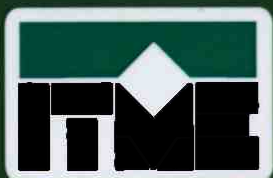
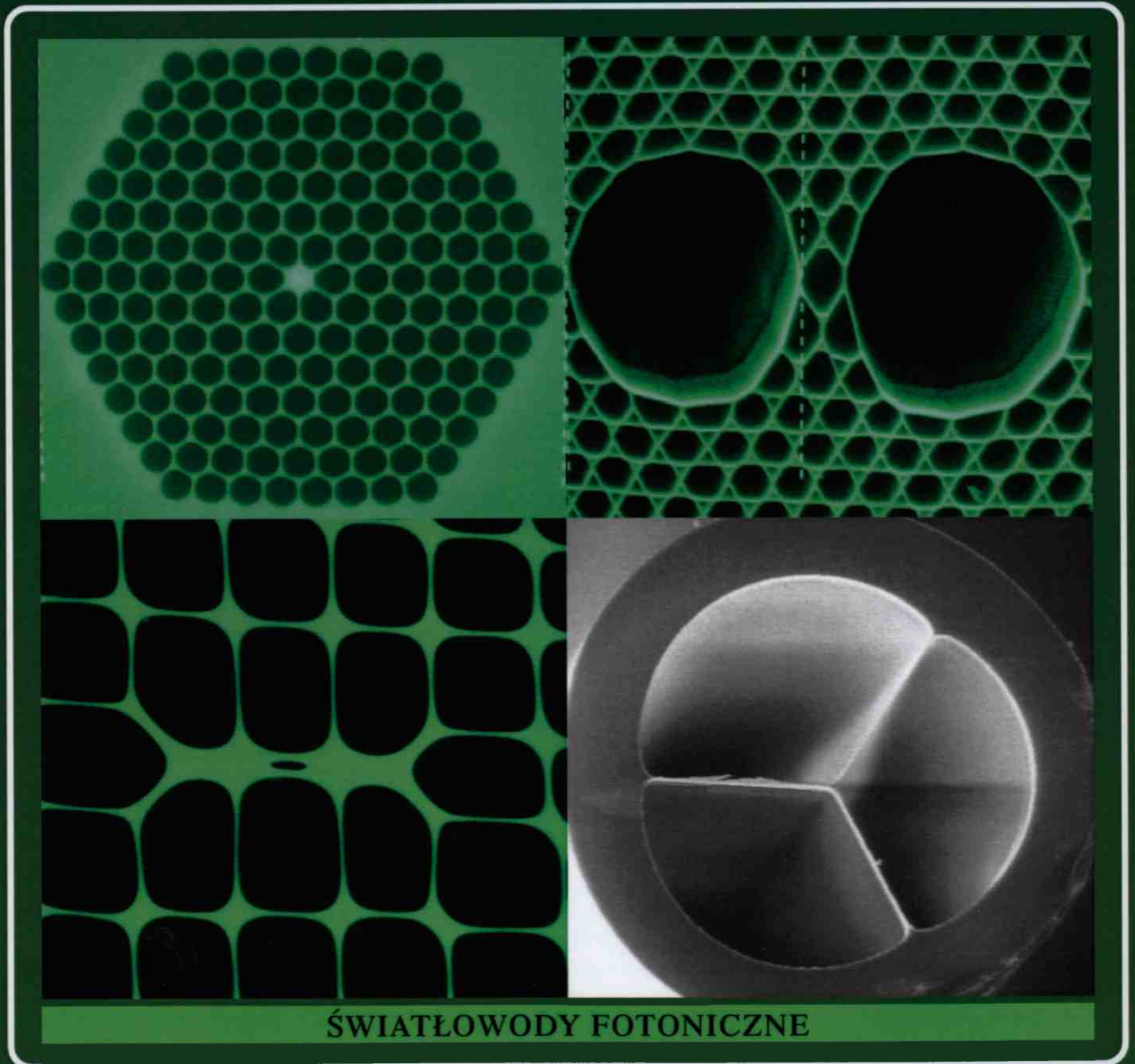


MATERIAŁY ELEKTRONICZNE ELECTRONIC MATERIALS

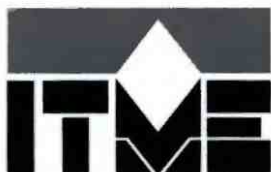
PL ISSN 0209-0058



INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIALÓW ELEKTRONICZNYCH
INSTITUTE OF ELECTRONIC MATERIALS TECHNOLOGY

Nr 2

2012 T. 40



**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. 40 - 2012 nr 2

Wydanie publikacji dofinansowane przez
Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

WARSZAWA ITME 2012

<http://rcin.org.pl>

KOLEGIUM REDAKCYJNE:

prof. dr hab. inż. Andrzej JELEŃSKI (redaktor naczelny)
dr hab. inż. Paweł KAMIŃSKI (z-ca redaktora naczelnego)
prof. dr hab. inż. Zdzisław JANKIEWICZ
dr hab. inż. Jan KOWALCZYK
dr Zdzisław LIBRANT
dr Zygmunt ŁUCZYŃSKI
prof. dr hab. inż. Tadeusz ŁUKASIEWICZ
prof. dr hab. inż. Wiesław MARCINIAK
prof. dr hab. Anna PAJĄCZKOWSKA
prof. dr hab. inż. Władysław K. WŁOSIŃSKI
mgr Anna WAGA (sekretarz redakcji)

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 (6pkt.)

SPIS TREŚCI

POPRAWA JAKOŚCI POLEROWANYCH PŁYTEK SiC METODĄ CHEMICZNEGO UTLENIANIA I OBRÓBKĄ TERMICZNEJ. BADANIA JAKOŚCI POWIERZCHNI METODAMI RENTGENOWSKIMI Halina Sakowska, Krystyna Mazur, Wojciech Wierzchowski, Krzysztof Wieteska, Maciej Gała, Dominika Teklińska	3
ZASTOSOWANIE SPEKTROSKOPII ODBICIOWEJ W DALEKIEJ PODCZERWIENI DO CHARAKTERYZACJI ZWIERCIADEŁ BRAGGA Z AlAs/GaAs Małgorzata Możdżonek, Jarosław Gaca, Marek Wesołowski	11
ANALIZA BŁĘDU WARTOŚCI PARAMETRÓW CENTRÓW DEFEKTOWYCH WYZNACZANYCH METODĄ NIESTACJONARNEJ SPEKTROSKOPII FOTOPRĄDOWEJ PITS Michał Pawłowski, Marek Suproniuk	17
BADANIE MIKROCHROPOWATOŚCI POLEROWANEJ POWIERZCHNI PŁYTEK KRZEMOWYCH W CELU DOSTOSOWANIA SPOSOBU ICH WYTWARZANIA DO NOWYCH WYMAGAŃ JAKOŚCIOWYCH Bronisław Piątkowski, Sławomir Szymański	28
STRESZCZENIA WYBRANYCH ARTYKUŁÓW PRACOWNIKÓW ITME	34

nakład 200 egz.

STRESZCZENIA WYBRANYCH ARTYKUŁÓW PRACOWNIKÓW ITME

Temperature and concentration quenching of Tb³⁺ emissions in Y₄Al₂O₉ crystals

Boruc Z¹, Fetlinski B¹, Kaczkan M.¹, Turczynski Sebastian.², Pawlak Dorota², Malinowski M.¹

¹Institute of Microelectronics and Optoelectronics, Warsaw University of Technology, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Poland

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

Journal of Alloys and Compounds 532, 15 August (2012), 92-97

Spectroscopic properties of trivalent terbium (Tb³⁺) activated Y₄Al₂O₉ (abbreviated YAM) crystals were studied. Concentration and temperature dependent emission spectra and fluorescence dynamics profiles have been investigated in YAM:Tb³⁺ in order to understand better processes responsible for quenching of the terbium ⁵D₃ and ⁵D₄ emissions. Decays were modelled using Inokuti-Hirayama approach to obtain information on the energy transfer mechanism. The cross-relaxation transfer rates were experimentally determined as a function of temperature and Tb³⁺ concentration. The investigation revealed strong influence of cross-relaxation process on ⁵D₃ emission quenching. The two different processes responsible for the increase of fluorescence quenching with growing temperature were observed, both related to thermal activation energy. For temperatures above 700 K, the temperature dependence of the emission intensity ratio (⁵D₃/⁵D₄) becomes linear and the decay times are rapidly decreasing monotonously with increasing temperature, what is confirming the potential of Y₄Al₂O₉:Tb³⁺ material in high temperature luminescence thermometry.

Study of magnetic phases in mechanically alloyed Fe₅₀Zn₅₀ powder

Grabias Agnieszka¹, Pękała M.², Oleszak D.³, Kowalczyk M.³

¹ Institute of Electronic Materials Technology, ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, Poland

² Chemistry Department, Warsaw University, Al. Żwirki i Wigury 101, 02-089 Warszawa, Poland

³ Faculty of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, Poland

Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 324, 16, (2012), 2501-2505

The mechanosynthesis of Fe₅₀Zn₅₀ alloy resulted in the formation of the bcc Fe(Zn) solid solution after 20 h of milling. Structural transformations induced by mechanical alloying and heating, and magnetic properties of the powders were studied by Mossbauer spectroscopy, X-ray diffraction, Faraday balance and vibrating sample magnetometry techniques. All alloys studied exhibit strong magnetic ordering with Curie temperatures close to 900 K. Room temperature Mossbauer measurements revealed distinguished magnetic environments in the samples. The decrease of coercivity with prolonged milling time was attributed to the reduction or averaging of local magnetic anisotropies.

Fracture toughness, strength and creep of transparent ceramics at high temperature

Boniecki Marek, Librant Zdzisław, Wajler, Anna, Wesolowski, Władysław, Węglarz Helena

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

Ceramics International, 38, 6, (2012), 4517-4524

Fracture toughness, four-point bending strength of transparent spinel, Y₂O₃ and YAG ceramics in function of temperature (from room temperature up to 1500°C) were measured. Creep resistance at 1500-1550°C was studied too. Grain size distribution was determined on polished and etched surfaces of samples. Fracture surfaces after tests were examined by scanning electron microscopy. The obtained results showed that: in the case of spinel ceramics fracture toughness and strength decreased from 20 to 800°C, increased from 800 to 1200°C and decreased at higher temperature; in the case of Y₂O₃ ceramics they increased from 400 to 800°C, and next kept constant up to 1500°C; in the case of YAG ceramics they kept constant from 20 to 1200°C and then decreased. The creep strain rate was measured for spinel and YAG but not for Y₂O₃ ceramics which appeared creep resistant. The hypotheses concerning toughening and creep mechanisms were proposed.

Modification of rubber by ion bombardment (Conference Paper)

Bielinski D.M.^{1,2}, Pieczyńska D.², Ostaszewska U.², Jagielski Jacek^{3,4}

¹ Technical University of Lodz, Institute of Rubber and Dye Technology, ul. Stefanowskiego 12/16, 90-924 Łódź, Poland

² Institute for Engineering of Polymer Materials and Dyes, Division of Elastomers and Rubber Technology, ul. Harcerska 30, 05-820 Piastów, Poland

³ Institute of Electronic Materials Technology, ul. Wólczyńska 133, 01-199 Warszawa, Poland

⁴ Andrzej Soltan Institute for Nuclear Studies, 05-400 Swierk-Otwock, Poland

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 282, 1 July 2012, 141-144

The paper presents selected effects of surface modification of rubber vulcanizates upon irradiation with He⁺, O⁺ or Ar⁺ ions. Changes to chemical composition and physical structure of rubber macromolecules are discussed in terms of influence of the treatment on functional properties of the vulcanizates, like friction and wettability. Hydrogen release, responsible for further crosslinking and oxidation of surface layer can protect bulk of the materials from action of external chemical factors. Effectiveness of a protective layer being formed due to ion bombardment has been examined from the point of view of thermal and ozone aging, as well as fuel resistance of the rubber vulcanizates.

Micro-Raman spectroscopy of graphene grown on stepped 4H-SiC (0001) surface

Grodecki Kacper^{1,2}, Bożek R.¹, Strupiński Włodzimierz², Wysmolek A.¹, Stępniewski R.¹, Baranowski Jacek M.^{1,2}

¹ Faculty of Physics, University of Warsaw, Warsaw, Poland

² Institute of Electronic Materials Technology, ul. Wólczyńska 133, Warszawa, Poland

Applied Physics Letters, 100, 26, 2012

Graphene grown by chemical vapor deposition on 4H-SiC (0001) was studied using micro-Raman spectroscopy and atomic force microscopy (AFM). AFM revealed that the graphene structure grown on on-axis substrates has a stepped morphology. This is due to step bunching, which results from etching in hydrogen as well as from the process of graphene formation itself. It was shown by micro-Raman spectroscopy that the properties of graphene present on step edges and on terraces are quite different.

Graphene on terraces is uniform with a relatively small thickness and strain fluctuations. On the other hand, graphene on step edges has a large thickness and strain variations occur. A careful analysis of micro-Raman spatial maps led us to the conclusion that the carrier concentration on step edge regions is lowered when compared with terrace regions.

Toward mid-IR supercontinuum generation in bismuth-lead-galate glass based photonic crystal fibers (Conference Paper)

Buczyński R.^{1,2}, Bookey H.³, Stępień Ryszard², Pniewski J.¹, Pysz Dariusz², Waddie A.J.³, Kar A.K.³, Taghizadeh M.R.³

¹ Faculty of Physics, University of Warsaw, ul. Pasteura 7, 02-093 Warszawa, Poland

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

³ School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh EH14 4AS, United Kingdom

Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8434, 2012, Article number 84340Z

In this paper we report a two octave spanning supercontinuum generation in the range 750-3000 nm with a newly developed photonic crystal fiber. The fibre is fabricated using an in-house synthesized lead-bismuth-galate glass PBG08 with optimised rheological and transmission properties in the range 500-4800 nm. The photonic cladding consists of 8 rings of air holes with a fibre core diameter of 3 μm and a lattice constant of 2.2 μm. The dispersion characteristic is determined mainly by the material dispersion and the first ring of holes in the cladding with a filling factor of 0.68. The filling factor of the remaining 7 rings is 0.45 which allows single mode performance of the fibre in the infrared range. The fibre has a zero dispersion wavelength of 1490 nm which allows the use of 1550 nm wavelength as an efficient pump in the anomalous dispersion regime. The 2 cm long sample of photonic crystal fiber is pumped in the femtosecond regime with a pulse energy of 10 nJ at a wavelength of 1550 nm. A flatness of 5 dB is observed in the spectral range 950-2500 nm.

Luminescent properties of polymer nanocomposites activated with praseodymium doped nanocrystals (Conference Paper)

Jusza A.¹, Lipińska Ludwika², Baran Magdalena², Mergo P.³, Millan A.⁴, Dieleman F.⁴, Piramidowicz R.¹

¹ Institute of Microelectronics and Optoelectronics, Warszawa

University of Technology, ul. Koszykowa 75, Warszawa, 00-662, Poland

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

³ Faculty of Chemistry, Maria Curie-Skłodowska University, Maria Curie-Skłodowska Sq. 2, 20-031 Lublin, Poland

⁴ Faculty of Mechatronics, Warsaw University of Technology, ul. Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa, Poland

Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8435, 2012, Article number 84351T.

In this work we report the recent results of our investigation on visible emission properties of the polymer nanocomposites doped with oxide and fluoride nanopowders activated with praseodymium ions. The set of LaAlO_3 and YF_3 nanopowders differing in active ions concentration, was carefully characterized with respect of their structural and luminescent properties. Also the PMMA-based nanocomposites doped with these nanopowders were manufactured and characterized. The measurements of excitation and emission spectra as well as fluorescence decays enabled comparison of emission properties of nano-composites and original nanopowders and discussion of the main excitation and deexcitation mechanisms, responsible for the optical properties of developed materials. This, in turn will enable optimization of developed manufacturing technology.

Development of glass microoptics for MidIR with hot embossing technology (Conference Paper)

Kujawa Ireneusz¹, Stępień Ryszard¹, Waddie A.J.², Skrabalak G.³, Taghizadeh M.R.², Buczyński R.^{1,2}

¹ Institute of Electronic Materials Technology, ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, Poland

² Department of Physics, School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh, EH14 4AS, United Kingdom

³ Institute of Advanced Manufacturing Technology, ul. Wroclawska 37a, 30-011 Kraków, Poland

⁴ Faculty of Physics, University of Warsaw, ul. Pasteura 7, 02-093 Warszawa, Poland

Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8428, 2012, Article number 84281P

In this paper we report on the development of diffractive and refractive micro optical compo-

nents devoted to MidIR applications. As a material we use a customized heavy metal oxide glasses with high transmission in the range $0.6\div 6.0\ \mu\text{m}$. Optimization of the glass composition in four- and five-component oxide systems for a broadband transmission window is difficult due to their excessive crystallization susceptibility. Several metals and alloys were tested for their suitability as a stamping medium. Optimal performance was obtained for selected brass and steel stamps, as well as for pure silica stamps. As a technology testboard we have developed 1D and 2D diffractive gratings with a minimum feature size of $5\ \mu\text{m}$ as well as Fresnel microlenses with a diameter of $200\ \mu\text{m}$. The quality of the embossed elements was verified by comparison of the master and replicated elements using a non-contact white light interferometer.

Integrated AlGaIn quadruple-band ultraviolet photodetectors

Gökkavas M.¹, Butun S.^{1,2}, Caban Piotr^{3,4}, Strupiński Włodzimierz³, Ozbay E.^{1,2,5}

¹ Nanotechnology Research Center, Bilkent University, Bilkent, Ankara 06800, Turkey

² Department of Physics, Bilkent University, Bilkent, Ankara 06800, Turkey

³ Institute of Electronic Materials Technology, ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, Poland

⁴ Institute of Microelectronics and Optoelectronics, Warsaw University of Technology, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Poland

⁵ Department of Electrical and Electronics Engineering, Bilkent University, Bilkent, Ankara 06800, Turkey

Semiconductor Science and Technology, 27, 6, June 2012, Article number 065004

Monolithically integrated quadruple back-illuminated ultraviolet metalsemiconductor metal photodetectors with four different spectral responsivity bands were demonstrated on each of two different $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ heterostructures. The average of the full-width at half-maximum (FWHM) of the quantum efficiency peaks was $18.15\ \text{nm}$ for sample A, which incorporated five $1000\ \text{nm}$ thick epitaxial layers. In comparison, the average FWHM for sample B was $9.98\ \text{nm}$, which incorporated nine $500\ \text{nm}$ thick epitaxial layers.

Wskazówki dla autora

Redakcja czasopisma **Materiały Elektroniczne** prosi o nadsyłanie artykułów pocztą elektroniczną pod adres ointe@sp.itme.edu.pl lub na nośniku magnetycznym w następujących formatach:

Tekst (edytory tekstu)

Grafika

Word 6.0 lub 7.0

PCX, TIF, BMP, WFM, WPG

1. **Grafika** (materiały ilustracyjne) powinny być zapisane w oddzielnych plikach. Każdy materiał ilustracyjny (rysunek, tabela, fotografia itp.) w innym. Pliki mogą być poddane kompresji: ZIP, ARJ.
 2. **Objętość** do 15 str.
 3. **Tekst powinien być pisany w sposób ciągły. Materiały ilustracyjne** (rysunki, tabele, fotografie itp.) powinny być umieszczone poza tekstem. Podpisy do rysunków... itp. w języku: polskim i angielskim, również winny być zapisane w oddzielnym pliku.
 4. **Na pierwszej stronie artykułu** powinny znajdować się następujące elementy: tytuł naukowy, imię i nazwisko autora, nazwa miejsca pracy, adres pocztowy, e-mail. Na środku strony tytuł artykułu, również w języku angielskim.
 5. **Materiały ilustracyjne, streszczenie, bibliografia, wzory:**
 - Do artykułu należy dołączyć streszczenie nie przekraczające 200 słów w języku polskim i angielskim.
 - W przypadku **wzorów i materiałów ilustracyjnych** nie będących oryginalnym dorobkiem autora/ów należy zacytować ich źródło, umieszczając je w bibliografii.
 - **Wzory** należy numerować kolejno cyframi arabskimi.
 - **Pozycje bibliograficzne** należy podawać w nawiasach kwadratowych w kolejności ich występowania.
- Przykład na opis bibliograficzny artykułu z czasopisma:**
[1] Tomaszewski H., Strzeszewski J., Gębicki W.: The role of residual stresses in layered composites of Y-ZrO₂ and Al₂O₃. J.Europ.Ceram.Soc. vol. 19, 1990, no. 67, 255-262
- Przykład na opis bibliograficzny książki:**
Raabe J., Bobryk E.: Ceramika funkcjonalna. Warszawa: Politechnika Warszawska 1997, 152 s.
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, SrBa₂Nb₂O₇ dla zastosowań elektrooptycznych i piezoelektrycznych; CaF₂, BaF₂, jako materiały przezroczyste; Ca₄GdD(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, fotoniczne, 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 Rutheforda (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.