

MATERIAŁY

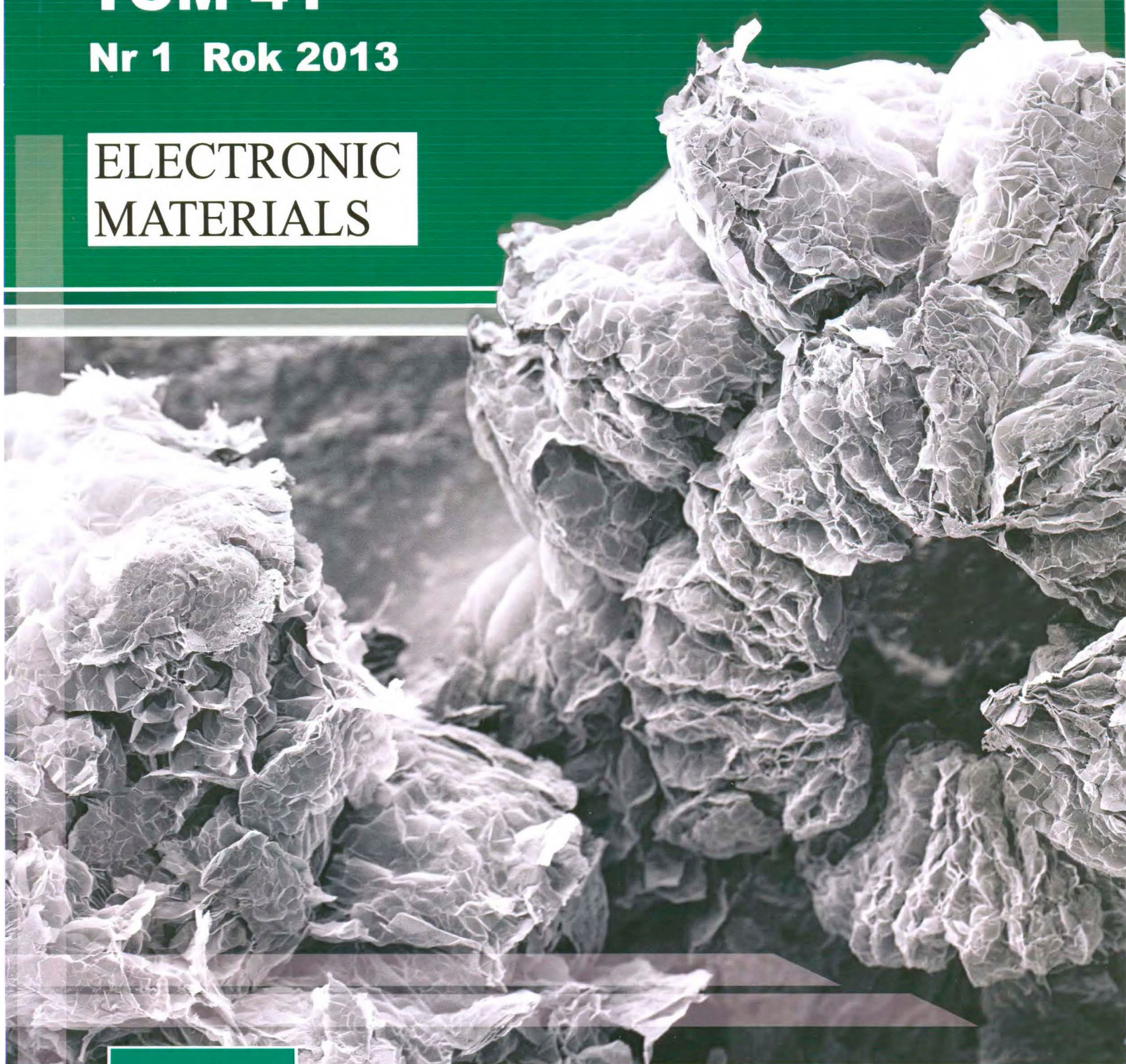
PL ISSN 0209-0058

ELEKTRONICZNE

TOM 41

Nr 1 Rok 2013

**ELECTRONIC
MATERIALS**



INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH
INSTITUTE OF ELECTRONIC MATERIALS TECHNOLOGY



**INSTYTUT TECHNOLOGII
MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH**
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

sekretarz naukowy
tel. (48 22) 835 44 16
fax: (48 22) 834 90 03
e-mail: andrzej.jelenski@itme.edu.pl

Ośrodek Informacji Naukowej
i Technicznej (OINTE)
tel.: (48 22) 835 30 41-9 w. 129, 498
e-mail: ointe@itme.edu.pl
<http://itme.edu.pl/external-lib/index.html>

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych wydaje dwa czasopisma naukowe, których tematyka dotyczy inżynierii materiałowej, elektroniki i fizyki ciała stałego, a w szczególności technologii otrzymywania nowoczesnych materiałów, ich obróbki, miernictwa oraz wykorzystania dla potrzeb elektroniki i innych dziedzin gospodarki:

- **Materiały Elektroniczne** – zawierające artykuły problemowe, teksty wystąpień pracowników ITME na konferencjach i Biuletyn PTWK,
 - **Prace ITME** – zawierające monografie, rozprawy doktorskie i habilitacyjne
- oraz
- stale aktualizowane **katalogi i karty katalogowe technologii, materiałów, wyrobów i usług** oferowanych przez Instytut i opartych o wyniki prowadzonych prac badawczych, opisy nowych wyrobów, metod i aparatury

Informacje można uzyskać:
tel. (48 22) 834 97 30; fax: (48 22) 834 90 03
e-mail: itme@itme.edu.pl

INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH

**MATERIAŁY
ELEKTRONICZNE
ELECTRONIC MATERIALS
KWARTALNIK**

T. 41 - 2013 nr 1

Wydanie publikacji dofinansowane jest przez
Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

WARSZAWA ITME 2013

<http://rcin.org.pl>

KOLEGIUM REDAKCYJNE:

Redaktor Naczelny:

prof. dr hab. inż. Andrzej JELEŃSKI

Redaktorzy Tematyczni:

prof. dr hab. inż. Zdzisław JANKIEWICZ

dr hab. inż. Paweł KAMIŃSKI

dr Zdzisław LIBRANT

dr Zygmunt ŁUCZYŃSKI

prof. dr hab. inż. Tadeusz ŁUKASIEWICZ

prof. dr hab. inż. Wiesław MARCINIAK

prof. dr hab. Anna PAJAŃCZKOWSKA

prof. dr hab. inż. Władysław K. WŁOSIŃSKI

Sekretarz Redakcji:

mgr Anna WAGA

Redaktorzy Językowi:

mgr Anna KOSZEŁOWICZ

mgr Krystyna SOSNOWSKA

Skład komputerowy:

mgr Szymon PLASOTA

Adres Redakcji: INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, e-mail: ointe@itme.edu.pl; <http://www.itme.edu.pl>

tel. (22) 835 44 16 lub 835 30 41 w. 454 - redaktor naczelny
(22) 835 30 41 w. 426 - z-ca redaktora naczelnego
(22) 835 30 41 w. 129 - sekretarz redakcji

PL ISSN 0209 - 0058

Kwartalnik notowany na liście czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (4 pkt.)

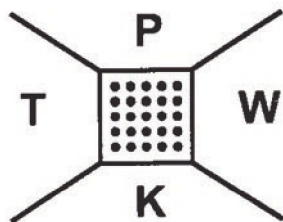
Wersja papierowa jest wersją pierwotną.

Na okładce.: Grafit ekspandowany w piecu mikrofalowym.

SPIS TREŚCI

| | |
|--|----|
| IDENTYFIKACJA CENTRÓW DEFEKTOWYCH W WARSTWACH EPITAKSJALNYCH 4H-SiC Michał Kozubal | 3 |
| BADANIE WŁAŚCIWOŚCI SZKLIW POD KĄTEM ZASTOSOWAŃ W GRUBOWARSTWOWYCH MIKROREZYSTORACH FOTOFORMOWALNYCH Konrad Kielbasiński, Elżbieta Zwierkowska, Selim Achmatowicz, Anna Młodziak, Małgorzata Jakubowska | 10 |
| WPŁYW PROFILU INTERFEJSÓW I ZABURZEŃ GRUBOŚCI WARSTW W ZWIERCIADŁACH BRAGGA NA ICH WŁASNOŚCI OPTYCZNE Jarosław Gaca, Krystyna Mazur, Andrzej Turos, Marek Wesolowski, Marek Wójcik, Agata Jasik, Jan Muszalski, Kamil Pierściński | 17 |
| ROZPUSZCZALNOŚĆ GRANATU ITROWO - GLINOWEGO W TOPNIKU PbO/B ₂ O ₃ Jerzy Samecki | 33 |
| SPEKTROSKOPIA RAMANOWSKA GRAFENU Kacper Grodecki | 47 |
| BIULETYN POLSKIEGO TOWARZYSTWA WZROSTU KRYSZTAŁÓW 2013 r. | 54 |
| STRESZCZENIA WYBRANYCH ARTYKUŁÓW PRACOWNIKÓW ITME | 56 |

nakład 200 egz.



BIULETYN
POLSKIEGO TOWARZYSTWA WZROSTU
KRYSTAŁÓW (PTWK)
POLISH SOCIETY FOR CRYSTAL GROWTH
2013

Zarząd Główny PTWK
 Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
 ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa
 Tel: +48 22 8349949; Fax: +48 22 8645496
 NIP: 1181485963
 REGON: 350023547
 Internet: www.ptwk.org.pl

Prezes: prof. dr hab. Ewa Talik
 Uniwersytet Śląski
 e-mail: Ewa.Talik@us.edu.pl

Sekretarz: dr Katarzyna Racka
 Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
 e-mail: Katarzyna.Racka@itme.edu.pl

Konto PTWK: Bank Millennium S.A.
 23 11602202 0000 0000 1235 1497

Wystawa w Sejmie RP poświęcona prof. Czochraleskiemu

W odpowiedzi na pismo skierowane przez Polskie Towarzystwo Wzrostu Kryształów (PTWK) do Pani Marszałek Sejmu RP – Ewy Kopacz, dotyczące zorganizowania w Sejmie RP wystawy poświęconej życiu i dziełu prof. Jana Czochraleskiego, na ręce Prezes PTWK – prof. dr hab. Ewy Talik oraz współzałożycielki PTWK – prof. dr hab. Anny Pajęczkowskiej, wpłynęło pismo z dn. 21 grudnia 2012 r., w którym Marszałek Sejmu RP wyraziła zgodę na zaprezentowanie w gmachu Sejmu w/w wystawy.

Wystawa poświęcona prof. Czochraleskiemu odbyła się w holu głównym gmachu Sejmu, w dniach 6-8 lutego 2013 r. Była ona jednym z wydarzeń w ramach obchodów Roku Jana Czochraleskiego, który ustanowiony został uchwałą Sejmu RP z dn. 7 grudnia 2012 r. Organizatorami wystawy byli: Polskie Towarzystwo Wzrostu Kryształów (PTWK), Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych (ITME), Politechnika Warszawska (PW) oraz Urząd Miejski w Kcyni. Na wystawie zaprezentowano plansze przygotowane przez Urząd Miejski w Kcyni oraz przez ITME. Głównymi eksponatami wystawy były gabloty – z kryształami otrzymanymi „metodą Czochraleskiego” w ITME oraz materiałami dotyczącymi prof. Czochraleskiego, przygotowanymi przez PW. Uroczystość otwarcia wystawy poprowadziła prof. dr hab. Anna Pajęczkowska z ITME – jedna z najbardziej zaangażowanych osób w sprawę popularyzacji osoby i osiągnięć prof. Czochraleskiego, jak również w sprawę ustanowienia roku 2013 Rokiem Jana Czochraleskiego.

Jako pierwszy głos zabrał Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego – dr hab. Jacek Guliński, który podkreślił zasługi prof. Czochraleskiego

mówiąc: „*To jeden z wielkich polskich uczonych, często stawiany obok Mikołaja Kopernika i Marii Skłodowskiej-Curie. Profesor umożliwił rozwój podstaw elektroniki, a jego metoda hodowli kryształów wykorzystywana jest dzisiaj na całym świecie.*” Następnie dr hab. Jacek Guliński





prof. dr hab. inż. Jan Szmidt, z uczelni, w której prof. Czochralski pracował i rozwijał swoją karierę zawodową. Następnie głos zabrał dr Zygmunt Łuczyński - Dyrektor Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych, w którym, w trzech Zakładach: Technologii Krzemu, Technologii Związków Półprzewodników z grupy $A_{III}-B_V$ i Technologii Monokryształów Tlenkowych otrzymywane są monokryształy „metodą Czochralskiego”. W 1992 r. powstało

odczytał list od Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego – prof. dr hab. Barbary Kudryckiej (przekazany na ręce Prezes PTWK – prof. dr hab. Ewy Talik), która objęła honorowy patronat nad wystawą. W liście tym prof. dr hab. Barbara Kudrycka napisała m.in.: „Z uznaniem przyjęłam wiadomość, że Sejm Rzeczypospolitej Polskiej postanowił oddać hołd jednemu z najwybitniejszych uczonych, który tak bardzo przyczynił się do rozwoju współczesnej nauki i techniki. Odkryta przez tego znakomitego badacza metoda hodowli monokryształów leży u podstaw dzisiejszej rewolucji informatycznej. Bez niej nie byłoby układów scalonych, które sterują pracą otaczających nas urządzeń elektronicznych. To dzięki niezwyklej pasji, determinacji, pracowitości i innowacyjności myślenia Profesor Jan Czochralski wyprzedził swoją epokę i tym samym zapewnił swoim pracom trwale miejsce w kanonie światowej literatury naukowej. Wierzę, że program obchodów Roku Jana Czochralskiego umożliwi Polakom bliższe poznanie osoby i dokonań tego wybitnego metalurga, krystalografa i chemika.”

Następnie prowadząca spotkanie prof. dr hab. Anna Pajęczkowska przekazała głos współorganizatorom wystawy, którzy dokonali oficjalnego jej otwarcia. Jako pierwszy przemawiał Jego Magnificencja Rektor PW –

w ITME „Laboratorium im. Profesora Czochralskiego”, które znajduje się w Zakładzie Technologii Monokryształów Tlenkowych. Przy ITME jest również afiliowane PTWK. W dalszej kolejności głos zabrał mgr Piotr Hemmerling, burmistrz Kcyni – miasta o 750 letniej tradycji, w którym profesor Czochralski się urodził i z którym związał swoje życie osobiste.



Oficjalne otwarcie wystawy. Na zdjęciu stoją kolejno od lewej: J.M. Rektor PW – prof. dr hab. inż. Jan Szmidt, Dyrektor ITME – dr Zygmunt Łuczyński, Podsekretarz Stanu w MNiSW – dr hab. Jacek Guliński, burmistrz Kcyni – mgr Piotr Hemmerling oraz prof. dr hab. Anna Pajęczkowska.

Po części oficjalnej otwarcia, prof. dr hab. Anna Pajęczkowska zaprosiła wszystkich obecnych do zwiedzenia wystawy. W inauguracji otwarcia wystawy uczestniczyli przedstawiciele uczelni wyższych, placówek i instytutów naukowych, takich jak: PW, ITME, Instytut Fizyki PAN i innych.

W tym miejscu należy podkreślić również fakt, że konsekwentne działania PTWK w popularyzacji osoby i osiągnięć prof. Czochralskiego zarówno w kraju, jak i za granicą doprowadziły do przyznania PTWK organizacji w 2013 r. dwóch doniosłych wydarzeń naukowych – Międzynarodowej Szkoły Wzrostu Kryształów („ISSCG-15”) w Gdańsku oraz Międzynarodowej Konferencji Wzrostu Kryształów („ICCGE-17”) w Warszawie, które odbędą się one w sierpniu br.

Katarzyna Racka
Sekretarz Naukowy PTWK

STRESZCZENIA WYBRANYCH ARTYKUŁÓW PRACOWNIKÓW ITME

Chirped pulse amplification of a femtosecond Er-doped fiber laser mode-locked by a graphene saturable absorber

G. Sobon¹, J. Sotor¹, I. Pasternak², W. Strupinski², K. Krzempek¹, P. Kaczmarek¹, K. M. Abramski¹

¹ Laser & Fiber Electronics Group, Wrocław University of Technology, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Poland

² Institute of Electronic Materials Technology, Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, Poland

Laser Phys. Lett., 2013, 10, 035104

In this work we demonstrate for the first time, to our knowledge, a chirped pulse amplification (CPA) setup utilizing a graphene mode-locked femtosecond fiber laser as a seed source. The system consists of a mode-locked Er-fiber oscillator operating at 1560 nm wavelength, a grating-based pulse stretcher, two-stage amplifier and a grating compressor. The presented setup allows the amplification of the seed up to 1 W of average power (1000 times amplification) with linearly polarized 810 fs pulses and 20 nJ pulse energy at a 55 MHz repetition rate. The whole design is based on single-mode fibers, which allows one to maintain excellent beam quality, with M^2 less than 1.17.

A graphene-based mode-locked nano-engineered zirconia-yttria-aluminosilicate glass-based erbium-doped fiber laser

Paul M. C.¹, Sobon G.², Sotor J.², Abramski K. M.², Jagiello J.³, Kozinski R.³, Lipinska L.³, Pal M.¹

¹ Cent Glass & Ceram Res Inst, CSIR, Fiber Opt & Photon Div, Calcutta 700032, India

² Wrocław Univ Technol, Laser & Fiber Elect Grp, PL-50370 Wrocław, Poland

³ Institute of Electronic Materials Technology, PL-01919 Warsaw, Poland

LASER PHYSICS, 2013, 23, 3, 035110

We demonstrate a simple, compact and low cost graphene-based mode-locked nano-engineered erbium-doped zirconia-yttria-aluminosilicate (ZYA-EDF) glass-based fiber laser. The fiber preform in a quaternary glass host of silica-zirconia-yttria-aluminum was made through the modified chemical vapor deposition (MCVD) process followed by the solution doping tech-

nique. The core glass is made of 0.40 mol% of Al_2O_3 , 3.0 mol% of ZrO_2 and 0.25 mol% of Er_2O_3 , which give rise to a peak absorption of 30.0 dB m^{-1} at 978 nm and a fluorescence lifetime of 10.65 ms. Such a doping host provides the high concentration of erbium ions of 4500 ppm without any clustering. Such an active fiber was used as a gain medium for an ultra-fast femtosecond fiber laser, mode locked by a graphene oxide (GO) saturable absorber. This paper describes geometrical and optical characterization of the nano-engineered glass-based erbium-doped optical fiber (ZYA-EDF) as well as the performance of the mode-locked femtosecond laser based on the developed fiber. The all-anomalous cavity laser generated soliton pulses with 8.5 nm bandwidth, 50 MHz repetition frequency and nearly transform-limited 400 fs duration at 1561 nm center wavelength using a new class of EDF.

Role of graphene defects in corrosion of graphene-coated Cu(111) surface

I. Wlasny¹, P. Dabrowski^{1,2}, M. Rogala¹, P. J. Kowalczyk¹, I. Pasternak², W. Strupinski², J. M. Baranowski², Z. Klusek¹

¹ Department of Solid States Physics, Faculty of Physics and Applied Informatics, University of Lodz, Pomorska 149/153, Lodz, 90-236, Poland

² Institute of Electronic Materials Technology, Wolczyńska 133, Warsaw, 01-919, Poland

Appl. Phys. Lett., 2013, 102, 111601

Protection of Cu(111) surface by chemical vapor deposition graphene coating is investigated. The X-ray photoemission spectroscopy results do not reveal any signs of corrosion on graphene-coated Cu(111), and suggest perfect protection of copper surface against interaction with atmospheric gases. However, the scanning tunneling spectroscopy results show that cracks in the graphene sheet open up windows for nanoscale corrosion. We have shown also that such local corruptions are not only limited to the discontinuities but may also progress underneath the graphene cover.

Wskazówki dla autorów

Redakcja wydawnictwa **Materiały Elektroniczne** prosi autorów o nadsyłanie zamówionych artykułów pocztą elektroniczną, pod adres ointe@itme.edu.pl lub na nośniku magnetycznym, według następujących specyfikacji:

1. Tekst

- a) Treść artykułu powinna być dostarczona w plikach o rozszerzeniu obsługiwanych przez program Word (najlepiej DOC i DOCX). Tekst powinien być pisany w sposób ciągły, podzielony na kolejno ponumerowane, zawierające tytuły, rozdziały. Oznaczenia zmiennych należy pisać czcionką pochyłą (kursywą). W tekście powinny być zaznaczone miejsca, w których mają znajdować się materiały ilustracyjne, jednak same grafiki powinny być umieszczone poza nim w oddzielnych plikach (patrz punkt 4).
- b) Podpisy do rysunków w języku polskim i angielskim, również winny być zapisane w oddzielnym pliku.
- c) Na pierwszej stronie artykułu powinny znajdować się następujące elementy: imię i nazwisko autora, tytuł naukowy, nazwa miejsca pracy, adres pocztowy, e-mail, tytuł artykułu zarówno w języku polskim jak i angielskim.

2. Streszczenie

- a) Do artykułu należy dołączyć streszczenie w języku polskim i angielskim. Każde z nich nie powinno przekraczać 200 słów.
- b) Należy także dodać słowa kluczowe zarówno w języku polskim jak i angielskim.

3. Bibliografia

- a) Pozycje bibliograficzne należy podawać w nawiasach kwadratowych w kolejności ich występowania.
- b) Sposoby sporządzania opisów bibliograficznych:
 - Opis bibliograficzny całej książki:
Autor: Tytuł. Numer wydania. Miejsce wydania: Nazwa wydawcy, Rok wydania, ISBN.
 - Opis bibliograficzny pracy zbiorowej pod redakcją:
Tytuł. Pod red. (nazwiska redaktorów): Numer wydania. Miejsce wydania: Nazwa wydawcy, Rok wydania, ISBN.
 - Opis bibliograficzny fragmentu (rozdziału) książki, (gdy cała książka jest tego samego autorstwa):
Autor: Tytuł książki. Numer wydania. Miejsce wydania: Nazwa wydawcy, Rok wydania, ISBN. Tytuł fragmentu, Strony rozdziału.
 - Opis bibliograficzny fragmentu (rozdziału) książki z pracy zbiorowej:
Autor: Tytuł fragmentu. W: Tytuł książki. Miejsce wydania: Nazwa wydawcy, Rok wydania, ISBN.
 - Opis bibliograficzny artykułu z czasopisma:
Autor: Tytuł artykułu . „Tytuł czasopisma” Rok, Wolumin, Numer, Strony.
 - Opis artykułu w czasopiśmie internetowym:
Autor: Tytuł artykułu [on line], Rok, Wolumin, Numer [dostęp – data] Strony, Adres w Internecie. ISSN.
 - Strona WWW:
Autor: Tytuł [on line]. Miejsce wydania: Instytucja sprawcza [dostęp – data], Adres w internecie.

4. Elementy graficzne

- a) Każdy materiał ilustracyjny powinien być zapisany w oddzielnym pliku (PCX, TIF, BMP, WFM, WPG, JPG) o rozdzielczości nie mniejszej niż 150 dpi.
- b) W przypadku materiałów ilustracyjnych niebędących oryginalnym dorobkiem autora/ów należy zacytować ich źródło, umieszczając je w bibliografii.

5. Wzory

- a) Wzory należy numerować kolejno cyframi arabskimi
- b) Zmienne należy oznaczyć czcionką pochyłą.
- c) W przypadku wzorów niebędących oryginalnym dorobkiem autora/ów należy zacytować ich źródło, umieszczając je w bibliografii.

6. Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej.



INSTYTUT TECHNOLOGII
MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

tel./fax-dyrektor: (48 22) 835 90 03

e-mail: itme@itme.edu.pl

tel.: (48 22) 835 30 41-9

<http://www.itme.edu.pl/>

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych jest wiodącym polskim ośrodkiem prowadzącym badania naukowe oraz prace badawczo-rozwojowe w zakresie fizyki ciała stałego, projektowania i technologii nowoczesnych materiałów, struktur i podzespołów dla mikro- i nano-elektroniki, fotoniki i inżynierii.

Badania te dotyczą następujących grup materiałów i ich zastosowań w postaci podzespołów:

- **materiały nowej generacji:** grafen, metamateriały, materiały samoorganizujące się i gradientowe, nanokryształy tlenkowe w różnych matrycach (szkło, tworzywa sztuczne);
- **materiały półprzewodnikowe i ich zastosowania:**
 - **monokryształy** hodowane metodą Czochralskiego Si, GaAs, GaP, GaSb, InAs, InSb, InP i transportu z fazy gazowej SiC, o średnicach do 10 cm;
 - **warstwy epitaksjalne** półprzewodnikowe uzyskiwane za pomocą metod CVO i MOCVO z Si, SiC, GaN, AlN, InN, GaAs, GaP, GaSb, InP, InSb, oraz opartych o nie związków potrójnych i poczwórnych;
 - **podzespoły** dla elektroniki i fotoniki: diody Schottky'ego, tranzystory FET i HEMT, lasery, fotodetektory IR i UV;
- **materiały tlenkowe i ich zastosowania:**
 - **monokryształy**, YAG domieszkowany: (Nd, Yb, Er, Pr, Ho, Tm, Cr), YVO: (Nd, Tm, Ho, Er, Pr) i podwójnie domieszkowany: (Ho + Yb, Er + Yb), GdVO₄: (Er, Tm); LuVO₄: (Er, Tm); GdCoB: (Nd, Yb) dla zastosowań laserowych; kwarc, LiNbO₃, LiTaO₃, Sr Ba_{1-x}Y_xNb₂O₆ dla zastosowań elektrooptycznych i piezoelektrycznych; CaF₂, BaF₂, jako materiały przezroczyste; Ca₄GdO(BO)₃ jako materiał nieliniowy oraz NdGaO₃, SrLaGaO₄, SrLaAlO₄, jako materiały podłożowe dla osadzania warstw nadprzewodników wysokotemperaturowych;
 - **szkła** o zadanych charakterystykach spektralnych i szkła aktywne;
 - **ceramiki** (Al₂O₃, Y₂O₃, ZrO₂, Si₃N₄), ceramiki przezroczyste i aktywne;
 - **warstwy epitaksjalne** YAG: Nd, Cr dla zastosowań laserowych;
 - **światłowodów** specjalne, foniczne, aktywne i obrazowody;
 - **podzespoły dla elektroniki i fotoniki:** filtry i rezonatory z akustyczną falą powierzchniową; soczewki dyfrakcyjne, maski chromowe do fotolitografii;
- **inne materiały dla elektroniki:**
 - **kompozyty** metalowo-ceramiczne, kompozyty metalowe;
 - **złącza** zaawansowanych materiałów ceramicznych (Si₃N₄, AlN), kompozytów ceramiczno-metalowych i ceramik z metalami;
 - **metale czyste** (Ga, In, Al, Cu, Zn, Ag, Sb);
 - **pasty** do układów hybrydowych;
 - **materiały** dla jonowych ogniw litowych, ogniw paliwowych i kondensatorów.

Instytut prowadzi również badania i wykonuje usługi w zakresie:

- **innych technologii HI-TECH:** fotolitografia, elektronolitografia, osadzanie cienkich warstw, trawienie, obróbka termiczna;
- **charakteryzacji materiałów:** spektrometria mas i Mössbauera, elektronowy rezonans paramagnetyczny (EPR), rozpraszanie wsteczne Ruthforda (RBS), absorpcja atomowa, wysokorozdzielcza dyfrakcja rentgenowska, spektroskopia optyczna i w podczerwieni (FTIR), pomiary widm promieniowania, fotoluminescencja, mikroskopia optyczna i skaningowa mikroskopia elektronowa i sił atomowych (AFM); spektroskopia głębokich poziomów: pojemnościowa (DLTS) i fotoprądowa (PITS), pomiary impedancyjne i szumów, temperaturowa analiza fazowa, pomiary dyfuzyjności ciepła.