

OSRODEK
NAUKOWO-
PRODUKCYJNY
MATERIAŁÓW
PÓŁPRZEWODNIKOWYCH
WARSZAWA

PRACE ONPMP

MATERIAŁY Z TWORZYW SZTUCZNYCH
DO ELEMENTÓW OPTOELEKTRONICZNYCH

1974

Nr 2

OSRODEK NAUKOWO-PRODUKCYJNY
MATERIAŁÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH

Zakład Z-8

PRACOWNIA TWORZYW SZTUCZNYCH

Autorzy: Janusz Nowacki
Katarzyna Szyszej

MATERIAŁY Z TWORZYW SZTUCZNYCH
DO ELEMENTÓW OPTOELEKTRONICZNYCH

Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego "WEMA"

<http://rcin.org.pl>

KOLEGIUM REDAKCYJNE

Redaktor Naczelny: Bolesław Jakowlew

Z-ca Redaktora Naczelnego: Paweł Drzewiecki

Redaktorzy działowi:

Jan Bekisz

Bohdan Ciszewski

Zenon Horubała

Andrzej Hruban

Czesław Jaworski

Edward Szabelski

Władysław Włosiński

Sekretarz Redakcji: Ewa Brojan

Adres Redakcji:

Warszawa, ul. Konstruktorska 6, tel. 43-74-61

Do użytku służbowego

WPM "WEMA", Warszawa 1974. Wydanie I. Format B5. Nakład 500+60 egz. Ark.
wyd. 0,71. Ark. druk. 1,33/A Papier offsetowy III klasy 80 g B1. Symbol: 1484/74

Optoelektronika jest jedną z najnowszych i najszybciej rozwijających się dziedzin elektroniki półprzewodnikowej. Zajmuje się ona występującymi w półprzewodnikach zjawiskami zachodzącymi w wyniku wzajemnego oddziaływania fotonów i elektronów. Działanie przyrządów optoelektronicznych oparte jest na wykorzystaniu zjawisk stanowiących m.in. przedmiot zainteresowania optyki, fizyki ciała stałego, metalurgii, chemii oraz teorii układów elektronicznych.

Znane dotychczas grupy przyrządów optoelektronicznych to fotodetektory, diody elektroluminescencyjne, lasery, oprony, wskaźniki cyfrowe i układy scalone, składowane z diod i fotodetektorów. Przyrządy te znajdują zastosowanie w aparaturze pomiarowej, urządzeniach radiolokacyjnych, automatyce, technice przetwarzania danych, układach pamięciowych itp.

Wraz z rozwojem produkcji przyrządów optoelektronicznych koniecznością staje się dążenie do rozwoju technologii odpowiednich materiałów półprzewodnikowych i opracowanie metod ich badania. Z zagadnieniami tymi bardzo ściśle związany jest problem prawidłowego doboru obudowy do poszczególnych grup przyrządów. W zasadzie obudowy przyrządów półprzewodnikowych - wykonywane są z materiałów tradycyjnych tj. ceramiki, metalu i szkła, a także z tworzyw sztucznych, których niezawodność jest wystarczająca, a ceny średnio o ponad połowę tańsze od obudów tradycyjnych. Jedną z grup obudów przyrządów optoelektronicznych stanowią kubeczki z odpowiednimi okienkami lub soczewkami - w zależności od rodzaju przyrządu jego przeznaczenia. W obudowach przyrządów o dużej precyzji nadal jeszcze stosuje się szkło, które jest jednak coraz bardziej wypierane przez elementy wykonane z odpowiednich typów tworzyw sztucznych, charakteryzujących się łatwością obróbki i dobrymi własnościami optycznymi. Ponadto tworzywa umożliwiają wykonanie całkowitych obudów, dzięki którym eliminuje się niektóre kosztowne etapy montażu. Tak więc, zastosowanie tworzyw do produkcji elementów i obudów przyrządów optoelektronicznych jest znacznie bardziej ekonomiczne niż stosowanie detali tradycyjnych.

Optoelektronika, jak już wspomniano, jest jedną z najnowszych dziedzin elektroniki, dlatego też publikacji na ten temat jest stosunkowo niewiele i dotyczą one raczej badań i wytwórstwa samych przyrządów niż elementów z tworzyw sztucznych w nich stosowanych.

Pierwsze lasery półprzewodnikowe zostały skonstruowane w 1962 r. Od tego momentu rozpoczyna się bardzo intensywny rozwój prac poświęconych badaniom zjawisk optoelektronicznych i prowadzących do opracowania nowych technologii i nowych przyrządów. Prace tego rodzaju prowadzone były również w Polsce: w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, Instytucie Technologii Elektronowej, Oddziale Przemysłowego Instytutu Elektroniki w Toruniu, Instytucie Fizyki PAN

i Wojskowej Akademii Technicznej. Badania te doprowadziły do opracowania fotopomników germanowych i fotodiod [1], różnych typów fotodetektorów krzemowych [2, 3], fotodetektorów CdS i CdSe [4], a także laserów złączowych [5] i diod elektroluminescencyjnych z arsenku galu [6], fosforu galu [7] i węgla krzemu [8]. Obecnie istnieje wiele typów i rodzajów przyrządów optoelektronicznych znajdujących różnorodne zastosowania. Znane dotąd czerwone, żółte i zielone diody elektroluminescencyjne zostaną wkrótce uzupełnione diodą niebieską [9], która wykonana jest z azotku galu i pracuje w temperaturze pokojowej. Azotek galu wytwarzany jest przez osadzanie jego par na szafirze, stanowiącym podłoże izolujące. Możliwe są również rozwiązania diod elektroluminescencyjnych w obudowach z tworzyw sztucznych emitujących promieniowanie w dwóch kolorach w zależności od przyłożonej polaryzacji prądu stałego [10]. Diody takie zawierają dwie struktury emitujące zamontowane w ten sposób, że przy przepływie prądu w jednym kierunku działa jedno z nich, a po zmianie kierunku prądu - druga. Diody elektroluminescencyjne można spotkać w różnych obudowach /tworzywa sztuczne, metal, metal-ceramika/ z czystą lub dyfuzyjną soczewką, z odbłaskiem osiowym lub bocznym, z układem jedno i wielokrotnym [11]. Diody elektroluminescencyjne z soczewką dyfuzyjną mają większy kąt obserwacyjny niż soczewki czyste; te ostatnie znajdują jednak większe zastosowanie w modulatorach i optycznych wiązkach informacyjnych.

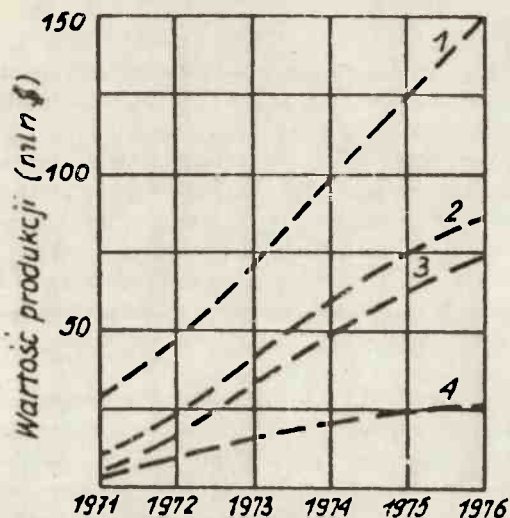
Dzięki wbudowanemu miniaturowemu reflektorowi można również wykorzystać boczne promieniowanie kryształka. W diodach elektroluminescencyjnych z kryształkiem w formie półkuli, wykorzystanie promieniowania może być jeszcze większe /żadnej straty odbicia/, ale jest to geometria bardzo droga w wykonaniu i w każdym przypadku - ze względu na wielokierunkowe rozpraszanie promieniowania - wymaga parabolicznego reflektora. Chociaż sprawność zewnętrzna diod półsferycznych wzrasta w stosunku do sprawności diod płaskich blisko dziesięciokrotnie, jednak zużycie materiału półprzewodnikowego również znacznie wzrasta. Ekonomiczniejsze jest zastosowanie płaskiego kryształka z półkulistą soczewką ze szkła lub żywicy [12]. Sprawność takiej diody w porównaniu z diodą płaską jest trzykrotnie większa.

Detektory z zakresu podczerwieni znajdują zastosowanie w spektroskopii, kontroli materiałów na zawartość zanieczyszczeń, kontroli otaczającej przestrzeni itp. W zakresie bliskiej podczerwieni i promieniowania widzialnego detektory stosowane są do odczytywania zapisów w pamięci holograficznej, w czujnikach optycznych, czujnikach kart itp. [13].

Wg J. Oudin'a [14], systemy elektroniczne /w tym także optoelektronikę/ można podzielić na trzy wielkie grupy. Pierwsza z nich zajmuje się ujęciem danych informacyjnych przeznaczonych do przetwarzania, np. elektroniczna maszyna cyfrowa przy zastosowaniu optycznego czytnika znaków. W drugiej grupie przyrządy optoelektroniczne stosowane są do wizualizacji, np. systemy radarowe, systemy zdalnego dostępu do elektronicznych maszyn cyfrowych, w trzeciej zaś - obraz jest początkiem i zakończeniem cyklu.

Ogromny jest również rozwój układów pamięciowych, co wymaga coraz nowszych rozwiązań elektronicznych [15]. W układach pamięci holograficznej znajdują zastosowanie mozaiki elektroluminescencyjne, złożone z szeregu dyskretnych diod luminescencyjnych osadzonych we wgłębieniach wykonanych w przezroczystej podstawie [16]. Umożliwia to precyzyjne rozmieszczenie punktów świecących na dużej powierzchni.

Przewiduje się, że dalszy rozwój światowej produkcji półprzewodnikowych elementów optoelektronicznych będzie gwałtownie wzrastać /rys. 1/ [17]. Wartości produkcji podano bez uwzględnienia krajów demokracji ludowej.



Rys. 1. Prognoza rozwoju światowej produkcji półprzewodnikowych elementów optoelektronicznych: 1 - fotodetektory, 2 - oprony, 3 - wskaźniki, 4 - DEL

Prace badawczo-rozwojowe w Polsce powinny przebiegać dwustopniowo. W pierwszym etapie /lata 1972-76/ powinny one obejmować opracowania technologii i metody badań następujących grup przyrządów:

- szybkich fotodetektorów krzemowych wykonanych jako elementy dyskretne oraz mozaiki o małej integracji;
- fotodetektorów na bliską i średnią podczerwień, wytwarzanych z wybranych półprzewodnikowych związków międzymetalicznych grupy $A^{III} B^V$ i $A^{II} B^{VI}$;
- wysokosprawnych diod elektroluminescencyjnych z GaAs oraz laserów heterowarstwowych GaAs - GaAlAs;
- źródeł promieniowania czerwonego i zielonego jako elementów dyskretnych oraz układów scalonych hybrydowych.

Drugi etap /po roku 1976/ obejmowałby dalsze badania i opracowywanie nowych technologii opartych na wynikach długoplanowych badań prowadzonych również w pierwszym etapie.

Materiałów półprzewodnikowych stosowanych w przyrządach optoelektronicznych jest wiele [18]. Oprócz klasycznych półprzewodników Ge i Si do produkcji fotodetektorów używa się związków międzymetalicznych $A^{III} B^V$ i $A^{II} B^{VI}$ oraz związków potrójnych tych grup. Podstawowymi materiałami są jednak GaAs, GaP, $GaAs_{1-x}P_x$, a także $Ga_{1-x}Al_xAs$ i $In_{1-x}Ga_xP$, które domieszkowane w odpowiedni sposób innymi pierwiastkami uzyskują pożądane własności.

Jednym z typów obudów przyrządów optoelektronicznych jest wielowarstwowa struktura monolityczna [19]. Wytwarzanie jej polega na wielokrotnym nakładaniu na płytkę podłożową warstw szklistych o odpowiednich współczynnikach refrakcji i osadzeniu na nich warstwy metalu. Warstwy szkliste są materiałem optycznie przewodzącym, natomiast metal stanowi optyczną izolację. Na warstwy izolujące nakładane są następnie metalowe beleczki w celu dostarczenia izolacji poprzecznej. Warstwy metalu określają powstałe w ten sposób komory i kanały przewodzące światło. Wewnątrz komór mogą znajdować się przyrządy elektroluminescencyjne, fotoemisyjne lub fotodetekcyjne, a warstwy metaliczne służą jako przewodniki elektryczne.

Tego rodzaju struktura wymaga kilkakrotnej obróbki i wypalania w odpowiednich warunkach kolejno nakładanych warstw szklistych, co niewątpliwie podnosi jej koszt.

Jak już wspomniano, inny typ obudów stanowią kubeczki z wyprowadzeniami, np. typu TO-18 [20], w których montowane są przyrządy optoelektroniczne, zamknięte od góry okienkiem /np. dla fotoprzełącznika/ lub odpowiednim typem soczewki /np. dla diody świetlnej typu FLED/[21]. W przyrządach ultraprecyzyjnych stosuje się elementy szklane, jednak coraz częściej zastępuje się je elementami wykonanymi z odpowiednich typów tworzyw sztucznych. Zastosowanie tworzyw sztucznych do wykonywania całych obudów czy też tylko pewnych ich elementów w decydujący sposób obniża koszt przyrządu, zwłaszcza przy masowej produkcji [22].

Wielką zaletą tworzyw jest to, że elementy z nich wykonane /zwłaszcza soczewki/ nie wymagają dodatkowego polerowania, co jest konieczne w przypadku soczewek szklanych.

Soczewki z tworzyw, bezpośrednio po wyjęciu z formy, mają na ogół wystarczającą gładkość powierzchni, poza tym nawet w produkcji masowej zachowana jest powtarzalność wymiarów przy utrzymaniu wysokich tolerancji dla ogniskowej, średnicy i grubości. Soczewki o bardzo małej średnicy lub blok zawierający szereg pojedynczych soczewek, stosowanych np. do czytników kart perforowanych, praktycznie można wykonać niemal wyłącznie z tworzywa.

Konieczne do produkcji elementów optycznych oprzyrządowanie jest kosztowne, jednak jest to wydatek jednorazowy i amortyzuje się już przy produkcji 1000 szt. elementów, podczas gdy oprzyrządowanie potrzebne do szlifowania i polerowania elementów szklanych trzeba co pewien czas wymieniać. Im większa jest ilość gniazd w formie, tym wyższy jest koszt całkowity formy, ale w przeliczeniu na jedno gniazdo - koszt maleje. Jeśli wymiary otrzymywanych elementów są podobne, istnieje możliwość zastosowania tzw. "formy rodzinnej", tzn. formy zawierającej różne gniazda. To powoduje również obniżenie kosztu, gdyż wykonanie jednej formy o różnych gniazdach jest tańsze niż wykonanie dwóch form o gniazdach jednakowych.

Niektóre przyrządy optoelektroniczne mogą być całkowicie zaprosowane w tworzywach sztucznych. Inne rozwiązania przewidują wykonanie z tworzyw elementów, które pozwalają na włączenie wsporników montażowych, tulejek dystansowych itp., co ułatwia montaż przyrządów i przyczynia się do obniżenia kosztów.

Interesujące jest porównanie cen elementów sferycznych lub plansferycznych wykonanych ze szkła i tworzywa w zależności od wielkości produkcji i średnicy. Przedstawiono je w tabeli 1.

Tabela 1

Porównanie cen elementów sferycznych lub plansferycznych z tworzywa i szkła

Ilość	Średnica /in/	Tworzywo /%/	Szkło /%/
1000	1,6 - 2,0	0,33 - 0,99	2,25 - 4,50
5000	0,6 - 1,0	0,14 - 0,23	1,20 - 1,90
10000	1,0 - 1,6	0,11 - 0,18	1,20 - 1,50
50000	0,2 - 0,6	0,05 - 0,11	0,38 - 0,67

Poważną wadą elementów wykonanych z tworzyw jest ich stosunkowo niska odporność na temperaturę; mogą się one deformować /zależnie do rodzaju surowca/ przy ciągłych temperaturach pracy w zakresie od 75°C do 120°C wskutek nadmiernej absorpcji promieniowania podczerwonego przez samą soczewkę z tworzywa. Przeciwdziałać temu można wstawiając między powierzchnię elementu z tworzywa a źródłem światła planarny arkusz szkła absorbujący ciepło.

Do wykonywania elementów optycznych z tworzyw stosuje się tworzywa akrylowe, epoksydowe, poliwęglan [23], polistyren i jego kopolimery, np. ABS o bardzo dużej przezroczystości i pozbawiony żółtego odcienia [24]. Jest to tworzywo o nazwie Toyolac 900/100 wyprodukowane przez japońską firmę Torray Co. Toyolac 900/100 charakteryzuje się przepuszczalnością światła o długości 800 nm w 89-90%. Ma on taką samą udomość co Toyolac 920, ale jest bardziej od niego przezroczysty. Daje się barwić na dowolne kolory, uzyskując intensywne zabarwienia w całej masie.

Własności optyczne i niektóre inne cechy tworzyw stosowanych do produkcji elementów przyrządów optoelektronicznych podano w tabeli 2.

Tworzywa akrylowe, poliwęglan, polistyren i jego kopolimery a także polipropylen są przerabiane metodą wtrysku, natomiast żywice epoksydowe, Epidian 5 i Epikote 828 - techniką zalewania. Tworzywa akrylowe mają doskonałą zdolność prasowniczą, charakteryzują się przejrzystością, dobrą udarnością i odpornością na zarysowanie. Podczas ich użytkowania nie stwierdza się dostrzegalnego starzenia pod wpływem warunków atmosferycznych. Krajowe gatunki polimetakrylanu metylu nie są jednorodne i dla każdej partii należy przeprowadzać osobne próby.

Poliwęglan znajduje głównie zastosowanie w produkcji obudów przyrządów optoelektronicznych, gdy zachodzi zjawisko wydzielania się ciepła i pożądana jest wyższa wytrzymałość tworzywa na temperaturę. Stosunkowo łatwo poliwęglan ulega zarysowaniu, jest on dosyć trudny w przetwórstwie. Produkowany w Polsce poliwęglan nosi nazwę Bistan AW, wytwarzany jest w skali ćwierćtechnicznej i, podobnie jak krajowy polimetakrylan metylu, jest niejednorodny.

Polistyren jest najczęściej stosowany w masowej produkcji, gdyż jest to najtańsze tworzywo o własnościach optycznych, ma najwyższy współczynnik refrakcji i jest łatwy w obróbce /wtrysk/. Ma on jednak słabą odporność na zarysowanie i ulega degradacji pod wpływem promieniowania ultrafioletowego podczas długotrwałego działania światła słonecznego. Produkcja krajowa zapewnia partie o powtarzalnych własnościach.

Kopolimery ABS /kopolimer akrylonitrylu, butadienu i styrenu/ oraz SAN /kopolimer styrenu i akrylonitrylu/ nie są dotychczas produkowane w Polsce. Kopolimery ABS - oprócz specjalnych gatunków - są nieprzezroczyste, wykazują znacznie większą udarność niż polistyren, a niektóre gatunki dają się metalizować. Kopolimery SAN mają wysoką wytrzymałość mechaniczną, dobrą twardość i przezroczystość, ale charakteryzują się stosunkowo niską udarnością, którą można podwyższyć przez wprowadzenie modyfikatora, np. kauczuku butadienowego /Luran S firmy BASF/. Zarówno kopolimery ABS jak i SAN są stosunkowo łatwe w przetwórstwie.

Polipropylen jest od niedawna produkowany w Polsce. Jest to tworzywo o dużej udarności, pewne gatunki łatwiej dają się metalizować niż kopolimery ABS - stąd też możliwość ich zastąpienia. Polipropylen dosyć łatwo ulega zarysowaniu, jest łatwy w obróbce /wtrysk/.

Żywice epoksydowe, jak już wspomniano, używane mogą być przy zastosowaniu techniki zalewania i formowania "okienek". Epidian 5 jest żywicą krajową, produkowaną przez Z.Ch. "Sarżyna". Wytwarzane partie nie mają jednak powtarzalnych własności, poza tym Epidian 5 ma dosyć ciemne zabarwienie, tak więc dopiero przeprowadzone próby wykażą przydatność tej żywicy do zastosowania w optoelektronice. Żywica Epikote 828, produkowana przez amerykańską firmę Schell jest znacznie jaśniejsza od Epidianu 5 i jej przydatność może się okazać większa.

Właściwości niektórych tworzyw sztucznych stosowanych do produkcji elementów przyrządów optoelektronicznych

Właściwości	Tworzywo akrylowe	Poliwęglan	Poli-styren	ABS	Epidian 5	Epikote 828	Polipropylen
Współczynnik refrakcji n_D Wartość Abbe v_D Zamglenie β_{90} Przepuszczalność światła $\%$ Kąt graniczny i_c Temperatura odkształcenia	1,491 57,2 <2 92 42,2	1,586 34,7 <3 88 39,1	1,590 30,9 3 89 39,0	70°C/wg Martenso/ tenso/ 90°C /wg Vicato /	1,470 80°C /wg Martenso/		1,500 90°C /wg Martensa/
3,6°F/min. 264 psi } 3,6°F/min. 66 psi }	198 214	280 230	180 230	88 97			99
$\left. \begin{array}{l} 2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min. } 18,5 \text{ kg}/\text{cm}^2 \\ 2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min. } 4,6 \text{ kg}/\text{cm}^2 \end{array} \right\} ^\circ\text{C}$ Współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej	92 101	138 132	82 110				
$\left(\frac{\text{in}}{\text{in } ^\circ\text{F}} \times 10^{-5} \right)$ $\left(\frac{\text{cm}}{\text{cm}^\circ\text{C}} \times 10^{-5} \right)$	3,6 6,5	3,8 6,8	3,5 6,3	8,5	6,1	7,3	16
Zalecana maksymalna temp. pracy	92	120	82	85	100	100	
Absorpcja wody, 24h zanurzenia, 23°C $\%$	0,3	0,15	0,2	0,2-0,3			< 0,17 dni/ 0,906
Ciężar właściwy /gęstość/ Twardość /próbki 0,25 in/	1,19 M 97	1,20 M 70	1,06 M 90	1,07 600 /met.kulki/	1,19 M 107	30 /wg Borcola/	750 /met.kulki/
Udornomość z karbem /Izod/	0,3-0,5	12-17	0,35	3,5/kG·cm/cm ²			10/kG·cm/cm ²

Z żywic epoksydowych najodpowiedniejsze do zastosowania w optoelektronice są żywice Stycast 1269A firmy Emerson and Cuming oraz C-74 Std i C-75 Std firmy Hysol.

Nowe tworzywa, które charakteryzują się dużą przepuszczalnością światła to poli- /4-metylopenten/ o nazwie firmowej TPX i polihydroksyeter, produkowany również w Polsce w skali półtechnicznej pod nazwą Epiterm. Są to tworzywa termoplastyczne o niewielkiej zawartości kryształitów, stąd też ich przepuszczalność światła wynosi ok. 85%.

Reasumując można na podstawie danych literaturowych i przeprowadzonych badań własnych stwierdzić, że:

1. Do produkcji elementów optoelektronicznych można stosować tworzywa sztuczne.
2. Zastosowanie tworzyw sztucznych wpływa w istotny sposób na obniżenie kosztu danego detalu, a co za tym idzie - gotowego elementu optoelektronicznego.
3. W związku z planami rozwoju optoelektroniki w Polsce należy również wziąć pod uwagę stosowanie tworzyw sztucznych również do produkcji elementów optoelektronicznych.
4. Konieczne jest opracowanie harmonogramu pozwalającego na terminową realizację kompleksowych zadań rozwoju optoelektroniki w Polsce.
5. Prowadzenie prac badawczo-technologicznych stanowić powinno kontynuację badań nad opracowaniem technologii otrzymywania elementów z tworzyw sztucznych dla optoelektroniki, obejmując w pierwszej fazie obudowy /"kubki"/ i światłowodny do PWC.
6. W początkowym okresie produkcji elementów z tworzyw sztucznych przeznaczonych dla optoelektroniki należy bazować na surowcach importowanych, a następnie - w miarę możliwości - stopniowo zastępować je krajowymi.

Ponieważ w pierwszym etapie będą rozwijane w kraju przede wszystkim półprzewodnikowe wskaźniki cyfrowe /PWC/, w związku z tym opracowywane elementy z tworzyw sztucznych dotyczyć będą w tym okresie również PWC.

LITERATURA

1. Ambroziak A.: Fotodioda germonowa z dwoma stykami omowymi. *Pomiary, Automatyka, Kontrola* 8, 1960.
2. Ambroziak A.: Miniaturowa fotodioda krzemowa w obudowie całoszklanej. *Przeгляд Elektroniki* 4, 1962.
3. Janicki T.: Monolityczny fotodetektor krzemowy z wewnętrznym wzmocnieniem. *Arch. Elektroniki*, 16, 1, 1967.
4. Czajkowski M., Opanowicz A.: Polikrystaliczne warstwy fotoprzewodzące typu CdS, CdSe. *Prace ITE* 4, 1963.
5. Mroziewicz B.: *Lasery półprzewodnikowe*. WNT, Warszawa, 1967.
6. Mroziewicz B.: Diody elektroluminescencyjne z arsenku galu. *Elektronika półprzewodników*, PWN.
7. Niemyski T., Szymański L, Widaj B.: Iniekcyjne diody elektroluminescencyjne na fosforu galu o krótkim czasie świecenia. *Elektronika Półprzewodników*, PWN, Warszawa 1969.
8. Weydman Z., Świdorski J.: Węglik krzemu w zastosowaniu do budowy diod elektroluminescencyjnych. *Elektronika* 11, 12, 1970.
9. *Electronics* 1973, t. 46, nr 3.
10. *Electronic Design* 1973, t. 21, nr 3.
11. Feustel O.: Optoelektronik - eine Herausforderung an den Entwickler. *Elektronikpraxis*, nr 12, Dezember 1972.
12. Darek B.: Przyrządy elektroluminescencyjne z arsenku galu. *Elektronika* 10, 1973.
13. Choppey M.: Les études entreprises en France sur l'optoelectronique, l'essentiel depuis l'émission jusqu'à la photonique. *Electronique Actualités*, 23 Juin 1972.
14. Oudin J.: Des composants optoelectroniques a la visionique. *Electronique Actualités*, 23 Juin 1972.
15. Altman L.: The medium of the message will soon be optoelectronic. *Electronics* 4, 1972.
16. Mroziewicz B., Darek B., Borych B.: Diodowa mozaika elektroluminescencyjna. Patent PRL nr 63800, 1970.

17. Mroziewicz B.: Optoelektronika półprzewodnikowa. Elektronika 1-2, 1973.
18. Pietras E., Hruban A.: Materiały półprzewodnikowe dla przyrządów optoelektronicznych. Materiały Elektroniczne 1, 1973.
19. Greenstein B., Longston P.R. Jr, Narken B., Sunners B.: Method for making monolithic optoelektronic structure. Patent US No 3663194, May 16, 1972.
20. Electronic Equipment. News nr 9, t. 14, 1973.
21. Retteran L.C.: Optoelectronics for the packaging engineer. Electronic packaging and production, nr 10, 1971.
22. Howe P.L., Almand P.H.: Plastic reduces costs of optoelectronic systems. Electronics, July 3, 1973.
23. Electronic Industries 12, 1972.
24. Plastverarbeiter 23, 12, 1972.

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

