firmy - w różnych węzłach procesu wytwarzania, dystrybucji, reklamacji wyrobów, jak i różnych firm i jednostek organizacyjnych, powiązanych kooperacyjnie.

Tym niemniej, efektywne zastosowanie przedstawionych rozproszonych systemów pomiarowo-kontrolnych wymaga podjęcia interdyscyplinarnych prac badawczo-rozwojowych, zmierzających do opracowania diagnostycznych algorytmów i baz wiedzy, pozwalających na wykorzystywanie przetworzonych wyników pomiarów do korekty rozproszonych procesów technologicznych.

BIBLIOGRAFIA

[1] PN/EN 29001 ISO 9001/ Systemy jakości - Model zapewnienia jakości w projektowaniu, konstruowaniu, produkcji, instalowaniu i serwisie. PKNMiJ, marzec 1993

[2] Badźmirowski K. , Kern J.: Metoda weryfikacji rozproszonego pomiarowego systemu kontroli jakości wytwarzanych wyrobów elektronicznych z zastosowaniem sieci komputerowej. Materiały Konferencyjne Szkoły - Konferencja Metrologia Wspomagana Komputerowo, MWK-95, Zegrze, maj 1995

http://rcin.org.pl

PRZYGOTOWANIA WROCŁAWSKIEGO ODDZIAŁU INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI DO UCZESTNICTWA W 5. PROGRAMIE RAMOWYM UNII EUROPEJSKIEJ

Grzegorz **Paściak**[*)]

WSTĘP

Wrocławski Oddział Instytutu Elektrotechniki (IEL/OW) jest jedynym w Polsce ośrodkiem naukowo-badawczym zajmującym się kompleksowo technologią i materiałoznawstwem elektrotechnicznym. Przedmiotem działania IEL/OW są prace naukowe, naukowo-badawcze i usługowe w dziedzinach związanych z wytwarzaniem, przesyłaniem i wykorzystywaniem energii elektrycznej. Zakresem działania objęte są wszystkie materiały elektrotechniczne, w tym: tworzywa elektroizolacyjne, lakiery i syciwa elektroizolacyjne, materiały typu kompozytów konstrukcyjno - izolacyjnych, materiały ceramiczne, materiały stykowe, magnetyczne, półprzewodniki polikrystaliczne, systemy izolacyjne, technologie formowania kształtek i elementów konstrukcyjno - izolacyjnych, technologie izolowania obwodów czynnych urządzeń energoelektrycznych.

KIERUNKI DZIAŁALNOŚCI

Aktualnie działalność gospodarcza IEL/OW obejmuje produkcję: rur szkło-epoksydowych prostych i profilowych, elektroizolacyjnych i ciśnieniowych; izolatorów kompozytowych zgodnych z wymaganiami IEC1109 (24 i 110 kV); magnesów ferrytowych; steatytowych elementów ceramicznych oraz elemen-

*) Instytut Elektrotechniki Oddział Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 55/61, 50-369 Wrocław, e-mail: pasciak@iel.wroc.pl

http://rcin.org.pl

tów ceramicznych z masy Al-70; nietypowych grzejników ceramicznych patronowych o wymiarach i mocach stosownie do życzeń odbiorcy; kompozycji żywicznych; kompozytowych zbiorników wysokociśnieniowych; koszulek elektroizolacyjnych; warystorów tlenkowych; czujników piezoelektrycznych, nośników ceramicznych do bioreaktorów, polimerowych przewodów grzejnych.

Wysoko kwalifikowana kadra pracowników, 50-letnie doświadczenie, specjalistyczna aparatura pomiarowo-badawcza, nowoczesny park maszynowy, a także fakt iż IEL/OW posiada 1. kategorię w rankingu KBN, uzasadniają aspiracje IEL/OW do uczestnictwa w 5. Programie Ramowym (5.PR).

W styczniu 1999 roku Dyrektor IEL/OW prof. B. Mazurek podjął decyzję o zintensyfikowaniu działań zmierzających do zaistnienia Instytutu w 5.PR, uznając udział w programie Unii Europejskiej za priorytet i dużą szansę na uzyskanie znaczących funduszy na finansowanie prac naukowo-badawczych naszej jednostki. Zdając sobie sprawę z faktu, iż IEL/OW jest małym ośrodkiem (około 100 pracowników) i nie ma doświadczenia w kierowaniu międzynarodowym projektem badawczym, postanowiono znaleźć silne ośrodki naukowe mogące pełnić rolę koordynatora projektu (konsorcjum). W tym celu podjęto następujące działania:

- ofertę badawczą IEL/OW zamieszczono w bazie danych CORDIS oraz na stronie www Instytutu,
- przeszukano oferty innych ośrodków naukowych zamieszczone w bazach danych CORDIS i FEMIRC,
- rozesłano listy intencyjne do wszystkich stałych (krajowych i zagranicznych) kooperantów IEL/OW oraz instytucji wytypowanych w wyniku przeszukiwania internetowych baz danych,
- pracownicy IEL/OW uczestniczyli w szkoleniach dotyczących 5.PR, organizowanych przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN oraz Wrocławskie Centrum Transferu Technologii.

Następstwem tych działań było znalezienie czterech potencjalnych koordynatorów (Laboratoire de Genie Electrique - Francja, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych - Polska, Politechnika Wrocławska - Polska, Tierarztliche Hochschule Hannover - Niemcy) i przesłanie dwu wniosków do UE ("Improvement of the power quality and supply reliability using modern information technology", "Egs as and nutraceuticals healthy food in human nutrition"). Daleko zaawansowane były również prace nad stworzeniem projektu typu CRAFT zatytułowanego "Rare earth doped zinc oxide varistor for medium voltage arresters", jednak z przyczyn niezależnych od IEL/OW projekt ten nie

http://rcin.org.pl

został ostatecznie złożony. Trwają natomiast prace nad projektem dotyczącym materiałów funkcjonalnych, którego koordynatorem jest ITME.

Równolegle do działań zmierzających do znalezienia koordynatorów projektów prowadzona była przez IEL/OW akcja, której celem było pozyskanie funduszy na pokrycie kosztów związanych z poszukiwaniem partnerów i zawiązywaniem konsorcjów w 5.PR. W ramach tej akcji złożono:

- 4 wnioski na tzw. "granty na granty": "Polimerowe czujniki piezoelektryczne do monitorowania transportu samochodowego", "Sterylizacja cieczy spożywczych przy pomocy silnego impulsowego pola elektrycznego", "Bioceramika do zastosowań w medycynie i biotechnologii", "Niezawodnie działające warystory tlenkowe (ZnO) do zastosowania w ochronie przepięciowej budynków mieszkalnych" (Program Phare SCI-TECH II);
- wraz z ITME projekt pt. "Zaawansowane materiały funkcjonalne - projekt sieci innowacyjnej FAMA" (Program Phare SCI-TECH II);
- wniosek na utworzenie Centrum Doskonałości pt. "Nowe materiały oraz ekologiczne i energooszczędne technologie dla energetyki" (Program Phare SCI-TECH II).

Obecnie nadal poszukujemy partnerów (koordynatorów) do realizacji następujących zagadnień badawczych objętych projektem "Nowe materiały oraz ekologiczne i energooszczędne technologie dla energetyki" (IV Program Tematyczny - Energia):

- Przewodniki superjonowe do zastosowań w ogniwach paliwowych - ekologicznych źródłach energii;
  Szybki rozwój urządzeń elektrochemicznych z elektrolitami stałymi (ogniwa akumulacyjne, ogniwa paliwowe, kondensatory elektrolityczne, membrany jonoselektywne, elektrolizery pary wodnej, mierniki stężenia gazów) stał się możliwy dzięki opracowaniu związków będących ciałami stałymi i posiadających przewodność jonową zbliżoną do elektrolitów ciekłych (~1 S/cm). Związki te to tzw. przewodniki superjonowe (NASICON, β-alumina, AgI, ZrO_2, BICUVOX), a ich duża przewodność jonowa uwarunkowana jest przede wszystkim specyficzną strukturą.
  Przeprowadzane w ramach projektu prace badawcze będą zmierzały do poprawy parametrów elektrycznych znanych materiałów oraz opracowywania nowych przewodników superjonowych takich jak PEM (proton exchange membranes). Materiały te znajdą zastosowanie w przyjaznych środowisku ogniwach paliwowych (fuel cells). Jako paliwo wykorzystywane są w tych ogniwach gazy naturalne (biogazy) co powoduje, że generacji energii nie

http://rcin.org.pl

towarzyszy wydzielanie toksycznych gazów CO, NO_x, SO_x oraz odpowiedzialnego za efekt cieplarniany -CO_2.

- Nanokompozyty;
  Tworzywa kompozytowe z matrycą organiczną i fazą rozproszoną na poziomie <100 nm stanowią najnowszą generację organicznych materiałów kompozytowych. Z dostępnych, jednak nielicznych informacji literaturowych z lat 90. wynika, że poprzez wprowadzenie do polimerów wypełniaczy o nanometrycznych wielkościach ziarna można uzyskać tworzywa o podwyższonych parametrach eksploatacyjnych w porównaniu ze znanymi tworzywami.
- Masa elektroizolacyjna o zwiększonej przewodności cieplnej;
  Masa służy do zalewania średnich i dużych obiektów elektroenergetycznych z zapraskami metalowymi bądź uzwojeniami elektrycznymi. Duża przewodność cieplna kompozycji umożliwia zwiększenie mocy urządzenia przy zachowaniu jego temperatury pracy. Dobre właściwości dielektryczne pozwalają na stosowanie kompozycji zarówno w urządzeniach pracujących przy niskich, jak i średnich napięciach.
- Izolatory z betonów polimerowych;
  Nowej generacji izolatory będą wykonane z taniego i energooszczędnego materiału - betonu polimerowego i stosowane jako zamienniki izolatorów ze szkła i porcelany.
- Ograniczniki przepięć oraz masy ceramiczne do zastosowania w warystorach niskonapięciowych;
- Nadprzewodniki wysokotemperaturowe;
- Izolatory reaktancyjne;
- Izolatory kompozytowe.
  Od kilkunastu lat stosowane są w technice przesyłowej wysokich napięć izolatory kompozytowe. Charakteryzują się one w porównaniu do izolatorów konwencjonalnych (porcelanowych) wyższą odpornością na czynniki atmosferyczne oraz mniejszym ciężarem. Postęp w dziedzinie izolatorów kompozytowych polega na stosowaniu coraz to doskonalszych materiałów oraz konstrukcji wykorzystujących specyficzne właściwości wybranych tworzyw sztucznych.
  We Wrocławskim Oddziale Instytutu Elektrotechniki opracowano własną technologię produkcji izolatorów kompozytowych z rdzeniem nośnym szkło - epoksydowym (S-E), na napięcia średnie i 110 kV. W ramach projektu prze-

http://rcin.org.pl

widuje się opracowanie technologii produkcji izolatorów kompozytowych na napięcia wyższe - do 220 kV.

Trwają również poszukiwania partnerów do realizacji tematów: "Polimerowe czujniki piezoelektryczne do monitorowania transportu samochodowego" (III Program Tematyczny - GROWTH) oraz "Nowej generacji nośniki ceramiczne do zastosowania w bioreaktorach" (I Program Tematyczny - LIFE).

- **Przewody piezopolimerowe (PVDF);**

  We Wrocławskim Oddziale Instytutu Elektrotechniki (IEL/OW) opanowano technologię wykonania prototypowych, piezopolimerowych przewodów. Polifluorek winylidenu (PVDF) jest tworzywem, które w porównaniu z innymi polimerami wykazuje najlepsze właściwości piezo- i piroelektryczne. Cechują go ponadto bardzo dobre właściwości mechaniczne i chemiczne, niska impedancja akustyczna i szerokie pasmo przenoszenia sygnałów. Zaletą tego tworzywa jest również elastyczność i możliwość formowania skomplikowanych kształtów, dlatego jest on coraz powszechniej stosowany do budowy różnego rodzaju sensorów. Można tu wymienić czujniki do rejestracji drgań mechanicznych, emisji akustycznej oraz naprężeń mechanicznych. Znajdują one coraz szersze zastosowanie w technice wojskowej i medycynie. Omawiane czujniki wykonywane są z materiału wyjściowego w postaci folii, co ogranicza konstrukcję i zakres ich zastosowań. Alternatywnym rozwiązaniem mogą być czujniki oparte o materiał piezoelektryczny w formie przewodów. Sposób takiego ukształtowania piezopolimeru stwarza nowe możliwości wykorzystania szczególnie tam, gdzie konieczna jest detekcja sygnałów z dużych powierzchni, np. w systemach alarmowych oraz czujnikach natężenia ruchu na drogach. Zagadnienie związane z formowaniem piezoelektrycznych przewodów będzie między innymi przedmiotem części projektu realizowanej przez IEL/OW.

  Dodatkową zaletą opracowanych w IEL/OW czujników z PVDF będzie możliwość określenia za ich pomocą nie tylko natężenia ruchu panującego na drogach, lecz także prędkości oraz ciężaru poruszających się pojazdów. Dane o prędkości i ciężarze pojazdów mogą być bardzo przydatne dla policji (przy egzekwowaniu przepisów ruchu drogowego) oraz dla drogowych służb remontowych.

- **Nośniki ceramiczne do bioreaktorów,**

  Nośniki ceramiczne służą do immobilizacji drobnoustrojów, co zdecydowanie zwiększa szybkość procesów fermentacyjnych zachodzących w bioreaktorach. W IEL/OW opracowano nośnik ceramiczny, o dużej efektywności unierucha-

http://rcin.org.pl

miania komórek drożdży. Wysoką efektywność immobilizacji osiągnięto dzięki modyfikacji powierzchni nośnika metodą silanowania.

PODSUMOWANIE

Podsumowując przygotowania IEL/OW do uczestnictwa w 5.PR można stwierdzić, że:

- udział w 5.PR jest dużym, lecz z pewnością opłacalnym wyzwaniem dla polskich jednostek badawczych,
- silne, zagraniczne ośrodki naukowe niezbyt chętnie dobierają sobie partnerów z Polski pomimo, że udział partnerów z krajów byłej Europy Wschodniej ma być dodatkowo premiowany przy ocenie wniosków,
- obecnie znaczne korzyści z faktu przystąpienia Polski do 5.PR czerpią firmy konsultingowe, organizujące szkolenia, poszukujące partnerów i pomagające w wypełnianiu wniosków.

http://rcin.org.pl

TECHNOLOGIE NISKOTEMPERATUROWYCH WARSTW GRUBYCH DLA NOWYCH GENERACJI PRODUKTÓW

mgr inż. Michał **Cież**

WSTĘP

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Mikroelektroniki Hybrydowej i Rezystorów w Krakowie utworzony w 1973 r. zatrudnia obecnie 70 pracowników, w tym 46 z wyższym wykształceniem technicznym - elektroników, chemików, ceramików, mechaników. Dysponuje własnym, 6. kondygnacyjnym budynkiem, w którym zlokalizowane są zakłady badawcze, laboratorium badań elektrycznych i klimatycznych oraz doświadczalne linie technologiczne wysokotemperaturowych warstw grubych cermetowych, niskotemperaturowych warstw polimerowych, tworzyw ceramicznych.

KIERUNKI DZIAŁALNOŚCI

Niskotemperaturowe warstwy polimerowe

Standardowa technologia polega na wytwarzaniu struktur warstwowych zawierających warstwy przewodzące (w tym kontaktowe) i warstwy rezystywne. Warstwy otrzymuje się przez nakładanie metodą sitodruku na izolacyjne podłoża past przewodzących, rezystywnych oraz izolacyjnych. Pasty przewodzące są mieszaniną polimerowych lakierów elektroizolacyjnych, proszków srebra i grafitu, dobieranych w odpowiednich proporcjach dla zapewnienia pożądanej ni-

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Mikroelektroniki Hybrydowej i Rezystorów, ul. Zabłocie 39 30-701 Kraków, e-mail: zrciez@cyf.kr.edu.pl

http://rcin.org.pl

skiej rezystancji. Pasty rezystywne są kompozycją proszków sadzy, grafitu i lakierów elektroizolacyjnych o zróżnicowanych udziałach poszczególnych składników. Utwardzanie warstw odbywa się w piecach z transporterem taśmowym pod wpływem promieniowania podczerwonego w przedziale temperatur 130 do 180^{0}C w czasie 5 do 10 minut. Technologia ta była i jest wykorzystana do wytwarzania warstwowych rezystorów zmiennych (potencjometrów) oraz klawiatur foliowych.

W ostatnich latach szereg prac badawczych poświęcono problematyce modyfikacji składu past w celu uzyskania warstw charakteryzujących się nowymi własnościami. Otwiera to szerokie perspektywy zastosowania warstw polimerowych. Badania prowadzone w Ośrodku koncentrowały się na następujących zagadnieniach:

- kształtowanie charakterystyk temperaturowych warstw rezystywnych, tak aby powyżej pewnych progowych temperatur zmiany rezystancji warstwy w funkcji temperatury miały charakter eksponencjalny,
- modyfikowanie składu materiałowego warstw i czynników technologicznych w celu sterowania procesem kształtowania TWR warstw polimerowo-węglowych,
- wpływ zawartości sadzy lub grafitu w kompozycji rezystywnej na wielkość zmian rezystancji kontaktowej pod wpływem nacisku na warstwę,
- badanie wpływu zróżnicowanych kompozycji dielektrycznych na intensywność strumienia świetlnego z grubych warstw elektroluminescencyjnych.

Warstwy rezystywne charakteryzujące się skokową zmianą rezystancji po przekroczeniu określonych temperatur progowych są szczególnie atrakcyjne dla wytwarzania bezpieczników odwracalnych (wielokrotnego zadziałania). Bezpieczniki takie charakteryzują się niskimi rezystancjami poniżej temperatury progowej (0,05 $\Omega \div 1\ \Omega$) i szybkim wzrostem rezystancji, nawet 10-cio krotnym po przekroczeniu temperatury progowej. Istotną cechą jest powrót rezystancji do niskich wartości, gdy zniknie przyczyna powodująca wzrost temperatury warstwy.

Kompozycje rezystywne do wytworzenia tych warstw oparto na następujących polimerach: - polietylen wysokociśnieniowy, polietylen niskociśnieniowy, wosk polietylenowy, polipropylen. Utwardzone warstwy zawierające w/w polimery oraz sadze poddano działaniu silnego promieniowania (15 Mrad) neutronowego. Promieniowanie to oddziałując na strukturę polimerów, korzystnie modyfikuje właściwości warstwy rezystywnej, powodując wyższy wzrost rezystancji po przekroczeniu temperatury progowej 80^{0}C . Zjawisko to bardzo

http://rcin.org.pl

wyraźnie występuje w warstwach bazujących na polietylenie wysoko i niskociśnieniowym.

Wytwarzanie tanich elementów grzejnych na elastycznych podłożach izolacyjnych, znajdujących coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach było czynnikiem stymulującym badania. Pracowano nad możliwością modyfikacji TWR warstw rezystywnych, tak aby w pobliżu temperatury $+80^0$C osiągał możliwie wysoką wartość dodatnią, np. +20 000 ppm/K. Jedną z możliwości uzyskiwania wysokich wartości TRW jest modyfikacja nośnika polietylenowego w paście rezystywnej alkoholem poliwinylowym. Warstwy uzyskane w oparciu o taką kompozycję charakteryzują się następującymi parametrami:

- maksymalna temperatura pracy + 100^0C
- maksymalna moc wydzielana 0,15W/cm^2
- napięcie zasilania 12V, 24V (standardowo)
- TWR min + 4000 ppm/K

W budowie czujników nacisku badania koncentrują się na poszukiwaniach takich rozwiązań materiałowych, które zapewniałyby wysoką czułość i zdolność rozdzielczą. Prowadzone w Ośrodku badania polimerowych warstw piezorezystywnych wykazały, że rodzaj zastosowanego wypełniacza (sadza lub grafit) oraz jego objętościowy udział w paście mają istotny wpływ na jej własności piezoelektryczne. Dokonano optymalizacji składu kompozycji. Najkorzystniejszymi parametrami charakteryzuje się warstwa na bazie lakierów fenolowo-formaldehydowych z wypełniaczem sadzowym stanowiącym objętościowo 30 ÷ 60 % zawartości sadzy, rezystancja nieobciążonego czujnika nacisku może zawierać się w przedziale od 10 Ω do 1000 Ω.

Na uwagę zasługuje fakt, że nachylenie charakterystyki R = f(p), gdzie p oznacza nacisk, nie zależy od zawartości wypełniacza w kompozycji pasty.

W ostatnich latach istotnie wzrosło zainteresowanie alternatywnymi źródłami światła. Duże możliwości otwierają się przed grubowarstwowymi strukturami elektroluminescencyjnymi.

Elektroluminescencja jest zjawiskiem zachodzącym w ciele stałym, w którym kryształy półprzewodników dokonują konwersji energii elektrycznej na energię świetlną. Emisja światła z materiałów elektroluminescencyjnych ma miejsce wówczas, gdy nastąpi ich pobudzenie polem elektrycznym. W tym przypadku, w przeciwieństwie do diod elektroluminescencyjnych , wykorzystywana jest elektroluminescencja zachodząca w polu elektrycznym o wysokim natężeniu, rzędu 10^6V/cm.

http://rcin.org.pl

Materiałem emitującym światło jest w tym przypadku proszek siarczku cynku domieszkowany manganem lub miedzią, tworzący zawiesinę w elektroizolacyjnym materiale np. lakierach fluoropolimerowych.

Podstawowa struktura świecąca ma postać kondensatora, którego elektrody i warstwy dielektryczne, w tym warstwa zawierająca materiał elektroluminescencyjny oraz warstwa zabezpieczająca są wytworzone technologią sitodruku. Przez kolejne drukowanie i utwardzanie przewodzących oraz dielektrycznych warstw na sztywnych lub elastycznych podłożach można uzyskiwać źródło światła o dowolnych kształtach i kolorze świecenia.

Prace badawcze prowadzone aktualnie w Ośrodku koncentrują się nad doborem materiałów dielektrycznych, zapewniających wzrost luminancji oraz materiałów izolacyjnych skuteczniej zabezpieczających warstwę elektroluminescencyjną przed oddziaływaniem czynników zewnętrznych, głównie wilgoci, zwiększających trwałość struktur elektroluminescencyjnych.

PODSUMOWANIE

Spodziewamy się, że udział w konsorcjum ubiegającym się o grant w ramach 5.PR jest możliwy z uwagi na przedstawione tu przykłady prac badawczych i aplikacyjnych realizowanych w Ośrodku, w zasadzie w jednym kierunku technologicznym - technologii niskotemperaturowych polimerowych warstw grubych. Przyświecał prezentacji tej podwójny cel: ukazanie bogactwa problematyki badawczej w dziedzinie warstw polimerowych, modyfikowanych materiałami przewodzącymi i półprzewodzącymi oraz efektywności tych prac przejawiającej się w uruchomieniach produkcji nowych generacji wyrobów.

BIBLIOGRAFIA

[1] Łukasik A., Witek K.: Temperature distribution on the surface of polymer foil heaters. Proceedings of the 22 IMAPS Conference, pp 243-246. Zakopane 1998

[2] Łukasik A., Zaraska W., Cież M., Kulawik J.: Polymer electrodes for flexible electroluminescent lamps. Proceedings of the 22 IMAPS Conference, pp 239 - 242. Zakopane 1998

[3] Nowak S., Łukasik M.: Podstawy kształtowania TWR warstw polimerowo-węglowych poprzez dobór składu materiałowego i czynników technologicznych, VI Konferencja Naukowa ELTE 97, Krynica 1997

http://rcin.org.pl

INDEKS INSTYTUCJI REPREZENTOWANCH NA KONFERENCJI

CeMat'70 Centrum Naukowo-Produkcyjne
Materiałów Elektronicznych
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

Cemat SILICON
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa
abukowski@cemat.com.pl

European Comission, DG XII
200 Rue de la Loi,
B-1049 Brussels, Belgium
lesniak@cec.eu.int.

Instytut Elektrotechniki Oddział Technologii
i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego,
ul. Marii Skłodowskiej-Curie 55/61, 50-369 Wrocław
e-mail: pasciak@iel.wroc.pl

Instytut Optyki Stosowanej
ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa
e-mail: josto@fotos.warman.com.pl

Instytut Szkła i Ceramiki,
02-676 Warszawa, ul. Postępu 9

Instytut Technologii Elektronowej
02-668 Warszawa, Al. Lotników 32/46
e-mail - jmarcz@ite.waw.pl

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa
e-mail: jelens_a@sp.itme.edu.pl

Instytut Tele- i Radiotechniczny, Zakład Piezoelektroniki
ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa
e-mail: kweiss@itr.org.pl

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Mikroelektroniki Hybrydowej i Rezystorów
ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków
e-mail: zrciez@cyf.kr.edu.pl

http://rcin.org.pl

Politechnika Wrocławska, Instytut Techniki Mikrosystemów
ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław
e-mail: zbigznam@ite.ite.wroc.pl

Przemysłowy Instytut Elektroniki
ul. Długa 44/50, 00-241 Warszawa,
e-mail: badzmir@pie.edu.pl

Przemysłowy Instytut Telekomunikacji
ul Poligonowa 30, 04-051 Warszawa
e-mail: glogier@pit.edu.pl

Schlumberger Limited-European Affairs
Schlumberger Industries, Montrouge Technology Center
e-mail: suski@montrouge.rms.slb.com

Politechnika Warszawska
Instytut Metrologii i Systemów Pomiarowych
ul. Chodkiewicza 8, 02-525 Warszawa
e-mail: wzab@mp.pw.edu.pl

Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Materiałowej
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa
e-mail: ao@inmat.pw.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna
Instytut Fizyki Technicznej
ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

http://rcin.org.pl

SEMINARIA/KONFERENCJE ZORGANIZOWANE POD PATRONATEM KBN

I - **Seminarium - 16 grudnia 1994 r.**
Inżynieria Materiałowa - Materiały Elektroniczne
Prace ITME 1994 zeszyt 42

II - **Seminarium - 16 grudnia 1997 r.**
Inżynieria Materiałów Elektronicznych
Prace ITME 1997 zeszyt 47

I - **Konferencja - 8 - 10 grudnia 1999 r.**
Nowe Materaiły, Technologie, Mikrosystemy,
a 5. Ramowy Program Badań, Rozwoju
Technicznego i Prezentacji
Unii Europejskiej (1998 - 2000)
Prace ITME 2000 zeszyt 55

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl