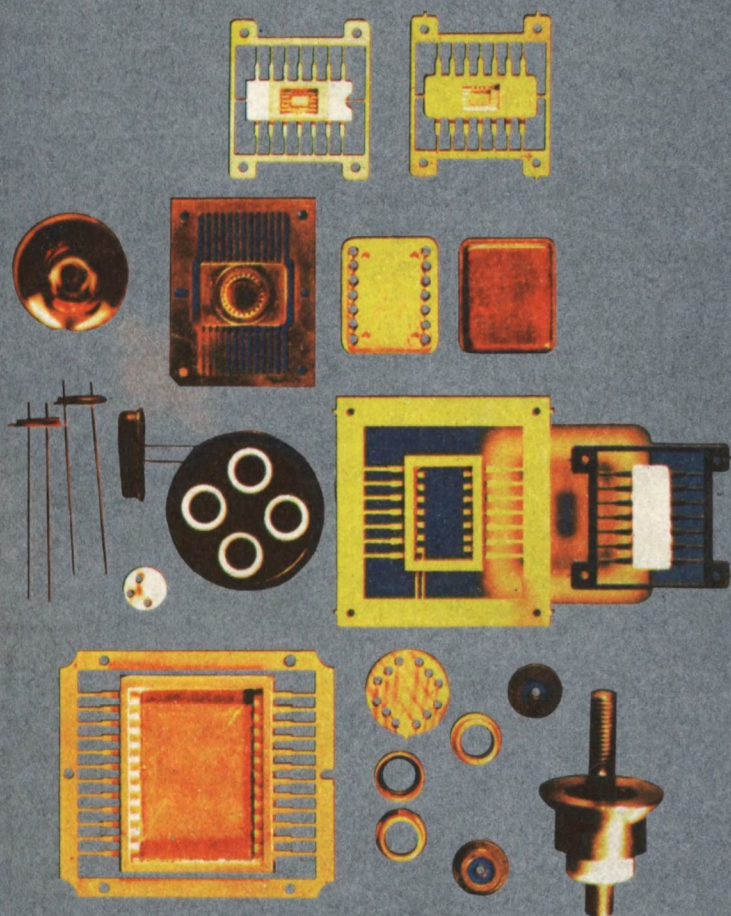


Nr 4 (40)  
1982

# MATERIAŁY ELEKTRONICZNE







CENTRUM NAUKOWO-PRODUKCYJNE  
MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH

# **MATERIAŁY ELEKTRONICZNE**

**Nr 4 (40) – 1982**

PL ISSN 0209-0058

WYDAWNICTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO „WEMA”  
WARSZAWA 1983

<http://rcin.org.pl>



## KOLEGIUM REDAKCYJNE

Redaktor naczelny: Mieczysław FRĄCKI

Z-ca Redaktora Naczelnego: Andrzej SZYMAŃSKI

## REDAKTORZY DZIAŁOWI

Jan BEKISZ

Andrzej BUKOWSKI

Paweł DRZEWIECKI

Bolesław JAKOWLEW

Bohdan PASZKOWSKI

Romuald WADAS

Władysław WŁOSIŃSKI

Sekretarz Redakcji: Łukasz KACZYŃSKI

## ADRES REDAKCJI

ul. Konstruktorska 6, 02-673 Warszawa

telefon: 43 74 61, 43 54 24



## SPIS TREŚCI

Od redakcji .....	7
Wpływ obróbki termicznej na własności optyczne monokryształów GaAs otrzymywanych metodami Bridgmana i Czochralskiego – M. GŁADYSZ, K. ROSZ-KIEWICZ, B. SURMA .....	11
Przygotowanie preparatów dla celów prześwietleniowej mikroskopii elektronowej z warstw heteroepitaksjalnych $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x/\text{GaAs}$ i z monokryształów InP – W. DRABIK, M. GANCZAREK .....	31
Badania heteroepitaksjalnych warstw $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ za pomocą skaningowej i prześwietleniowej mikroskopii elektronowej – W. DRABIK, M. PAWŁOWSKA, J. TORUŃ .....	37

## CONTENTS

Editorial note .....	7
Effect of heat treatment on photoluminescence of Te-doped and undoped GaAs crystals grown by Czochralski and Bridgman methods – M. GŁADYSZ, K. ROSZ-KIEWICZ, B. SURMA .....	11
The methods of specimen preparation for transmission electron from microscope $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x/\text{GaAs}$ heteroepitaxial layers and InP single crystals – W. DRABIK, M. GANCZAREK .....	31
Investigation of heteroepitaxial layers of $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x/\text{GaAs}$ by means of scanning and transmission electron microscopy – W. DRABIK, M. PAWŁOWSKA, J. TORUŃ .....	37

## СОДЕРЖАНИЕ

От редакции .....	7
Влияние термической обработки на оптические свойства монокристаллов арсенида галлия, полученных методами Бриджмена и Чохральского – М. ГЛАДЫШ, К. РОШКЕВИЧ, Б. СУРМА .....	11
Методика подготовки образцов для просвечивающего электронного микроскопа из гетероэпитаксиальных слоёв $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x/\text{GaAs}$ и из монокристаллов InP – В. ДРАБИК, М. ГАНЧАРЕК .....	31
Исследования гетероэпитаксиальных слоёв $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x/\text{GaAs}$ при помощи растровой и просвечивающей электронной микроскопии – В. ДРАБИК, М. ПАВЛОВСКА, Е. ТОРУНЬ .....	37



M. GŁADYSZ, K. ROSZKIEWICZ, B. SURMA: *Wpływ obróbki termicznej na własności optyczne monokryształów GaAs otrzymanych metodami Bridgmana i Czochralskiego*

W artykule przedstawiono wpływ obróbki termicznej na fotoluminescencję w 77 K kryształów GaAs otrzymanych metodami Bridgmana i Czochralskiego. Próbkę były wygrzewane pod kontrolowanym ciśnieniem par arsenu oraz w nadmiarze galu. W niektórych próbkach przeprowadzono również dyfuzję miedzi. Stwierdzono, że pewne własności kryształów zależą od ciśnienia par arsenu. Obserwowano szereg pików związanych z defektami sieci, których powiązanie z V<sub>As</sub> lub V<sub>Ga</sub> ustalono na podstawie zależności ciśnieniowych.

W. DRABIK, M. GANCZAREK: *Przygotowanie preparatów dla celów prześwietleniowej mikroskopii elektronowej z warstw heteroepitaksjalnych GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>/GaAs i z monokryształów InP*

W pracy przedstawiono metody otrzymywania preparatów do badania w prześwietleniowym mikroskopie elektronowym z warstw heteroepitaksjalnych GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>/GaAs ( $x=0,4$ ) i z monokryształów InP. Ponadto między innymi metodę przygotowania preparatów z przekrojów poprzecznych warstw epitaksjalnych GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>/GaAs za pomocą ścieniania jonowego.

W. DRABIK, M. PAWŁOWSKA, J. TORUŃ: *Badania heteroepitaksjalnych warstw GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>/GaAs za pomocą skaningowej i prześwietleniowej mikroskopii elektronowej*

W artykule przedstawiono wyniki badań warstw heteroepitaksjalnych GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> ( $x=0,4$ ). Badania przeprowadzono za pomocą skaningowego (SEM) i prześwietleniowego mikroskopu elektronowego (TEM).

Obserwowano defekty liniowe – głównie dyslokacje niedopasowania.

Przedstawiono również próbę korelacji wyników SEM i TEM.



M. GŁADYSZ, K. ROSZKIEWICZ, B. SURMA: *Effect of heat treatment on photoluminescence of Te-doped and undoped GaAs crystals grown by Czochralski and Bridgman methods*

The study of the effect of annealing on the photoluminescence spectra of Te-doped and undoped GaAs crystals grown by Czochralski and Bridgman methods has been investigated at 77 K. Specimens were heat-treated under controlled arsenic vapour pressures and gallium overpressure. In some samples Cu diffusion has been performed. It has been found that photoluminescence properties depends on arsenic vapour pressure. Various energy levels of defects were observed and their association with Ga or As vacancies were determined from the pressure dependence.

W. DRABIK, M. GANCZAREK: *The methods of specimen preparation for transmission electron microscope from GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> /GaAs heteroepitaxial layers and InP single crystals*

In the paper the methods of obtaining the specimens for transmission electron microscope from GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> /GaAs (x=0.4) heteroepitaxial layers and from InP single crystals are described. Among others, the method of specimen preparation from cross-section of GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> /GaAs epitaxial layers by ion thinning is given.

W. DRABIK, M. PAWŁOWSKA, J. TORUŃ: *Investigation of heteroepitaxial layers of GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> /GaAs by means of scanning and transmission electron microscopy*

The results of scanning and transmission electron microscopy investigation of heteroepitaxial layers of GaAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub> (x=0.4) have been described. Line defects, mainly misfit dislocations have been observed. The attempt of correlation of results SEM and TEM methods has been given.



М. ГЛАДЫШ, К. РОШКЕВИЧ, Б. СУРМА: *Влияние термической обработки на оптические свойства монокристаллов арсенида галлия, полученных методами Бриджмена и Чохральского*

В статье представлено влияние термической обработки на фотолюминесценцию при 77 К кристаллов арсенида галлия, полученных методами Бриджмена и Чохральского. Образцы подвергались термической обработке в контролируемом давлении пар арсенида при избытке галлия. В некоторых образцах проведена была диффузия меди. Установлено, что некоторые свойства кристаллов зависят от давления пар арсенида. Наблюдалось ряд пиков, связанных с сетевыми дефектами, происхождение которых связано с  $V_{As}$  либо  $V_{Ga}$  и давлением паров.

В. ДРАБИК, М. ГАНЧАРЕК: *Методика подготовки образцов для просвечивающего электронного микроскопа из гетероэпитаксиальных слоёв  $GaAs_{1-x}P_x/GaAs$  и из монокристаллов  $InP$*

В работе представлены методы получения образцов для просвечивающего электронного микроскопа из гетероэпитаксиальных слоёв  $GaAs_{1-x}P_x/GaAs$  ( $x=0,4$ ) и из монокристаллов  $InP$ .

Кроме того, описан метод подготовки образцов из поперечных сечений эпитаксиальных слоёв  $GaAs_{1-x}P_x/GaAs$  ионным утонением.

В. ДРАБИК, М. ПАВЛОВСКА, Е. ТОРУНЬ: *Исследования гетероэпитаксиальных слоёв  $GaAs_{1-x}P_x/GaAs$  при помощи растровой и просвечивающей электронной микроскопии*

В работе представлены результаты исследований гетероэпитаксиальных слоёв  $GaAs_{1-x}P_x$  ( $x=0,4$ ). Были исследованы линейные дефекты, в основном дислокации несоответствия. Представлена также корреляция результатов растровой и просвечивающей микроскопии.



## OD REDAKCJI

Niniejszy numer „Materiałów Elektronicznych” jest poświęcony badaniom własności związków półprzewodnikowych  $A^{III}B^V$ , głównie arsenkowi galu i związkom na jego podstawie w postaci warstw epitaksjalnych. Niniejszy wstęp ma za zadanie przedstawić główne zastosowania tych materiałów, a bardziej zainteresowanym poleca się monograficzną literaturę tematu.

Optoelektronika stała się dziedziną elektroniki, która dała początek przemysłowemu zastosowaniu związków  $A^{III}B^V$ , a szczególnie arsenku galu. Wymienić tu należy diody elektroluminescencyjne dla światła widzialnego i podczerwieni oraz półprzewodnikowe wskaźniki cyfrowe. W elementach tych są wykorzystane następujące materiały: GaAs, AlGaAs, GaAsP, InGaP, GaP.

W ostatnich latach pojawiły się nowe możliwości zastosowań, które spowodowały konieczność znacznego podniesienia jakości dotychczas produkowanego arsenku galu i warstw epitaksjalnych oraz opracowania nowych asortymentów materiałów na bazie GaAs, GaP oraz InP.

Jako nowe dziedziny zastosowań wymienia się lasery, detektory dla łączności światłowodowej szybkodziałającej, liniowe i cyfrowe układy scalone, nowe rodzaje przyrządów mikrofalowych. Szerokie zastosowanie materiałów opartych na związkach  $A^{III}B^V$  przedstawia poniższa tabela.

Materiał	Postać materiału	Zastosowanie
1	2	3
GaAs	płytki monokryształiczne, warstwy epitaksjalne GaAs/GaAs	lasery, przyrządy mikrofalowe, przyrządy dla optyki, zintegrowane diody elektroluminescencyjne na podczerwień, ogniwa fotowoltaiczne do przetwarzania energii słonecznej, układy scalone liniowe i cyfrowe, fotodetektory, fotooporniki, detektory promieniowania jądrowego, detektory ultradźwięków, sondy biomedyczne, okna dla podczerwieni



1	2	3
GaP	płytki monokrystaliczne, warstwy epitaksjalne GaP/GaP, GaP/Si	diody elektroluminescencyjne dla światła widzialnego, fotodetektory, mikrofalowe przetworniki elektroakustyczne
GaSb	podłoża do wytwarzania laserów i detektorów	lasery złączowe i detektory dla łączności światłowodowej
GaN, AlN	warstwy epitaksjalne	lasery o b. małej długości fali promieniowania, diody elektroluminescencyjne o szerokim zakresie promieniowania widzialnego, mikrofalowe przetworniki elektroakustyczne, linie opóźniające
InAs	polikryształ, płytki monokrystaliczne	czujniki pola magnetycznego, fotodetektory z homozłączem
InP	monokrystaliczne płytki podłożowe warstwy epitaksjalne	diody luminescencyjne emitujące w paśmie podczerwieni, lasery, fotodetektory z homozłączem, przyrządy mikrofalowe
InSb	płytki monokrystaliczne, polikryształ	diody luminescencyjne dla pasma podczerwieni, fotodetektory, diody tunelowe, filtry i okna dla podczerwieni, mikrofalowe przetworniki elektroakustyczne, hallotrony, fotooporniki
$\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$	warstwy epitaksjalne GaAsP/GaAs GaAsP/GaP GaAsP/Si GaAsP/Ge	diody elektroluminescencyjne emitujące światło widzialne, lasery, fotodetektory, przyrządy mikrofalowe
$\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Sb}$	warstwy epitaksjalne	przyrządy mikrofalowe wykorzystujące zjawiska objętościowe (diody Gunna, LSA)
$\text{InAs}_{1-x}\text{P}_x$	warstwy epitaksjalne	lasery
$\text{In}_{1-x}\text{GaP}_x$	warstwy epitaksjalne	przyrządy mikrofalowe (diody Gunna, LSA), diody elektroluminescencyjne na zakres promieniowania widzialnego
$\text{InP}_x\text{As}_{1-x}$	warstwy epitaksjalne	lasery



1	2	3
$\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$	warstwy epitak-sjalne	lasery (przy składzie $x = 0,2$ ; $y = 0,35$ stosowany jako materiał na lasery $\lambda = 1100$ nm dla światłowodów), diody luminescencyjne na szeroki zakres promieniowania widzialnego
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$	warstwy epitak-sjalne	lasery na zakres fal 560+870 nm, bipolarne tranzystory polowe
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$	warstwy epitak-sjalne	lasery na zakres 775+1770 nm
GaAsSb	warstwy epitak-sjalne	fotodiody, diody lawinowe z barierą Schottky jako detektory dla linii opóźniających

#### LITERATURA

- [1] Hilsum C., Rose-Tunes A.C.: "Semiconducting III-IV compounds", Pergamon Press, Oxford 1961.
- [2] Willardson R.K., Goering H.L.: "Compound Semiconductor Vol. I. Preparation of III-IV Compounds", Reinhold Publ. Co., 1962.
- [3] Madelung O.: "Physics of III-V Compounds", J. Wiley, New York 1964.
- [4] Hilsum C.: "Gallium Arsenid", tom 9: "Progress in Semiconductors", Heywood Ltd, London 1965, 135-177.
- [5] Willardson R.K., Beer A.C.: "Semiconductors and Seminees GaAs", Academic Press, New York 1966.
- [6] Von Münch W.: "Technologie der Galliumarsenid-Beuelemente", J. Springer, Berlin 1969.
- [7] Neuburger M.: "Handbook of Electronic Materials", Information Center, IFI Plenum, New York 1972, tom 2,7.
- [8] Kressel H., Nelson H.: "Properties and Applications of II-V Compound Films Deposited by Liquid Phase Epitaxy", tom 7: "Physics of Thin Films" (Eds. G. Hass, M.H. Francombe, R.W. Hoffman), Academic Press, New York 1973, 115-256.
- [9] Theeben J.B., Hollan L., Cadoret R.: "Growth Mechanisms CVD of GaAs", rozdz. L6. w "Crystal growth and materials" (Eds. E. Kaldis, H.J. Scheel), North-Holland Publ. Co., 1977.



- [10] Farrow R.F.C.: "Molecular Beam Epitaxy", rozdz. I. 7. w "Crystal growth and materials" (Eds.E.Kaldis, H.J. Scheel) North-Holland Publ. Co., 1977
- [11] Stirland D.J.: "GaAs and Related Compounds" w "Dust. Phys. Conf," Nr 33a, 1977
- [12] Conwell E.M., Burnham R.D.: "Materials for Integrated Optics GaAs", tom 8: "Annual Review of Materials Science", 1978, 135-179
- [13] Stringfellow G.B.: "VPE Growth of III/V Semiconductors", tom 8: "Annual Review of Materials Science" (Eds. R.A. Huggins, R.H. Rube), 1978, 73-98.  
 Ponadto sprawozdanie z dwóch serii konferencyjnych odbywających się co 2 lata przemiennie:
  - 1. "International Symposium: Gallium Arsenid and Related Compounds" (od 1965 r.)
  - 2. "Symposium on GaAs" (od 1972 r.)
- [14] Arizumi T.: "Some Aspects of the Epitaxial Vapour Growth of Semiconductors Elements, III-V Compounds and Alloys", rozdz. 5 w "Current Topics in Materials Science", vol. 1 (Eds.E.Kaldis), North-Holland Publ. Co., 1978, 343-420
- [15] Hollan L., Hallais J.P., Brice J.C.: "The Preparation of Gallium Arsenid", rozdz. 1 w "Topics in Material Science", vol. 5. (Eds.E.Kaldis) North-Holland Publ. Co., 1980
- [16] Martin G.M.: "Semi-insulating III-V Materials" Nottingham, 1980



dr inż. WANDA SOKOŁOWSKA

adiunkt, kier. Pracowni Spektrografii Emisyjnej  
w Zakładzie Analiz ITME

Instytut Badań Jądrowych

Promotor: doc. dr hab. inż. Jerzy Gałązka, IBJ

Recenzenci: doc. dr hab. Leon Pszonicki, IBJ

doc. dr hab. Andrzej Parczewski,

Instytut Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego

Data nadania stopnie doktora nauk chemicznych: 16.06.1981 r.

# ZASTOSOWANIE EMPIRYCZNYCH MODELI MATEMATYCZNYCH DO OPTYMALIZACJI ANALIZY SPEKTRALNEJ MATERIAŁÓW WYSOKIEJ CZYSTOŚCI

Tematyka pracy dotyczy optymalizacji metod analitycznych przy zastosowaniu teorii planowania doświadczeń.

Omówiono sposób formułowania modelu matematycznego zawierającego informację o wpływie czynników określających warunki analizy na wynik oznaczenia. Przeanalizowano szczegółowo możliwości zastosowania matematycznych metod planowania doświadczeń w różnych etapach wzbudzenia próbki w analizie spektrograficznej. Podano sposób wyznaczania błędów statystycznych i przedziałów ufności prognozowanej wartości funkcji celu. Sprawdzono adekwatność modeli matematycznych dla poszczególnych pierwiastków, za pomocą szczegółowej analizy wariancji modelu matematycznego. Przeanalizowano efekty współdziałania czynników.

Podano ogólny schemat postępowania optymalizacyjnego.

Proces optymalizacji zrealizowano w dwóch etapach. W etapie pierwszym, w wyniku zastosowanego planu doświadczeń, ustalono kierunek optymalizacji i sformułowano modele matematyczne dla wybranych linii szeregu pierwiastków. W etapie drugim, za pomocą metody linii grzbietowych Hoerla ustalono jednoznacznie optymalne warunki pracy.



Uprzejmie informujemy naszych Czytelników, że został przygotowany

"Indeks autorski i przedmiotowy wydawnictw ITME za lata 1973-1979"

oraz

"Tezaurus materiałów elektronicznych w zakresie obsługi informacyjnej ITME CNPME do celów informacji naukowej"

Indeks obejmuje pozycje drukowane w "Materiałach Elektronicznych", "Pracach ONPMP", "Pracach ITME" i materiałach konferencyjnych.

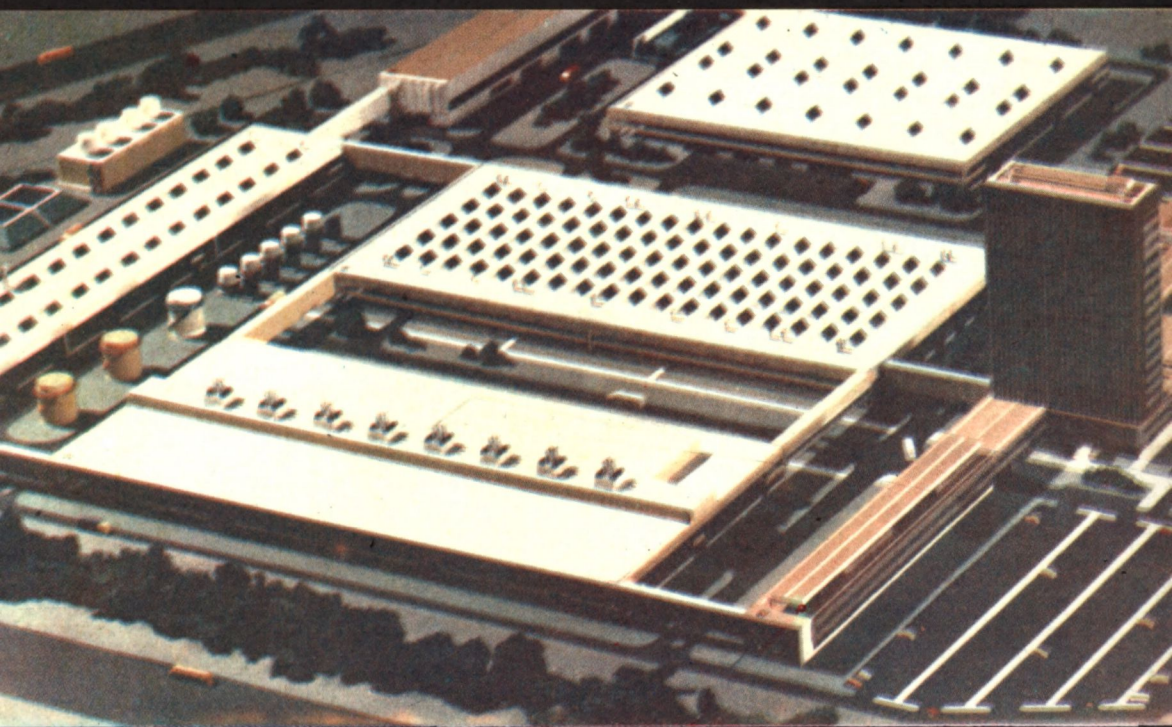
Tezaurus zawiera 3731 terminów w ujęciu hierarchicznym, opisujących tematykę prac naukowo-badawczych ITME.

Egzemplarze indeksu i tezaury można zamawiać w ZOINTE ITME.









CENTRUM NAUKOWO-PRODUKCYJNE  
MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH  
ul. Konstruktorska 6, 02-673 WARSZAWA