



Prace Instytutu Technologii Elektronowej CEMI

Jerzy Klamka

Pierwsze diody złączowe w Polsce.
Wspomnienia z lat pięćdziesiątych - s. 3

Eugeniusz Kuźma

Termistory - pierwsze lata.
Wspomnienia - s. 17

Jerzy Pułtorak

Pierwsze lata elektroniki
półprzewodnikowej w Polsce.
Tranzystory ostrzowe - s. 21

Stanisław Sikorski

Wspomnienia z pierwszych lat
Zakładu Elektroniki - s. 29

Edward Stolarski

Początki miernictwa
tranzystorowego - s. 35

Jarosław Swiderski

Na początku była ciekawość... - s. 43

Prace ITE CEMI

Komitety Redakcyjny

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Kuźma - Przewodniczący

Dr inż. Piotr Grabiec

Dr inż. Janusz Kaniewski

Doc. dr hab. inż. Jerzy Kącki

Prof. dr hab. inż. Andrzej Kobus

Prof. dr hab. inż. Jarosław Świdorski

Dr inż. Krzysztof Twarowski

Mgr Anna Sierakowska - Sekretarz

Opracowanie redakcyjne, graficzne i techniczne
oraz skład komputerowy - Dział Wydawnictw ITE

© Copyright by Instytut Technologii Elektronowej
Warszawa 1992

ISSN 0138-0915



INSTYTUT TECHNOLOGII ELEKTRONOWEJ

Al. Lotników 32/46

02-668 Warszawa

tel. 43-54-01

40 lat temu niewielka grupa osób rozpoczęła w Polsce prace w zakresie elektroniki półprzewodnikowej.

Na początku 1953 r. został powołany Zakład Elektroniki Polskiej Akademii Nauk pod kierownictwem prof. Janusza Groszkowskiego.

Niniejszy zeszyt "Prac ITE" jest poświęcony wspomnieniom z pierwszych lat pracy kilku najstarszych stażem pracowników tego Zakładu. Następne artykuły, w miarę ich napływu, będą zamieszczane w kolejnych zeszytach "Prac ITE".

Niniejszy zeszyt (8/1992) jest ostatnim numerem "Prac TŹ" w 1992 r.

Jerzy Klamka
Pion Mikrofal ITE
Warszawa

PIERWSZE DIODY ZŁĄCZOWE W POLSCE. WSPOMNIENIA Z LAT PIĘCDZIESIĄTYCH

(Rękopis otrzymano 1 lipca 1992)

Był koniec sierpnia 1953 r., kiedy zaskoczyła mnie wiadomość, że moją inżynierską praktykę dyplomową mam odbywać w Zakładzie Elektroniki PAN, a nie – jak wcześniej ustalono – w Zakładach Lampowych im. Róży Luxemburg. Nie byłem z tej "manipulacji" zadowolony, ponieważ wołałem robić pracę dyplomową z technologii lamp elektronowych, do czego jako absolwent Wydziału Łączności P.W. ze specjalnością "elektronika techniczna" byłem przygotowany. Technologię lubiłem i lubię nadal, a wówczas tylko na takiej technologii się znałem. Znałem też Zakłady Lampowe z wakacyjnych praktyk studenckich. Tak więc bez entuzjazmu zgłosiłem się we wrześniu do wskazanego zakładu pracy, gdzie w ciągu trzech miesięcy miałem zrobić inżynierską pracę dyplomową.

Zakład Elektroniki PAN był dla mnie niewiadomą, a jeszcze większą niewiadomą była jego główna tematyka pracy – przyrządy półprzewodnikowe, o których nic nie wiedziałem. Na moje pocieszenie kierownikiem Zakładu był bardzo ceniony i lubiany przez studentów prof. Janusz Groszkowski. Był też wzorowym przełożonym. Cieszyła mnie również obecność inż. Bohdana Paszkowskiego (wówczas chyba adiunkta, a obecnie profesora), którego wykłady z technologii lamp elektronowych były dla mnie interesujące. Jak się później okazało, to właśnie on dokonał "manipulacji" z moją praktyką, za co do dzisiaj jestem mu wdzięczny. Miał on bowiem na uwadze rozwój Zakładu Elektroniki i poszukiwał przyszłych pracowników. Praktyka to dobra okazja do oceny przyszłego pracownika. No i tak się zaczęła moja przygoda z półprzewodnikami, przyrządami i ... trudnościami.

Pierwszy kontakt z Zakładem Elektroniki PAN nie zrobił na mnie dobrego wrażenia. Nie tylko nie było podstawowego wyposażenia do wykonywania prac technologicznych, ale nawet dostatecznej ilości mebli. Wśród kilku kolegów, którzy w tym czasie przebywali tam na praktyce, ja trafiłem na największy "tor przeszkód". Mój pierwszy szef, mgr inż. Tadeusz Domański (bardzo zacny i wesoły człowiek), powiedział mi na początku, że bardzo żałuje, ale nie ma nic poza własnym stołem i krzesłem. Mam sobie sam poradzić. Przez kilka dni wracałem do domu bardzo zmęczony, bo po "pracy naukowej" bolały mnie nogi. Prawie 8 godzin dziennie spędzałem na stojąco. Siadałem na krześle

szefa wówczas, gdy on gdzieś na chwilę wyszedł. Z przerażeniem myślałem jak ja zrobię w tych warunkach pracę dyplomową w terminie. Żał mi było, że nie miałem szczęścia trafić do szefa, który miał już jakieś wyposażenie. Pod tym względem lepszy start miał np. kol. Jerzy Pułtorak, którego przydzielono do pracowni inż. Witolda Rosińskiego (obecnie profesora), gdzie robiono próby z pierwszymi tranzystorami.

Wkrótce dostałem od prof. Paszkowskiego (opiekuna studentów będących na praktyce) temat mojej pracy dyplomowej: wykonanie i zbadanie diod z półprzewodnika międzymetalicznego.

Zabrałem się zatem do poszukiwań materiałów i rozpoznawania możliwości wykonawczych u najbliższych sąsiadów w Budynku Radiotechniki P.W., gdzie obok laboratoriów i pracowni politechnicznych znajdował się Zakład Elektroniki. Wkrótce pokonałem te trudności korzystając z uprzejmości mgra inż. Zdzisława Sołtysa, "naczelnego" chemika Zakładu, i półprzewodnik został "wyprodukowany" w postaci stopu AlSb. Te dwa materiały zostały stopione w płomieniu palnika acetylenowego w atmosferze ochronnej wytworzonej w wyniku topienia soli kuchennej, w której były zagrzebane. Tak więc mój pierwszy zestaw "aparatury technologicznej" stanowiła umieszczona na stole cegła (ze zniszczonego podczas wojny budynku), na której topiłem materiały, oraz pożyczony z Politechniki palnik.

Był to mój pierwszy "sukces" technologiczny i organizacyjny. Udowodniłem sobie, że nawet w beznadziejnej sytuacji można jednak coś zrobić. Wytworzyłem półprzewodnik i zbadałem jego właściwości prostownicze. Materiał ten nie nadawał się jednak do celów praktycznych, gdyż polikryształ po kilku miesiącach zamieniał się w proszek.

Już jako inżynier (początek 1954 r.) pozostałem w Zakładzie Elektroniki. Zawdzięczam to prof. Groszkowskiemu. Odradził mi pójście do pracy w fabryce (zmuszała mnie do tego wtedy sytuacja materialna) i nalegał, abym dalej studiował na kursie magisterskim i jednocześnie pracował w Zakładzie. Polecił mi też uczyć się języka angielskiego (znałem tylko niemiecki, który nie zapewniał dostępu do najnowszych informacji o półprzewodnikach). Tak więc cały mój czas był całkowicie wypełniony: obecność na wykładach i studia, 8 godzin pracy dziennie w wybranej części dnia i intensywna nauka języka angielskiego. Jakby tego było za mało, przypominała sobie o mnie armia i "złożyła mi propozycję". Chciano mnie powołać na 2 lata do wojska, gdybym odmówił przez rok pracy w Studium Wojskowym na Politechnice. Musiałem więc jeszcze zmieścić kilka godzin tygodniowo na ćwiczenie przyszłych oficerów artylerii i broni pancernej, czyli studentów Wydziału Łączności i Wydziału Mechanicznego P.W.

W takich warunkach rozpocząłem w 1954 r. pracę w dziedzinie przyrządów półprzewodnikowych. Wkrótce mój pierwszy szef, wspomniany już mgr inż. Domański, kierownik pracowni, w której pracował tylko on i ja, zrezygnował z pracy, a ja zostałem przeniesiony do pracowni mgra inż. Zbigniewa Majewskiego. W "spadku" dostałem biurko i krzesło, więc nie musiałem już pracować tylko na

stojąco. Od tej pory, mając własny kąt, stale coś zdobywałem oraz konstruowałem własną aparaturę technologiczną.

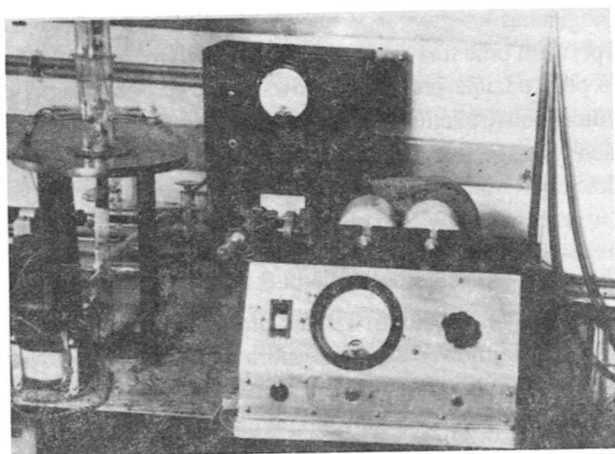
Będąc pod wpływem prac nad tranzystorem ostrzowym, prowadzonych w pracowni inż. Rosińskiego przy udziale prof. Groszkowskiego, spróbowałem i ja wykonać taki przyrząd, lecz o innej konstrukcji. Skonstruowałem w tym celu urządzenie do wytrawienia po obu stronach płytki germanowej zagłębień na takiej głębokości, aby po przyłożeniu doń ostrzy uzyskać efekt tranzystorowy [1]. Udało mi się następnie wykonać tranzystor ostrzowy, który w przeciwieństwie do pierwszego polskiego tranzystora (opracowanego przez prof. Groszkowskiego i inż. Rosińskiego) miał ostrza ustawione wzdłuż osi płytki Ge, a nie obok siebie.

Po tej udanej próbie sił zacząłem szukać dla siebie niezależnej tematyki pracy. Nie zamierzałem dalej zajmować się tranzystorami, gdyż była to dziedzina, w której pracowali już inni w Zakładzie Elektroniki. W tym czasie zaczęły pojawiać się informacje, że nadchodzi era przyrządów półprzewodnikowych opartych na złączu p-n. Dotyczyło to zarówno diod prostowniczych, jak i tranzystorów. Już wówczas było wiadome, że przyrządy takie mogą być wykonane z czystego monokrystalicznego germanu. W naszym Zakładzie był do dyspozycji tylko polikryształ tego półprzewodnika. Zabrałem się więc za produkcję odpowiedniego germanu. W tym celu skonstruowałem i wykonałem aparaturę do czyszczenia strefowego [2]. Jak się następnie przekonałem, tak wytopione sztabki germanu mają strukturę monokrystaliczną. Miałem materiał, mogłem zabrać się do technologii przyrządów. Od tej chwili cały czas poświęcałem konstrukcjom i technologii diod złączowych. Nikt w Zakładzie nie zajmował się wówczas tym zagadnieniem. Znalazłem więc temat do niezależnej pracy.

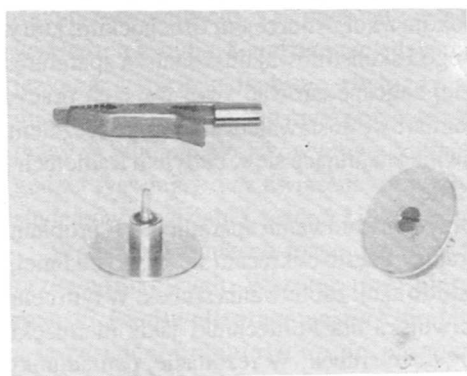
Atmosfera do pracy, stwarzana przez prof. Groszkowskiego, dopingowała mnie. Kilka razy pracowałem w Zakładzie nawet w nocy, aby rano dostarczyć profesorowi "załącznik", czyli sztabkę oczyszczonego germanu, a w późniejszym okresie różne diody, które gdzieś chciał pokazać, aby uzyskać dotacje dla Zakładu.

W Zakładzie panowała bardzo dobra atmosfera i przyjacielskie stosunki. Pomagaliśmy sobie nawzajem. Siedziałem w jednym pokoju z kol. Andrzejem Brochockim, który później przejął tematykę czyszczenia strefowego i skonstruował doskonalszą aparaturę. Dzięki temu z dnia na dzień mogłem bardziej zagospodarować swój warsztat pracy. Różne części lub elementarne wyposażenie pomiarowe dostawałem albo wypożyczałem od innych. Moim zapleczem były różne pracownie znajdujące się w budynku Radiotechniki P.W., z warsztatem mechanicznym włącznie.

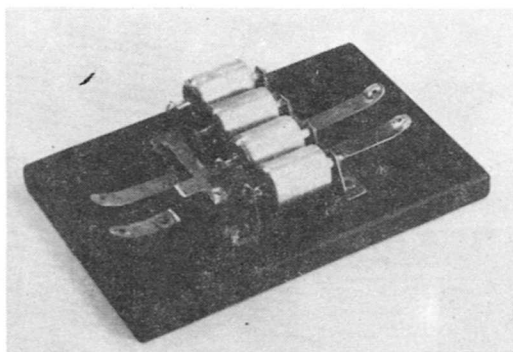
Pamiętam, że podstawowym problemem przy konstruowaniu aparatury był "problem śrubki". Aby skompletować nowy zestaw aparatury, często odkręcało się śrubki od innej, potrzebnej aparatury. Postanowiłem włączyć się do akcji zdobywania śrubek. W tym celu przekonałem mojego Ojca, aby przekazał z wojska dla Politechniki jakiś niemiecki zdobyczny sprzęt łączności, w którym byłoby dużo śrubek. W rezultacie, pan adiunkt Porządkowski odebrał oficjalnie całą ciężarówkę różnego sprzętu łącznościowe-



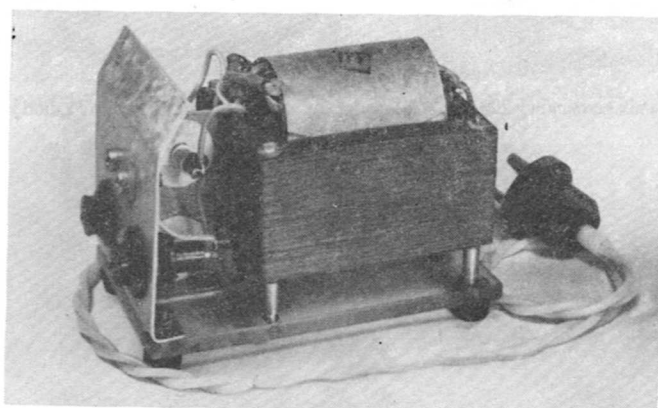
Rys. 1. Pierwsze stanowisko próżniowe, gdzie wytwarzano struktury pierwszych diod germanowych (a) oraz aparatura pomiarowa (b), z której korzystali m. in. autor (z lewej) i kol. A. Kobus



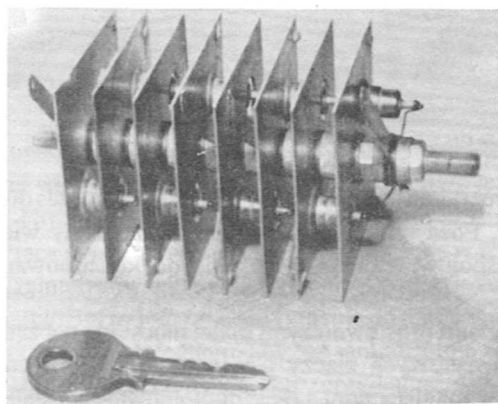
Rys. 2. Pierwsze prostownicze diody germanowe o prądzie wyprostowanym 1 A



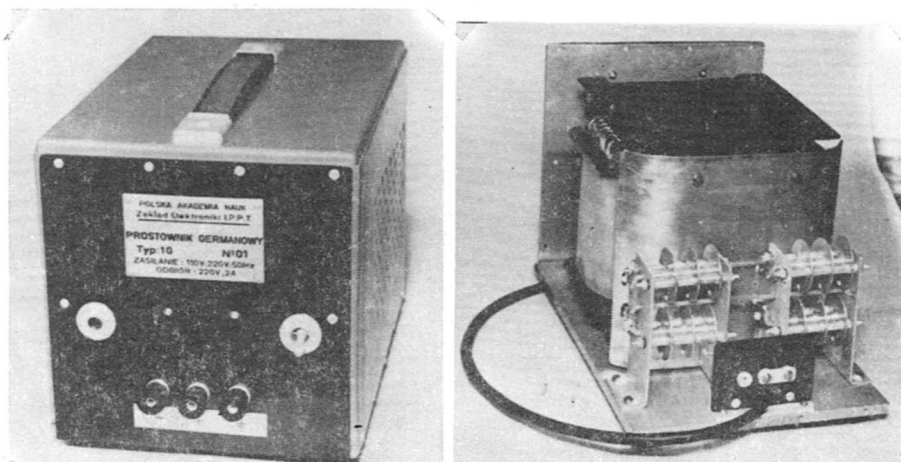
Rys. 3. Prostownik germanowy 200 mA, 60 V



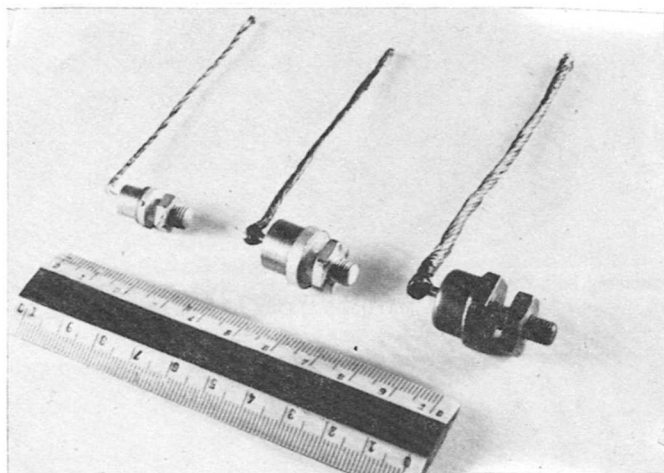
Rys. 4. Prostownik germanowy 2 A, 18 V



Rys. 5. Germanowy stos prostowniczy złożony z diod jak na rys. 3



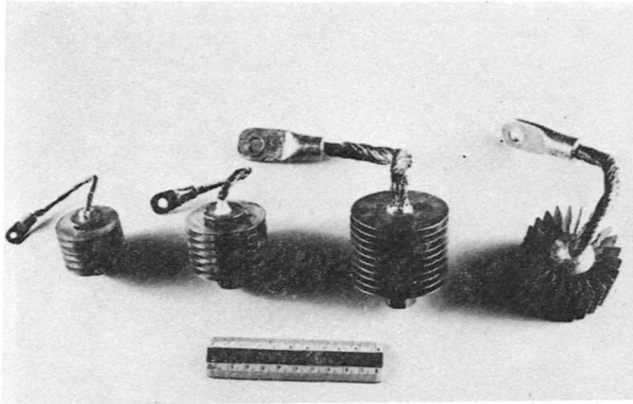
Rys. 6. Prostownik germanowy 220 V, 2 A (a), widoczny stos prostowniczy złożony z diod jak na rys. 3 (b)



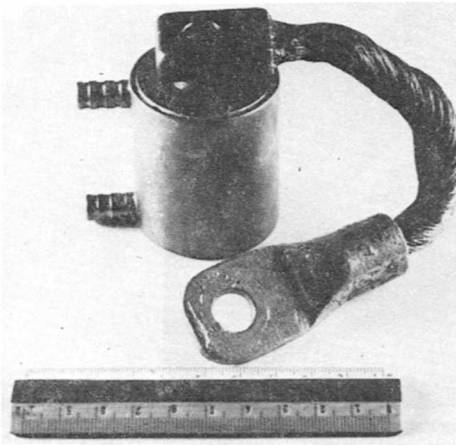
Rys. 7. Diody germanowe średniej mocy o prądzie wyprostowanym 2 A, 5 A, 10 A ($U_{BR} \leq 150$ V)

go z demobilu produkcji niemieckiej i amerykańskiej. Wszyscy mieliśmy wówczas dużą uciechę przy rozbieraniu tej aparatury. Poza dużą ilością śrubek uzyskaliśmy wiele mechanicznych i elektrycznych podzespołów, które przydały się do konstruowania naszej aparatury.

W 1955 r. rozpocząłem prace nad diodami prostowniczymi małej mocy. Na początku trzeba było opanować technologię germanowych złączy p-n, a następnie wykonać pierwsze diody. Było to tematem mojej magisterskiej pracy dyplomowej. Musiałem



Rys. 8. Diody germanowe dużej mocy o prądzie wyprostowanym 30 A, 50 A, 100 A ($U_{BR} \leq 150$ V)



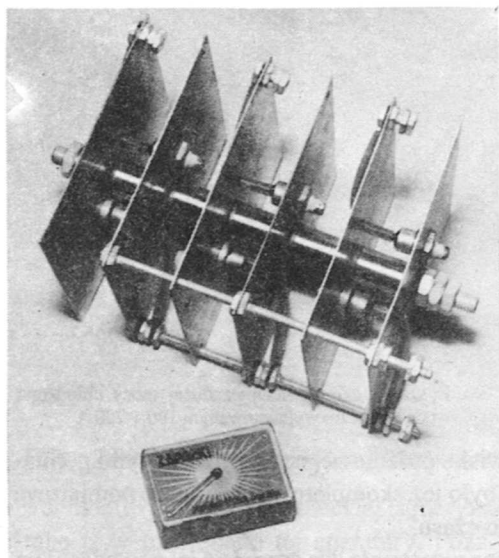
Rys. 9. Dioda germanowa dużej mocy chłodzona wodą o prądzie wyprostowanym 100 + 200 A

wykonać i odpowiednio wyposażać stanowisko próżniowe, na którym do płytki germanowej wtapiałem ind (rys. 1a) [3]. Trzeba było też skompletować aparaturę pomiarową (rys. 1b). Miałem bardzo dużo pracy i mało czasu.

Praca dyplomowa musiała być ukończona w terminie. Na szczęście jej powodzeniem byli zainteresowani również moi szefowie. Uzyskałem zgodę na przyjęcie do pomocy technika. Był to Jędrzej Gaul (pracuje do dziś). Bardzo się starał i pracował gorliwie. Raz nawet, gdy mu poleciłem, aby już samodzielnie wytwarzał struktury złączowe, wygrzał je o 100°C wyżej od temperatury optymalnej. Oczywiście, wynik tego eksperymentu był negatywny, ale on miał dobre chęci.

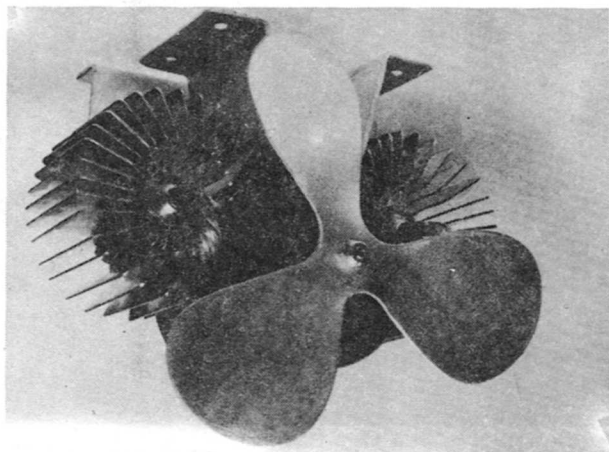


Rys. 10. Prof. J. Groszkowski pokazuje prof. T. Kotarbińskiemu, prezesowi PAN, germanowe diody mocy prezentowane na wystawie w 1958 r. (od prawej J. Klamka i J. Pultorak)

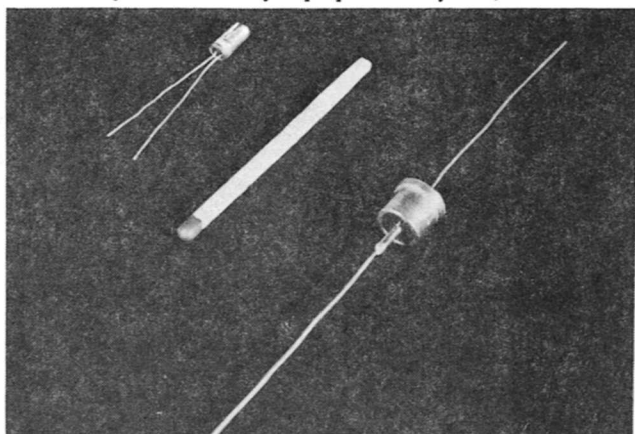


Rys. 11. Zespół diod germanowych 5 A w 3-fazowym układzie mostkowym

Do pracy nad konstrukcjami diod prostowniczych potrzebowałem mecha-
nika i precyzyjne oprzyrządowanie. Wkrótce znalazłem takiego technika.
Był to Tadeusz Katana, bardzo dobry specjalista, cierpliwy i pracowity. Stworzyłem
wreszcie podstawowy zespół. Od tej pory prace potoczyły się błyskawicznie.



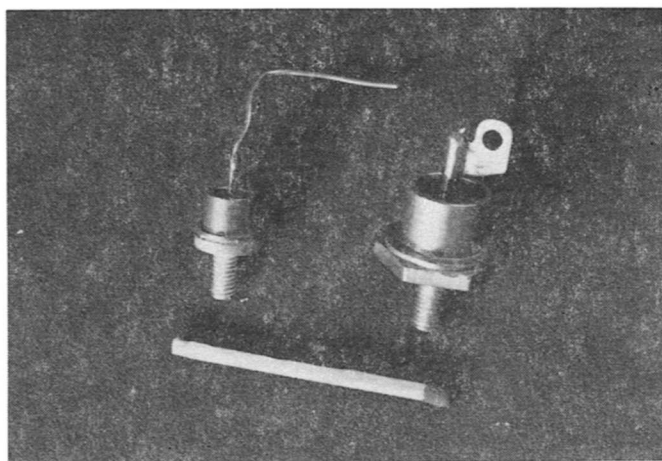
Rys. 12. Germanowy zespół prostowniczy 50 A, 18 V



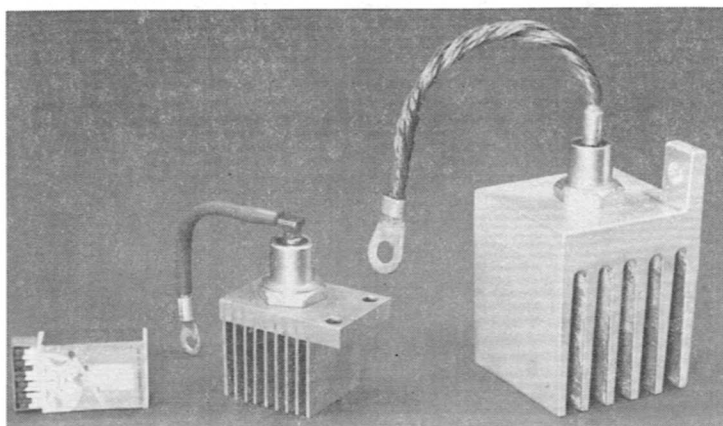
Rys. 13. Krzemowe diody prostownicze o prądzie wyprostowanym 0,1 A i 0,5 A

W krótkim czasie zakończyłem pracę dyplomową. Opracowałem pierwsze w kraju użyteczne diody prostownicze o prądzie wyprostowanym 1 A (rys. 2) [4 – 6]. Znalazły one zastosowanie u różnych użytkowników. Wytwarzaliśmy na zamówienie nie tylko diody, ale i stopy prostownicze oraz prostowniki w oparciu o ten typ diody (rys. 3–5). Pierwsze zamówienie uzyskałem z Zakładu Radiotechniki P.W. Wykonaliśmy prostownik (rys. 6), który zastąpił wielokrotnie większe urządzenie selenowe.

Po tym sukcesie przystąpiłem do opracowania germanowych diod o coraz większej mocy. Co kwartał powstawał nowy typ diody, o coraz większym prądzie wyprostowanym. W ten sposób w latach 1957 – 1958 powstały kolejno prototypy diod o prądzie



Rys. 14. Krzemowe diody prostownicze o prądzie wyprostowanym 2 A i 10 A ($U_{BR} \leq 2000$ V)



Rys. 15. Krzemowa dioda prostownicza mocy o prądzie wyprostowanym 60 A i 120 A ($U_{BR} \leq 2000$ V)

wyprostowanym 2 A, 5 A, 10 A, 30 A, 50 A, 100 A i 200 A (rys. 7–9). Diody małej i średniej mocy wymagały przykręcenia do blachy chłodzącej. Diody dużej mocy były chłodzone powietrzem lub wodą [7 – 11]. Były to przyrządy będące odpowiednikami podobnych diod wytwarzanych na zachodzie. Profesor Groszkowski był zadowolony z postępu moich prac i popularyzował je (rys. 10). Wkrótce miałem coraz więcej odbiorców moich diod. W ramach zorganizowanego w Zakładzie "gospodarstwa pomocniczego" uruchomiłem ich produkcję. Na zamówienie wytwarzaliśmy też zestawy prostownicze (rys. 11, 12). Do najpoważniejszych odbiorców należała armia oraz górnictwo. Dla wojska wyproduko-

waliśmy zestaw diod 100 A dla polowej stacji prostowniczej, wykonanej w Ośrodku Badawczym Sprzętu Łączności w Zegrzu. Zastąpiła ona dużą i ciężką stację prostowników selenowych. Dla górnictwa dostarczyłem serię podobnych diod. Prostownik do zasilania kolejki w kopalni węgla "Bolesław Śmiały" opracował i wykonał Instytut Elektrotechniki w Zalesiu k. Warszawy. Prostownik ten (75 kW, 250 V, 300 A), o nowoczesnej konstrukcji i małych wymiarach, zastąpił dużą stację prostowników rtęciowych [12].

W międzyczasie, pod wpływem zapotrzebowania z informatyki, podjąłem się opracowania jeszcze jednego przyrządu germanowego, a mianowicie fotodiody. Pierwszy zestaw takich fotodiod wykorzystano w 1958 r. w czynnikiach fotoelektrycznych [13].

Konstrukcja i technologia przyrządów półprzewodnikowych stała się moją pasją i jest nią do dziś. Z chwilą ukończenia opracowania całej rodziny diod prostowniczych i wdrożenia ich do laboratoryjnej produkcji przystąpiłem do opracowania konstrukcji i technologii podobnej serii diod w oparciu o krzem. Z doniesień literatury zagranicznej wynikało, że jest to obiecujący i przyszłościowy półprzewodnik. Moje diody prostownicze wykonane z krzemu mogły mieć wielokrotnie większe napięcie przebicia, a charakterystyki statyczne mogły być doskonalsze i bardziej odporne na wpływ temperatury.

W 1958 r. przystąpiłem więc do pracy nad diodami krzemowymi. Mając już zwiększony zespół o dwóch techników (Jerzego Gruberskiego i Andrzeja Siedleckiego), rozszerzyłem "front pracy" zarówno w części badawczej, jak i produkcyjnej. Zakupiłem stanowisko próżniowe, w którym wytwarzałem złącza p-n (Al-Si), oraz zamówiłem charakterograf umożliwiający pomiar charakterystyk $I = f(U)$ do 2000 V, który zrobili nasi koledzy w Zakładzie. Wzmocniony mój warsztat podręczny wytwarzał obudowy i oprzyrządowania. Prace przebiegały szybko, tym bardziej, że wdrażane do produkcji diody przynosiły nam dodatkowe zarobki. Pensje nasze w stosunku do pensji kolegów pracujących w przemyśle były bowiem 2 – 3 razy mniejsze. Moim obowiązkiem było więc zadbać o stronę materialną zespołu, który pracował bardzo dobrze i z inicjatywą. Dbałem (tak jak i dziś), aby w zespole panowała dobra, przyjacielska atmosfera. To wszystko sprawiło, że wiele osób chciało u nas pracować.

Pierwsze diody krzemowe małej mocy opracowałem i wykonałem w 1959 r. (rys. 13) [14]. Pracując nad technologią coraz większych złączy p-n, a także kontaktów omowych o dobrych właściwościach elektrycznych, mechanicznych i cieplnych, opracowałem konstrukcje następnych diod o coraz większym prądzie wyprostowanym. I tak kolejno w latach 1958 – 1959 narodziły się diody o prądzie wyprostowanym 2 A, 5 A, 10 A, 60 A, 120 A, o co najmniej 6 razy większym U_{BR} niż w diodach germanowych (rys. 14, 15). Diody o obciążalności 60 A i 120 A ($U_{BR} = 1800$ V) wymagały zastosowania specjalnych radiatorów, gdyż były chłodzone powietrzem. Udało mi się uzyskać w nich bardzo dużą

gęstość prądu i największą gęstość mocy w zastosowanej konstrukcji w porównaniu z innymi diodami zagranicznymi.

Wszystkie krzemowe diody mocy, które opracowałem, były wytwarzane w ramach produkcji laboratoryjnej. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, w którego strukturze nadal znajdował się nasz Zakład Elektroniki, zorganizował Zakład Konstrukcji Prototypów (odpowiednik gospodarstwa pomocniczego), gdzie ja i inni koledzy prowadziliśmy produkcję własnych wyrobów.

W celu spopularyzowania wiedzy o diodach prostowniczych z Ge i Si wśród inżynierów i studentów napisałem w 1959 r. na ten temat książkę wydaną rok później [16]. Przedstawiłem w niej zarówno swoje, jak i zagraniczne osiągnięcia. Była to pierwsza w języku polskim książka o diodach półprzewodnikowych.

W 1959 r. zakończyłem prace badawcze w dziedzinie diod prostowniczych, choć ich produkcja trwała jeszcze kilka lat, do czasu uruchomienia produkcji masowej w kraju. Z prof. Rosińskim, ówczesnym kierownikiem Zakładu Elektroniki, próbowaliśmy wdrożyć diody do produkcji w Fabryce "Pewa". Nasze starania zakończyły się niepowodzeniem. Kierownictwo fabryki powiedziało nam, że wolą licencję radziecką na diody i nie brać odpowiedzialności w razie kłopotów z produkcją diod polskich.

Moje osiągnięcia w dziedzinie pierwszych polskich krzemowych diod prostowniczych przedstawiłem w podsumowujących publikacjach dzięki namowowi prof. Rosińskiego [16 – 18]. Napisałem je później dopiero po zrobieniu doktoratu z dziedziny mikrofal, ponieważ w 1959 r. podjąłem już prace w dziedzinie przyrządów mikrofalowych i nie miałem czasu na opracowanie wyników dotyczących krzemowych diod mocy.

W owym czasie "z marszu", wykorzystując swoje doświadczenie, opracowałem kilka typów diod Zenera. Bazowały one na technologii złączy diod krzemowych małej mocy (rys. 13). W ramach ZKP utworzyłem specjalny zespół produkcyjny, który produkował wiele tysięcy takich diod w skali rocznej.

Tak upłynęło pierwszych 5 lat mojej pracy zawodowej. Były to bardzo trudne lata. Upraszczając, można by powiedzieć, że trzeba było wówczas robić coś z niczego. Największą satysfakcję sprawiał mi fakt, że opracowane przeze mnie różne diody złączowe, głównie prostownicze, zawsze znajdowały zastosowanie.

Literatura

1. MAJEWSKI Z., KLAMKA J.: *Lokalne trawienie elektrolityczne germanu*. Arch. Elektrot. 1955 t. 4 z. 9 s. 379–391.
2. MAJEWSKI Z., BROCHOCKI A., KLAMKA J.: *Wpływ oczyszczania strefowego germanu na napięcie wsteczne układu stykowego german-wolfram*. Arch. Elektrot. 1955 t. 4 z. 2 s. 394–396.

3. BROCHOCKI A., KLAMKA J., MAJEWSKI Z.: *Otrzymywanie złącz warstwowych german-ind o właściwościach prostowniczych*. Arch. Elektrot. 1955 t. 4 z. 2 s. 396-397.
4. MAJEWSKI Z., KLAMKA J.: *Prostowniki germanowe*. Prz. Telekom. 1956 vol. 29/23 z. 11 s. 330-333.
5. KLAMKA J.: *Technologia złącz p-n*. Elektronika 1957 vol. 3 z. 10-11 s. 9-19.
6. KLAMKA J.: *Germanowe diody mocy*. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Elektryka 1957 nr 15 s. 57-77.
7. KLAMKA J.: *Konstrukcje oraz właściwości elektryczne germanowych diod warstwowych*. Elektronika 1958 vol. 4 s. 47-61.
8. KLAMKA J.: *Germanowe diody warstwowe*. Prz. Telekom. 1958 vol. 3 s. 79-81.
9. KLAMKA J.: *Diody germanowe wielkiej mocy*. Arch. Elektrot. 1959 t. 8 z. 2 s. 351-352.
10. KLAMKA J.: *Diody germanowe dużej mocy i ich zastosowania*. Prz. Elektron. 1960 vol. 36 z. 2 s. 65-68.
11. KLAMKA J., KOBUS A.: *Wpływ obróbki powierzchniowej germanu na własności złącza p-n*. Prz. Elektron. 1960 vol. 1 z. 2 s. 183-186.
12. JANUSZEWSKI J., KLAMKA J.: *Pierwsze polskie germanowe diody mocy i ich rola w rozwoju krajowych urządzeń energoelektrycznych*. Elektronika 1991 nr 2 s. 13-15.
13. KLAMKA J.: *Fotodiody germanowe*. Prz. Telekom. 1958 vol. 6 s. 180-181.
14. KLAMKA J.: *Krzemowa dioda warstwowa Al-Si*. Arch. Elektrot. 1959 t. 8 z. 2 s. 350-351.
15. KLAMKA J.: *Diody krzemowe*. Prz. Elektron. 1960 vol. 4 nr 4 s. 408-413.
16. KLAMKA J.: *Diody germanowe i krzemowe*. Warszawa: WNT 1969.
17. KLAMKA J.: *Diody krzemowe ze stopowymi złączami p-n*. Arch. Elektrot. 1964 t. 13 z. 2 s. 481-482.
18. KLAMKA J.: *Diody krzemowe dla potrzeb energetyki*. Prz. Elektrot. 1964 t. 40 z. 8 s. 367-368.
19. KLAMKA J.: *Diody krzemowe dużej mocy*. Rozprawy Elektrot. 1965 t. 11 z. 4 s. 861-876.

Eugeniusz Kuźma
Zakład Podstawowych
Problemów Elektroniki ITE
Warszawa

TERMISTORY – PIERWSZE LATA . WSPOMNIENIA

(Rękopis otrzymano 23 listopada 1992)

Wielce zasłużona dla termistorów mgr Barbara Schmidt, organizator Pracowni Termistorów i długoletni jej kierownik, opowiadała nam o następującym wydarzeniu. Wiosną 1954 r. w Głównym Urzędzie Miar i Wag odbywało się posiedzenie Sekcji Pomiarów Temperatury. Dyskutowano tam o przydatności, zaletach i wadach platynowych czujników rezystorowych. W czasie dyskusji pani Schmidt zapytała, czemu do pomiaru temperatury nie stosuje się termistorów, które przecież mają większy o przeszło rząd wartości temperaturowy współczynnik rezystancji. Wtedy jeden z uczestników posiedzenia wypowiedział charakterystyczne słowa: "Ja nie wierzę!". Taki był początek wdrażania do produkcji termistorów – od sceptycyzmu do masowych zastosowań.

Los sprawił, że z tematyką termistorową związałem całe moje życie zawodowe i naukowe. W tematyce tej, poza krótkimi okresami, w których zajmowałem się badaniem szumów i niezawodnością przyrządów półprzewodnikowych, pracowałem od chwili rozpoczęcia w kraju badań w tej dziedzinie, tj. od jesieni 1952 r., i pracuję do chwili obecnej.

W początkowym okresie działalności Pracowni Termistorów jej obsadę naukowo-badawczą stanowiły trzy osoby: fizycy – mgr Barbara Schmidt i mgr Kazimierz Mikke oraz inżynier chemik – mgr Zdzisław Sołtys. Ta trójka już we wrześniu 1953 r. na konferencji "Procesy Elektronowe w Ciele Stałym" w Poznaniu wygłosiła komunikat "Współczynnik temperaturowy oporności półprzewodników tlenkowych...", w którym zostały przedstawione pierwsze krajowe osiągnięcia w tej dziedzinie.

Po kilku miesiącach współpracy panowie Mikke i Sołtys odeszli do innej pracy. W Pracowni Termistorów pozostała tylko mgr B. Schmidt i dwoje pracowników pomocniczych: technik Aleksandra Androsiuk i ja – radiotechnik, student I roku Wydziału Łączności PW. Po dwóch latach dołączyli do nas: technik Czesław Kuźma, także student Wydziału Łączności, oraz absolwent Wydziału Chemii PW – mgr Jan Bekisz.

Dzięki niesamowitej energii i aktywności mgr B. Schmidt już w ciągu pierwszych dwóch lat została odtworzona i opanowana technologia prawie wszystkich istniejących wtedy na świecie termistorów. Były to m.in. termistory płytkowe ZE1 (skrót od:

Zakład Elektroniki), perełkowe ZE5, bagietkowe ZE3, próżniowe ZE7, do pomiaru mocy w.cz. ZE6 oraz próżniowe ogrzewane ZE8. Należy tu podkreślić wielką rolę pracowników z Politechniki Warszawskiej – szklarza aparaturowego Kazimierza Potyry, mechanika precyzyjnego Stanisława Ostaszewskiego oraz chemika, mgra Jerzego Rabego. Dzięki ich umiejętnościom, doświadczeniu i okazanej pomocy udało się nam tak szybko opanować skomplikowane bądź co bądź zagadnienia konstrukcyjne i technologiczne.

Godną podkreślenia była opieka naszego nauczyciela, nestora radiotechniki i elektroniki – prof. Janusza Groszkowskiego. Miał on w zwyczaju, o ile mu tylko czas pozwalał, codziennie rano obchodzić wszystkie pracownie. Starał się zamienić z każdym chociaż kilka słów. Zwłaszcza w pierwszych latach działalności Zakładu Elektroniki był na bieżąco we wszystkich pracach. Doradzał, dodawał otuchy i wzbudzał entuzjazm pracy. To dzięki jego osobistej interwencji termistory zostały objęte Zespołową Nagrodą Państwową I Stopnia, przyznaną w 1955 r. za osiągnięcia w dziedzinie elektroniki.

Równoległe z pracami technologiczno-konstrukcyjnymi prowadziliśmy badania nad miernictwem termistorów i możliwościami aplikacji. Zostały wtedy opracowane specjalistyczne przyrządy pomiarowe takie, jak urządzenie do pomiaru cieplnej stałej czasowej termistora, urządzenie do pomiaru współczynnika strat, charakterograf termistorowy i inne.

Z dziedziny zastosowań najwięcej uwagi poświęcaliśmy termometrii termistorowej. Właśnie moja praca magisterska, obroniona w listopadzie 1957 r., dotyczyła wykonania termometru termistorowego o dokładności pomiaru $0,01^{\circ}\text{C}$. W tym miejscu chciałbym podkreślić niekonwencjonalny, antybiurokratyczny sposób podejścia opiekuna pracy prof. Groszkowskiego. Gdy pełen obawy i strachu wraz z mgr Schmidtem przedłożyłem mu rękopis mojej pracy magisterskiej, profesor po natychmiastowym jej przejrzeniu zdecydował: szkoda czasu na przepisywanie na maszynie, za cztery dni robimy egzamin. I w ten sposób uzyskałem stopień magistra inżyniera i to, nie mogę tu się nie pochwalić, pierwszy na swoim roku studiów.

Wielkim impulsem dla dalszej działalności i rozwoju Pracowni Termistorów było opracowanie oryginalnych nowych tworzyw termistorowych. Posłużyły temu wyniki pierwszych technologicznych prac magisterskich: Ewy Markowskiej – opracowanie technologii termistora do pomiaru temperatur w zakresie $700 \div 1200^{\circ}\text{C}$ i C. Kuźmy – właściwości termistorowe spieków manganu i kobaltu oraz rozprawy doktorskiej J. Bekisza – przewodnictwo elektryczne spineli w układzie kobalt-mangan-glin. Na szczególne wyróżnienie zasługują wyniki uzyskane przez C. Kuźmę. Ta obszerna praca, z której – jak powiedział na egzaminie prof. Bohdan Paszkowski – można by wykroić z pięć prac magisterskich, stała się m.in. przyczynkiem do opracowania i wdrożenia manganowo-kobaltowego tworzywa J_{1,4} o nadzwyczaj niskim poziomie szumów, zastosowanego później w krajowych termistorowych detektorach podczerwieni.

Z upływem lat rosło zapotrzebowanie na termistory i urządzenia z termistorami. W ramach gospodarstw pomocniczych wytwarzano corocznie od kilku do kilkunastu tysięcy termometrów termistorowych i innych urządzeń z termistorami.

Największym osiągnięciem Pracowni Termistorów było uruchomienie w 1970 r. wielkoseryjnej produkcji przemysłowej termistorów w Zakładzie Produkcji Termistorów w Łęcznej k/Lublina. Szczególne zasługi w uruchomieniu tej produkcji położyli dr J. Bekisz, który adaptował dla potrzeb termistorów pewne fragmenty technologii przemysłowej w Zakładach Ceramiki Radiowej, i mgr C. Kuźma, który ponad rok był kierownikiem technicznym Zakładu. W zakładzie tym, w okresie największego rozwoju elektroniki w kraju (lata 75), produkowano około 4 mln szt. termistorów rocznie, co stanowiło ponad 90% zapotrzebowania krajowego. Należy tu podkreślić tzw. czystość technologiczną produkcji. Termistory były i są wytwarzane wg oryginalnej technologii opartej na polskich patentach oraz na krajowych urządzeniach i materiałach.

Tematyka termistorowa nigdy nie stała się tematyką preferowaną. Wyposażenie pracowni było i jest archaiczne i odbiega poziomem od wyposażenia takich działów jak np. optoelektronika i mikrofałe. Pracownia oparła się kilkakrotnym próbom jej likwidacji bądź przeniesienia do innych ośrodków. Jednak pomimo tych trudności sądzę, że dzięki zaangażowaniu i nieustępliwości zespołu osiągnięto bardzo wiele. Patrząc wstecz na naszą działalność odczuwam głęboką satysfakcję.

Satysfakcję tę na pewno odczuwa będąca od kilkunastu lat na emeryturze sędziwa pani Barbara Schmidt. Satysfakcję tę na pewno odczuwaliby zmarli przedwcześnie członkowie zespołu: Aleksandra Androsiuk, Lech Kozłowski i Czesław Kuźma.

Najdawniejsze publikacje i patenty

1. MIKKE K., SCHMIDT B., SOŁTYS Z.: *Współczynnik oporowy oporności półprzewodników tlenkowych typu NiO-MnO₂-CuO*. Konf. robocza "Procesy elektronowe w ciele stałym". Poznań 28 IX 1953.
2. SCHMIDT B., KUŹMA E.: *Termistory krajowe i ich zastosowanie do pomiaru temperatury*. Pomiary, Automatyka, Kontrola 1956 t. 2 z. 2 s. 45.
3. SCHMIDT B.: *Parametry termistorów miniaturowych*. I Krajowa Narada Elektroniki, Warszawa listopad 1958.
4. KUŹMA E.: *Pomiary temperatury za pomocą termistora w układzie niezerównoważonego mostka Wheatstone'a*. Arch. Elektrot. 1958 t. 7 z. 3 s. 511.
5. KUŹMA E.: *Pomiar stałej czasu termistora*. Arch. Elektrot. 1959 t. 8 z. 1 s. 201.
6. KUŹMA E.: *Badanie rzeczywistego przebiegu oporności w funkcji temperatury dla termistorów krajowych*. Prz. Elektr. 1960 t. 1 z. 3 s. 322.
7. KUŹMA E.: *Badanie stabilności termistorów krajowych*. Prz. Elektr. 1960 t. 1 z. 1 s. 74.
8. KUŹMA C., KUŹMA E.: *Niezerównoważony mostek Wheatstone'a z podwójnym czujnikiem mierniczym*. Pomiary, Automatyka, Kontrola 1961 t. 7 z. 12 s. 481.
9. KUŹMA E.: *Wytwarzanie autooscylacji za pomocą termistorów*. Arch. Elektrot. 1961 t. 10 z. 1 s. 201.

10. SCHMIDT B., KUŹMA C.: *Automatyczne zdejmowanie charakterystyk napięciowo-prądowych termistora*. Arch. Elektrot. 1961 t. 10 z. 2 s. 598.
11. KUŹMA E.: *New method of determining the value thermal time constant of a thermistor*. Bull. Acad. Pol. Sc. Ser. Techn. 1962 t. 10 z. 10 s. 41.
12. MARKOWSKA E., RABE J.: *Wstępne badania nad opracowaniem technologii termistora do pomiaru temperatur w zakresie 70–1200°C*. Prz. Elektr. 1962 t. 3 z. 10 s. 585.
13. BEKISZ J.: *Sposób wytwarzania bardzo cienkich elementów ceramicznych grubości poniżej 100 μm*. Patent PRL nr 49004, 1969.
14. KUŹMA C.: *O wpływie obróbki termicznej na właściwości termistorowe spieków tlenków kobaltu i manganu oraz kobaltu i niklu*. Prz. Elektr. 1963 t. 4 z. 12 s. 702.
15. KUŹMA C.: *Neuravnovesenyyj most Uistona z drojnym termistornym izmeritelnym elementom*. Sbornik Materialov VII Konf. ETAN. Belgrad 1963 s. 49.
16. KUŹMA E.: *Wstępne wyniki pomiaru szumów termistorów krajowych*. Arch. Elektrot. 1963 t. 12 z. 2 s. 455.
17. KUŹMA C.: *Sposób wytwarzania termistorowych kobaltowo-manganowych elementów*. Patent PRL nr 48183, 1964.
18. KUŹMA E., SCHMIDT B., BEKISZ J.: *Wstępne pomiary parametrów termistorowych detektorów podczerwieni*. Arch. Elektrot. 1964 t. 13 z. 3 s. 72.
19. SCHMIDT B., KUŹMA E.: *A termisztor*. Müszaki Könyvkiado, Budapest 1964 s. 226.

Jerzy Pułtorak
Instytut Technologii Elektronowej
Warszawa

PIERWSZE LATA ELEKTRONIKI PÓLPRZEWODNIKOWEJ W POLSCE. TRANZYSTORY OSTRZOWE

(Rękopis otrzymano 18 maja 1992)

Instytut Technologii Elektronowej powstał w 1966 r., ale tematyka prowadzonych w nim prac została zapoczątkowana już na jesieni 1952 r. w ówczesnym Zakładzie Elektroniki Polskiej Akademii Nauk, zorganizowanym i przez wiele lat kierowanym przez prof. Janusza Groszkowskiego.

Czterdzieści lat temu, kończąc na moim roku (na Wydziale Łączności Politechniki Warszawskiej) wykłady z lamp elektronowych, prof. Groszkowski wspominał o odkryciu przez uczonych amerykańskich nowego, niepróżniowego przyrządu elektronowego o własnościach wzmacniających. Dowiedzieliśmy się wówczas, że jest to przyrząd trójelektrodowy, w którym jedną z elektrod stanowi kryształek germanu z odprowadzeniem, pozostałymi zaś są ustawione na nim w odpowiedniej odległości dwa ostrza metalowe. Przyrząd ten nazwano tranzystorem¹. Jakkolwiek była to ciekawa informacja, to nie przypuszczałem wówczas, że już wkrótce rozpocznę pracę zawodową i naukową, która będzie związana właśnie z tranzystorem i innymi przyrządami półprzewodnikowymi.

Na studiach najbardziej interesowały mnie zagadnienia konstrukcji i technologii lamp elektronowych, do czego w sposób zdecydowany przyczyniły się zarówno wspomniane wcześniej wykłady prof. Groszkowskiego, jak i wykłady prof. (wówczas jeszcze mgra inż.) Bohdana Paszkowskiego z technologii materiałów lampowych. Z tych powodów jako kierunek swojej specjalizacji wybrałem elektronikę techniczną.

Trzy lata studiów inżynierskich szybko minęły i w październiku 1953 r. rozpocząłem semestr dyplomowy. Zostałem skierowany do zespołu prof. (wówczas jeszcze

¹Pierwsze, zamieszczone w literaturze fachowej doniesienie na temat tranzystora ostrzowego nosi datę 25 czerwca 1948 r. [1], ale z późniejszych publikacji, np. [2], wynika, że tranzystor wynaleziono znacznie wcześniej. Przyjmuje się, że miało to miejsce w dniu 23 grudnia 1947 r., taką bowiem datę odnotował w swoim notatniku laboratoryjnym W.H. Brattain opisując pokaz pracy pierwszego modelu tranzystora ostrzowego w układzie wzmacniacza akustycznego.

mgra inż.) Witolda Rosińskiego w Zakładzie Elektroniki PAN, gdzie otrzymałem zadanie zbadania wpływu elektrycznego formowania elektrod na podstawowe parametry germanowego tranzystora ostrzowego.

W tym czasie Zakład Elektroniki PAN istniał już od ponad roku, powołany uchwałą Prezydium PAN 4 lipca 1952 r. na wniosek Sekretariatu Naukowego PAN, w którym czytamy m.in.: "Badania poszczególnych pracowni Zakładu dotyczyć będą zjawisk przepływu prądu w próżni, gazach, półprzewodnikach, dielektrykach i metalach [...]. Wyniki prac Zakładu umożliwią wprowadzenie do przemysłu nowych elementów opartych na zastosowaniach tych zjawisk, jak lampy elektronowe półprzewodnikowe [...]". Jak widać, nazwa *tranzystor* nie była wówczas w Polsce na tyle popularna, aby znaleźć swoje miejsce w tym wniosku.

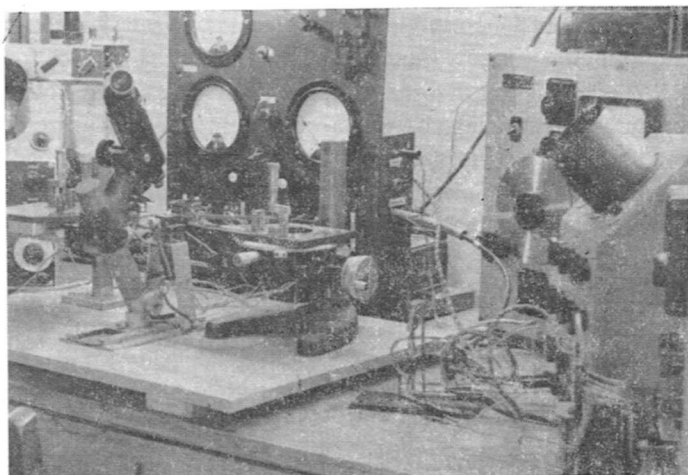
Zakład Elektroniki rozpoczął swoją działalność 1 września 1952 r. W ciągu roku miał już znaczne osiągnięcia, które zostały przedstawione na konferencji roboczej "Procesy elektronowe w ciele stałym" w Poznaniu 28 września 1953 r. [3 – 10].

Następnym ważnym dokumentem dotyczącym Zakładu Elektroniki PAN jest Uchwała nr 693/53 Prezydium Rządu z dnia 24 września 1953 r., zatwierdzająca Uchwałę nr 87 Prezydium PAN z dnia 9 grudnia 1952 r. w sprawie powołania Instytutu Podstawowych Problemów Techniki jako samodzielnej placówki naukowej Polskiej Akademii Nauk i nadania mu statutu. W paragrafie 21 tego statutu, stanowiącego załącznik do uchwały Prezydium PAN, wymieniony jest Zakład Elektroniki jako jeden z siedmiu zakładów wchodzących w skład IPPT. Wymienione jest też nazwisko prof. Groszkowskiego, członka rzeczywistego PAN, jako jednego z czterech zastępców dyrektora IPPT, a jednocześnie kierownika Zakładu Elektroniki.

Zakład Elektroniki wszedł w skład Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w listopadzie 1953 r. [11].

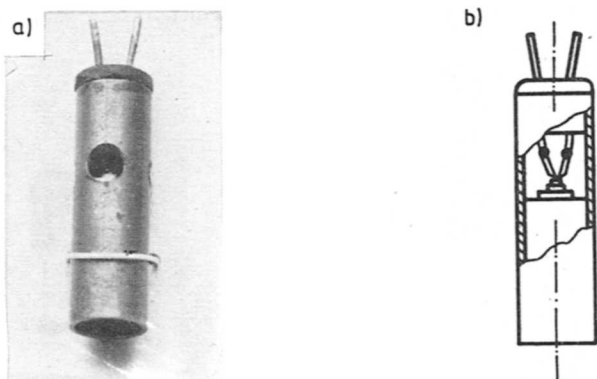
Zajęty pracą dyplomową nie odnotowałem tego wydarzenia w swojej pamięci i śmiem sądzić, że pozostali dyplomanci, a było nas kilku (m.in. pracujący w Instytucie Technologii Elektronowej profesorowie Jerzy Klamka i Edward Stolarski), też nie zainteresowali się tym wydarzeniem w stopniu odpowiadającym jego wadze.

Do przeprowadzenia badań określonych tematem mojej pracy dyplomowej konieczne było zbudowanie mikromanipulatora – urządzenia umożliwiającego precyzyjne ustawianie ostrzy emitera i kolektora na powierzchni płytki germanowej. Wykorzystałem do tego celu stoliki mikroskopów pomiarowych, pozwalające na precyzyjne przesuw w płaszczyźnie poziomej, na których zostały zamocowane dźwignie regulowane za pomocą śrub mikrometrycznych, zapewniające precyzyjny pionowy przesuw ostrzy (rys. 1). Gruba płyta stalowa, do której przymocowane były opisane mechanizmy, redukowałą do minimum drgania mechaniczne i przypadkowe przesuw ostrzy w czasie pomiarów. Precyzyjne wykonanie detali tego urządzenia zawdzięczałem świetnemu mechanikowi, Leonardowi Pogorzałkowi, wieloletniemu pracownikowi prof. Groszkowskiego, jeszcze sprzed II wojny światowej.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe z mikromanipulatorem do badań efektu tranzystorowego

W czasie, gdy ja wykonywałem swoją pracę dyplomową, prof. Witold Rosiński kontynuował prace nad modelem pierwszego w Polsce doświadczalnego tranzystora ostrzowego. Tranzystor ten (rys. 2) był wykonany w postaci rurki miedzianej o długości 40 mm i średnicy 12 mm, w której z jednej strony znajdował się rdzeń z mosiężnego wałka z przylutowanym kryształkiem germanu, z drugiej zaś zatyczka z turbaksu z dwoma przepustami miedzianymi, do których przylutowane były ostrza z fosforobrazu. Po przysunięciu rdzenia do styku ostrzy z germanem tranzystor poddawano procesowi stabilizacji, polegającemu na kilkakrotnym wygrzaniu go do temperatury około 65°C



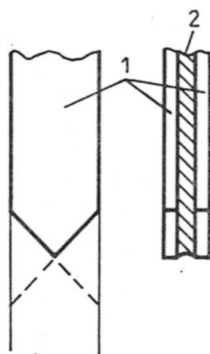
Rys. 2. Germanowy tranzystor ostrzowy wykonany w Zakładzie Elektroniki PAN w 1953 r.: a) widok zewnętrzny, b) konstrukcja wewnątrz obudowy

i powolnym ochłodzeniu do temperatury pokojowej [9]. Później stabilizacji charakterystyk germanowych tranzystorów ostrzowych dokonywano za pomocą formowania elektrycznego [12, 13], polegającego na przepuszczeniu przez styki kolektora i emitera impulsów prądu o krótkich czasach trwania, co dawało znacznie lepsze wyniki.

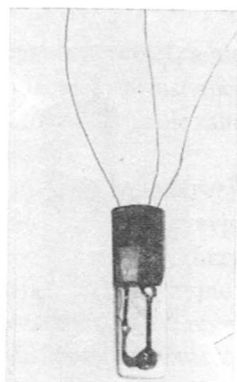
Dysponując takimi tranzystorami, prof. Rosiński skonstruował radioodbiornik pracujący na falach długich. Był to pierwszy eksperymentalny radioodbiornik tranzystorowy w Polsce. Niestety, nie przetrwał on do obecnych czasów.

Prof. Groszkowski żywo interesował się naszymi pracami i często nas odwiedzał, aby zorientować się w postępach badań i przedyskutować wszystkie nurtujące nas problemy. Często podsuwał nam różne pomysły. Jeden z nich znalazł wkrótce zastosowanie w nowym sposobie przygotowywania ostrzy emitera i kolektora [14], zapewniającym stałość wzajemnej odległości tych elektrod, co z kolei zapewniało uzyskanie bardzo małego rozrzutu parametrów elektrycznych tranzystorów, a także znakomicie ułatwiała ich montaż. Sposób ten polegał na sklejeniu ze sobą dwóch cienkich taśmek fosforobrazowych (np. taśmek stosowanych na sprężynki w przyrządach wychyłowych) za pomocą odpowiedniego kleju z zawiesiną cząstek izolacyjnych o małej i jednakowej średnicy ziaren, a następnie dwukrotnym obcięciu sklejonego zespołu (rys. 3). Dzięki temu już wkrótce powstał germanowy tranzystor ostrzowy o nowej konstrukcji [15], oznaczony symbolem TP-1, szczelnie zamykany w szklanej obudowie (rys. 4). Pierwszy egzemplarz tego tranzystora został wykonany już w grudniu 1953 r.

Po uzyskaniu dyplomu inżynierskiego na Wydziale Łączności Politechniki Warszawskiej w styczniu 1954 r. pozostałem w Zakładzie Elektroniki PAN i nadal pracowałem w zespole prof. Rosińskiego, biorąc udział w opracowywaniu kolejnych modeli tranzy-



Rys. 3. Sposób wykonywania ostrzy wg patentu prof. Groszkowskiego: 1 - taśmki fosforobrazowe, 2 - klej z zawiesiną cząstek izolacyjnych



Rys. 4. Germanowy tranzystor ostrzowy TP-1 (powiększenie: 1,5 x)

storów ostrzowych. W zespole tym pracowali także inż. Stanisław Dobrzyński i Witalis Rynkiewicz. Pierwszy z nich zajmował się montażem tranzystorów, drugi opracował bakelitową obudowę tranzystorów TP-2 i TP-3, a także skonstruował urządzenie do cięcia monokryształów germanu na płytki.

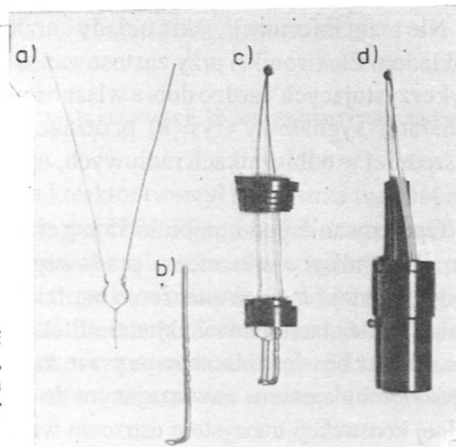
Tranzystor ostrzowy TP-3 w kolejnych fazach montażu przedstawiono na rys. 5. Różnica pomiędzy tym modelem tranzystora a nieco wcześniejszym modelem TP-2 była niewielka i polegała jedynie na sposobie zamykania tranzystora w obudowie. I tak tranzystory TP-2 były zamykane w obudowie, podobnie jak TP-1, przez zalanie żywicą epoksydową, a tranzystory TP-3 były wkręcane do obudowy dzięki dodatkowej części, pokazanej na rys. 5c, a jednocześnie uszczelniane odpowiednim klejem.

W stosunku do pierwszych, eksperymentalnych tranzystorów ostrzowych, tranzystory serii TP odznaczały się dużą trwałością, sięgającą kilku tysięcy godzin [15]. Na tych tranzystorach mgr inż. Stanisław Siekierski (obecnie docent na emeryturze) zbudował odbiornik radiowy odznaczający się wysokimi walorami akustycznymi.

Wykonanie przez zespół setnego tranzystora serii TP łączy się z bardzo miłym wspomnieniem. Z tej bowiem okazji prof. Groszkowski urządził dla nas w swoim gabinecie małe przyjęcie, gdzie przy lampce wina i pierniku domowej roboty spędziliśmy wieczór na miłej pogawędce. Przy innej okazji zostało wykonane w gabinecie profesora zdjęcie (rys. 6) pochodzące z 1954 r.

Następnym modelem germanowego tranzystora ostrzowego, opracowanym w 1955 r., był model TP-4 przedstawiony na rys. 7 [16, 17].

Tranzystory TP-4 montowano w istniejącej już oprawce tranzystorów TP-3 po niewielkiej przeróbce jednego z jej elementów. Montażu dokonywano na przedstawionym wcześniej mikromanipulatorze (rys. 1), co znacznie ułatwiało proces ich wytwarzania. Ostrza (widoczne na rys. 7) wykonywano z drutu fosforobrazowego i ostrzono elektrolitycznie. Po ustawieniu ich na kryształ, przylutowaniu do odprowadzeń, a następnie



Rys. 5. Germanowy tranzystor ostrzowy TP-3 – wielkość naturalna: a) ostrza fosforobrazowe z odprowadzeniami, b) trzymak miedziany z przylutowanym kryształkiem germanu, c) tranzystor przed zamknięciem, d) tranzystor po zamknięciu w obudowie



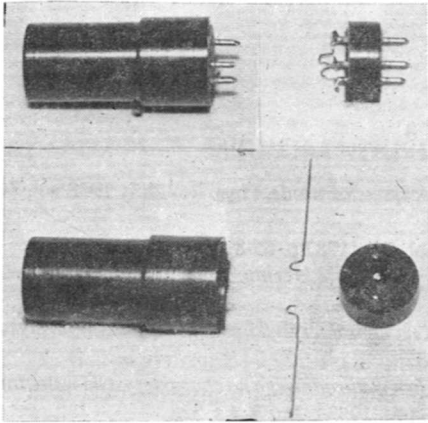
Rys. 6. Zespół pracowników Zakładu Elektroniki na seminarium w gabinecie prof. Groszkowskiego (stoi odwrócony tyłem). Siedzą (od lewej): Witold Rosiński, Barbara Schmidt, Zdzisław Majewski, Antoni Gajda, Andrzej Brochocki, Jerzy Pułtorak, Eugeniusz Kuźma, Bogdan Wierzbowicz, Stanisław Sikorski

po odcięciu zbędnych części, dokonywano elektrycznego formowania styków, a gotowy tranzystor zamykano szczelnie bakelitowym kołpakiem. Montażem tych tranzystorów zajmował się Bogdan Wierzbowicz.

Tranzystory TP-4 nie znalazły tak szerokiego zastosowania jak ich poprzednicy – tranzystory TP-2 i 3, bo w tym czasie zaczęły się już pojawiać w Polsce pierwsze germanowe tranzystory stopowe produkowane za granicą. Podjęto też w Zakładzie Elektroniki własne prace nad tymi tranzystorami [18].

Nie mam informacji, jakie układy i urządzenia zostały opracowane w Polsce (poza Zakładem Elektroniki) przy zastosowaniu tranzystorów serii TP. Jednym z urządzeń, wykorzystujących bardzo dobre własności generacyjne tranzystorów ostrzowych, był generator sygnałowy (rys. 8) przeznaczony do strojenia obwodów częstotliwości pośredniej w odbiornikach radiowych, opracowany przez mgr inż. Jerzego Szerszenia [16].

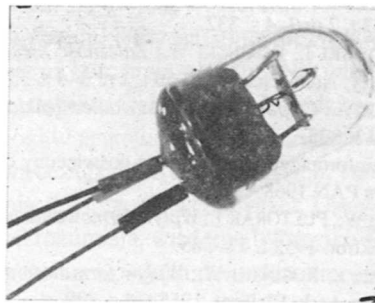
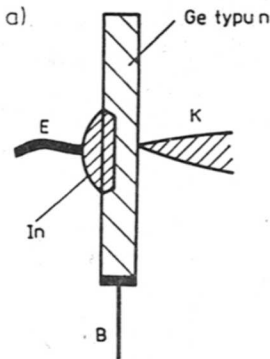
Opracowanie pod koniec 1955 r. germanowego tranzystora ostrzowego o dużym współczynniku wzmocnienia prądowego [19], stanowiące przedmiot mojej pracy magisterskiej i mające znaczenie bardziej naukowe niż praktyczne, zakończyło cykl badań prowadzonych w Zakładzie Elektroniki nad tranzystorami ostrzowymi. Rozpoczęto już bowiem intensywne prace nad stopowymi tranzystorami warstwowymi, a jedynym akcentem nawiązującym do minionego okresu było opracowanie oryginalnej konstrukcji tranzystora ostrzowo-warstwowego [20, 21]. Był to tranzystor (rys. 9),



Rys. 7. Germanowy tranzystor ostrzowy TP-4 (powiększenie: 1,5 x)



Rys. 8. Generator sygnałowy wykonany na jednym tranzystorze TP-4



Rys. 9. Germanowy tranzystor ostrzowo-warstwowy: a) zasada konstrukcji, b) gotowy tranzystor zamknięty w obudowie szklanej (powiększenie: 2 x)

którego emiter stanowiło stopowe złącze p-n, a kolektor tworzył styk ostrza fosforobrazowego z germanem typu n. W stosunku do poprzednio opisanych tranzystorów ostrzowych tranzystor ostrzowo-warstwowy odznaczał się znacznie większą wartością i stałością w funkcji prądu emitera współczynnika wzmocnienia prądowego i był znacznie trwalszy dzięki większej odporności na udary mechaniczne. Mimo tych zalet pozostał jedynie ciekawostką techniczną, nie mogąc konkurować z tranzystorami warstwowymi, których trwałość już wówczas szacowano na dziesiątki tysięcy godzin.

Skończyła się definitywnie epoka tranzystora ostrzowego i następował rozwój tranzystorów warstwowych, a już wkrótce miały się pojawić układy scalone, które całkowicie zrewolucjonizowały elektronikę.

Literatura

1. BARDEEN J., BRATTAIN W.H.: *The transistor, a semi-conductor triode*. Phys. Rev. July 1948 vol. 74 p. 230.
2. *The transistor ... The first 40 years ...* Solid St. Technol. Dec. 1987 p. 65-89.
3. PASZKOWSKI B., SOŁTYS Z., GAJDA A.: *O próżniowym wytopie krzemu*. Arch. Elektrot. 1953 t. 2 nr 3-4 s. 323.
4. MAJEWSKI Z., BROCHOCKI A.: *Wpływ nacisku styku na charakterystyki układu o punktowym styku krzem-wolfram*. Arch. Elektrot. 1953 t. 2 nr 3-4 s. 325.
5. MAJEWSKI Z.: *Wpływ temperatury otoczenia oraz obciążenia prądowego na charakterystyki wsteczne układu o punktowym styku krzem-wolfram*. Arch. Elektrot. 1953 t. 2 nr 3-4 s. 328.
6. GROSZKOWSKI J., ROSIŃSKI W.: *Nierównomierność powierzchni krzemu pod względem wydajności detekcji*. Arch. Elektrot. 1953 t. 2 nr 3-4 s. 330.
7. ROSIŃSKI W., LIPOWIECKI T.: *Metoda oscyloskopowa badania charakterystyki wstecznej diod krystalicznych*. Arch. Elektrot. 1953 t. 2 nr 3-4 s. 331.
8. ROSIŃSKI W.: *Porównanie właściwości detekcji stopnia tranzystorowego i diodowego*. Arch. Elektrot. 1953 t. 2 nr 3-4 s. 332.
9. GROSZKOWSKI J., ROSIŃSKI W.: *Zależność niektórych parametrów tranzystora germanowego od temperatury*. Arch. Elektrot. 1953 t. 2 nr 3-4 s. 333.
10. SMOLIŃSKI A.: *Ciepłne rozmagnesowanie miękkich materiałów magnetycznych*. Arch. Elektrot. 1953 t. 2 nr 3-4 s. 335.
11. Biuletyn Informacyjny nr 3. Zeszyt poświęcony działalności naukowej prof. dr J. Groszkowskiego. Warszawa PAN 1968.
12. ROSIŃSKI W., PUŁTORAK J.: *Wpływ formowania na częstotliwość graniczną tranzystora punktowego*. Arch. Elektrot. 1955 t. 4 s. 385.
13. PUŁTORAK J., ROSIŃSKI W.: *Wpływ formowania na współczynnik α i oporność r_k w tranzystorze punktowym*. Arch. Elektrot. 1955 t. 4 s. 390.
14. GROSZKOWSKI J.: *Konstrukcja tranzystora punktowego*. Patent PRL nr 37802.
15. ROSIŃSKI W., GROSZKOWSKI J.: *Doświadczalne tranzystory punktowe model TP*. Arch. Elektrot. 1955 t. 4 s. 381.
16. PUŁTORAK J.: *Przyrządy półprzewodnikowe – nowe narzędzia radiotechniki*. Podstawowe Problemy Współczesnej Techniki. PWN 1957 vol. 2 s. 211-235.
17. ROSIŃSKI W., PUŁTORAK J., STOLARSKI E.: *Podstawy techniki tranzystorowej*. Warszawa: MON 1957.
18. NIEMYJSKI T., ROSIŃSKI W.: *Otrzymywanie złącz i tranzystorów warstwowych typu p-n-p*. Arch. Elektrot. 1955 t. 4 s. 392.
19. PUŁTORAK J.: *Tranzystor o dużym współczynniku α* . Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Elektryka 1957 nr 15 s. 79.
20. ROSIŃSKI W., PUŁTORAK J.: *Point-junction transistor*. Bull. Pol. Acad. Sci. 1957 vol. 5 nr 2 s. 95.
21. PUŁTORAK J.: *Tranzystor ostrzowo-warstwowy*. Elektronika 1958 nr 1-2 s. 42.

Stanisław Sikorski

Zakład Miernictwa Półprzewodników ITE

Warszawa

WSPOMNIENIA Z PIERWSZYCH LAT ZAKŁADU ELEKTRONIKI

(Rękopis otrzymano 27 stycznia 1993)

Był październik 1953 r. Po ukończeniu studiów w zakresie fizyki pracowałem już dwa lata jako asystent u prof. Stefana Pieńkowskiego w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej UW, gdzie głównym kierunkiem była optyka fizyczna. Dziedzina ta nie budziła we mnie należytego zainteresowania, więc gdy dowiedziałem się od Tadeusza Domańskiego, że w Polskiej Akademii Nauk prof. Janusz Groszkowski organizuje Zakład Elektroniki, w którym mają być prowadzone badania nad niedawno wynalezionymi elementami elektronicznymi – tranzystorami, zgłosiłem się do pracy w tej młodej jednostce, mieszczącej się wtedy na terenie Zakładu Radiotechniki. Przyjął mnie niezwykle sympatyczny prof. Groszkowski i zaangażował na razie na tzw. prace zlecone. Nie wiedziałem jeszcze wtedy, jaką wybitną osobą był Profesor, dopiero wchodziłem do rodziny elektroników.

Zakład Elektroniki był wprawdzie ubogi w aparaturę i nie dysponował wielkimi funduszami, ale mogłem liczyć na pracę naukową bez obciążeń dydaktycznych. Tutaj także miałem dużo większą szansę na zdobycie stopnia doktora, wówczas przez Ustawę nazywanego kandydatem nauk. Nazwa ta była dość niezrozumiała, wiadomo było tylko skąd pochodzi.

Już w listopadzie 1953 r. zdałem egzamin na studia doktoranckie, zwane wówczas aspiranturą. Moim promotorem został prof. Groszkowski. Miała to być praca doświadczalna, której substratem byłby królujący wówczas german. Trudność polegała na tym, że go nie mieliśmy, ale Profesor obiecał, że jak tylko zostanie zdobyty, przeznaczy dla mnie 1 cm³ tego materiału i na jego ułamkach (uzyskanych prawdopodobnie "metodą inż. Lipowieckiego" – tłuczenie młotkiem w woreczek zawierający bryłkę germanu) przeprowadzę systematyczne badania diodowych struktur ostrzowych.

Bezpośrednim moim szefem w Pracowni był mgr inż. Zdzisław Majewski, z którym dziesięć lat wcześniej uczyliśmy się w tej samej Szkole Zawodowej II stopnia, czynnej na terenie Politechniki w czasie okupacji, gdzie poznaliśmy tajniki elektroniki udostępniane nam przez świetnych wykładowców Szkoły Wawelberga i Politechniki. Majewskiego interesowało zagadnienie bombardowania jonami powierzchni germanu sygnalizowane w pracy Ohla. Był to przedświt implantacji jonowej. Na to jednak było

za wcześniej – za niska była doskonałość materiału, by otrzymać jednoznaczne wyniki, a urządzenie implantacyjne, nawet najprostsze, było nie do zrealizowania przy możliwościach, jakie miał wtedy samodzielny Zakład Elektroniki PAN.

W niedługim czasie Zakład wszedł w skład organizowanego przez prof. Ignacego Maleckiego Instytutu Podstawowych Problemów Techniki. Mimo to trudności aparaturowe i finansowe pozostały. Szczególnie trudno było o zakupy dewizowe (dolary), które skutecznie blokowała Państwowa Komisja Antyimportowa.

Przyznaję, że spotkał mnie pewien zawód – spodziewałem się czegoś więcej. Sądziłem, że zdobędę od kolegów inżynierów masę wiedzy i kultury technicznej. Okazało się, że wszyscy jesteśmy początkującymi. Wkrótce przekonałem się jednak, że od kolegów mogę się niejednego nauczyć. Patrzyłem z podziwem jak piękne rezultaty osiągają prymitywnymi środkami. Na przykład kol. Andrzej Brochocki wytwarzał łuk między elektrodami węglowymi w celu stopienia krzemu. Elektrody spoczywały na drewnianych wałeczkach leżących wprost na stole. Ręczne pokręcanie wałeczków pozwalało zbliżać i oddalać od siebie elektrody. Potem Andrzej był mistrzem w formowaniu ostrzowych diod krzemowych przez uderzanie w obudowę pincetą, kontrolowaną omomierzem pokazującym oporność wsteczną i przewodzenia. Wynikało to z ówczesnej sytuacji, a nie było wrodzonym prymitywizmem Andrzeja, który ma w swoim dorobku świetne konstrukcje, jak np. piec do wytopu krzemu wiązką elektronową.

Nie mając doświadczenia w technice próżniowej, nie zająłem się aktywacją jonową germanu. Prof. Groszkowski polecił mi uruchomić spektrograf, jaki przypadkiem znalazł się w wyposażeniu Zakładu. Był to spektrograf systemu Féry, którego całą optyką był pryzmat kwarcowy o cylindrycznych powierzchniach łamiących oraz cylindryczno-sferyczna soczewka do skupiania światła na szczelinie. Przyrząd wymagał justowania, a urządzenia do wytwarzania łuku nie było, ale znalazła się dynamomaszyna prądu stałego stojąca trzy piętra niżej w piwnicy. Przewód zasilający musiał więc przebiegać przez wszystkie kondygnacje. Gdy spektrograf został zaniechany, zapomniałem o przewodzie, a po kilku latach znowu go potrzebując (trudności zaopatrzeniowe), z trudem go odzyskałem, gdyż na każdym piętrze spotykałem się z pełnym szacunkiem do cudzej instalacji i z trudem dowodziłem, że przewód prowadzi znikąd donikąd.

Urządzenie do wytwarzania łuku skleciłem z deseczek z jakiegoś drewnianego opakowania. Blaszane uchwyty do elektrod węglowych i śruba regulacyjna były metalowe. Atlas spektrograficzny oparty na widmie żelaza nie pasował, niestety, do widma uzyskiwanego na osobliwym spektrografie systemu Féry. Do wyświetlania widma użyłem starego rzutnika do przeźroczy, który przypadkowo znalazł się w Zakładzie. Przesuw spektrogramu musiał być wykonywany z odległości dwóch metrów za pomocą sznurków przewleczonych przez bloczki. Nie pamiętam już jakim sposobem to działało. Mimo przewyciężenia tych trudności moja analiza spektralna nie na wiele się przydała. Zagadnienie jaki metal jest wtapiany do płytki germanowej w zagranicznej diodzie stopowej rozstrzygnął w ramach zlecenia spektrografista (czy raczej spektrografolog)

mający urządzenia z prawdziwego zdarzenia. Tajemniczym metalem był ind. Było to, jak się okazało, całe zapotrzebowanie na analizę spektralną.

Do badań przy konstrukcji tranzystorów ostrzowych potrzebny był manipulator zwany shockleyowskim (choć konstruktorem był Bondy). Opracowałem jego modyfikację ze sprężynami spiralnymi, którą czasem jeszcze widuję w naszych pracowniach.

Z materiałem germanowym było trudno, w kraju zaś osobliwy ten materiał miała pewna wdowa po aptekarzu. Jego zapas mieścił się w niewielkim zapewne słoiku. Niestety, żaden paragraf nie zezwalał na zakup czegokolwiek od prywatnej osoby. Nie otrzymałem więc tego centymetra sześciennego germanu. Z biegiem czasu zostały jednak zdobyte pewne ilości germanu, można więc było próbować czyszczenia strefowego. Wytop próżniowy był wykonywany w łódce kwarcowej z nanizanymi pierścionkami grafitowymi dla uzyskania sprzężenia z nagrzewnicą indukcyjną. Grafit pochodził z używanej elektrody rtęciowego prostownika mocy, trudno więc było oczekiwać oczyszczenia germanu. Z pomocą przyszła znajomość z fizykami z Instytutu Badań Jądrowych, gdzie stała wielka ściana ułożona z bloków grafitowych o bardzo dobrej czystości, ale zbyt niskiej do ich celów. Chętnie mi odstąpiono jeden z bloków. Z niego wycinało się mniejsze kawałki i na tokarce w podręcznym warsztacie p. Gruberski, a później p. Laskorzyński wyrabiali z nich łódki grafitowe do wytopu germanu, które służyły kolegom technologom. Jeszcze przez parę lat tokarka była przesycona pyłem grafitowym, ale to nie zniechęcało do rzemiosła tokarskiego, które mnie od czasu do czasu interesowało, a co trzymałem w ogólnie znanej "tajemnicy".

Skoro był już materiał i umieliśmy go oczyszczać, to normalną kolejną rzeczą rozpoczęły się badania materiałowe. Pierwszym parametrem materiałowym była oczywiście oporność właściwa, a metoda miała być czteropunktowa, zgodnie z ówczesną pracą Valdesa. Tylko pozornie było to łatwe. Problemem była sonda czteroostrzowa i pomiar się nie udał. Ja też postanowiłem spróbować, ale na dość dużej pałeczce o średnicy ok. 10 mm wytopionego germanu. Przyjąłem za punkt wyjścia pierwsze prawo Ohma i zasadę mostka Thomsona. Później dowiedziałem się, że jest to metoda dwupunktowa. Dobre urządzenie pomiarowe zbudował później inż. Dobrzyński, człowiek o złotych rękach, wieloletni współpracownik prof. Groszkowskiego. Jego konstrukcja była pierwowzorem późniejszych "Rometrów" wytwarzanych w Zakładzie Elektroniki. Sondy czteroostrzowe "Rometrów" były oparte na konstrukcji Jerzego Pułtoraka, jaką stosował on w czasie pobytu w Anglii. Powtórzyłem ją w nieco ulepszonej formie, a później dopracował dobrą ich technologię bardzo zdolny mechanik p. Gruberski.

W ciągu tych pierwszych lat Zakład Elektroniki wzbogacił się o młodych, bardzo zdolnych ludzi. Wspomnę o niektórych z nich. W 1954 r. Andrzej Kobus, jeszcze jako inżynier, został zwербowany przez Zdzisława Majewskiego. Jego pracą magisterską było uruchomienie fotomagnetoelektrycznej metody pomiaru życia nośników nadmiarowych, który był drugim ważnym parametrem materiałowym. Coś jednak przeszkadzało w tych pomiarach, o czym opowiem dalej. A. Kobus był w Polsce prekursorem w dziedzinie

dyslokacji i innych defektów struktury. Budził on w owym czasie niedowierzanie u polskich fizyków ciała stałego tym, że wykrywa chemicznym trawieniem pojedyncze dyslokacje. Tak było, choć teraz może to dziwić.

W 1956 r. pojawił się w Zakładzie student Jarosław Świdorski, także "wyłowiony" przez Zdzisława Majewskiego. W 1958 r. ukończył tutaj pracę magisterską. Zadaniem, którego się podjął, były systematyczne pomiary na "Rometrze", którego układ elektryczny osobiście zmontował. Ten przyrząd w solidnej drewnianej obudowie przechowywuje do dziś, mając nadzieję na przekazanie go do zbioru pamiątek naszej pracy, o który tak pilnie od dawna zabiega prof. Pułtorak.

W rometrowych pomiarach też coś przeszkadzało. Czynnikiem tym było światło, pomiary należało więc wykonywać przy dostatecznie słabym oświetleniu. Jednak obdarzony wnikliwą intuicją dyplomant zaczął niezależnie od właściwych pomiarów badać systematycznie wpływ światła na próbki germanowe. W ten sposób J. Świdorski wykrył, że na ostrzach sondy pojawia się napięcie także w nieobecności prądu zasilającego w próbce. Było to więc zjawisko woltaiczne. Zbadanie literatury pokazało, że zjawisko to zostało już odkryte przez Czechów Tauc'a i Trousila, a wcześniej jeszcze (trzymane początkowo w tajemnicy "służbowej") przez Łaszkariewa z Kijowa. Zjawisko to, powodowane niejednokrotnością oporności właściwej, J. Świdorski obrócił na korzyść. Jego przeczucie okazało się słuszne. Objętościowe zjawisko fotowoltaiczne do tej pory służy jako świetne narzędzie do badania mikroniejednokrotności materiału półprzewodnikowego, pozwalając np. ocenić technologię wyciągania monokryształów, nie mówiąc o przydatności płytki do układów scalonych. Warto dodać, że ta metoda diagnostyczna zaczęła być stosowana na Zachodzie wiele lat po J. Świdorskim. Opisane badania doprowadziły go także do opracowania spektrofotowoltaicznej metody pomiaru czasu życia. Te ostatnie wyniki były podstawą do zbudowania urządzenia, które nosiło zawiłą, ale dobitną nazwę "Derotaumetr". Podobnie jak "Rometry" te ostatnie przyrządy też były wdrożone w ówczesnym Zakładzie Konstrukcji Prototypów IPPT.

Badania fotowoltaiczne były prowadzone później i na krzemie. Zaobserwowano wtedy świecenie powierzchni krzemu w niektórych punktach, które wiązał on z pewnymi uszkodzeniami powierzchni. Od niedawna są prowadzone na dużej skali na świecie badania widzialnego świecenia krzemu po odpowiedniej obróbce powierzchni. J. Świdorski obserwował to zjawisko przeszło trzydzieści lat temu (jak ten czas leci!) i nie wyciągnął z tego odpowiednich wniosków. Może zawiodła go intuicja, a może było na to za wcześnie, bo nie istniał jeszcze Pion Optoelektroniki.

To, o czym jeszcze chcę powiedzieć, wymaga powrotu do pracy A. Kobusa. Okazało się, że czynnikiem zakłócającym pomiary fotomagnetoelektryczne było objętościowe zjawisko fotowoltaiczne, w tymże czasie zbadane przez J. Świdorskiego, występujące nieuchronnie w oświetlonej zawsze mniej lub więcej niejednorodnej próbce półprzewodnikowej, a będące zjawiskiem tego samego rzędu co zjawisko fotomagnetoelektryczne. Zmieniając kierunki pola magnetycznego i prądu, można było te dwa zjawiska

rozdzielić, ale czy w sposób zadowalający? Takie pytanie nurtowało A. Kobusa, a z nim także i mnie. Należało to wyjaśnić, tworząc teorię obejmującą jednocześnie oba zjawiska.

Opierając się na pracach Roosbroeka, dotyczących oświetlanego półprzewodnika jednorodnego, udało mi się uogólnić jego teorie na oświetlony półprzewodnik jednorodny umieszczony w polu magnetycznym. Otrzymany wzór na rozkład roosbroeckowskiego potencjału oprócz składowej omowej zawierał składniki opisujące takie zjawiska, jak: Dembera, Halla, fotomagnetoelektryczne, objętościowe zjawisko fotowoltaiczne oraz jakieś nowe, do tej pory nieznanne.

Skrótowno ujmując, było to zjawisko Halla, oddziałujące na prądy wewnętrzne wywołane objętościowym zjawiskiem fotowoltaicznym. Udało mi się to potwierdzić doświadczalnie. Zaproponowałem długą nazwę: "objętościowe zjawisko fotomagnetoelektryczne". Uzyskane wyniki wykorzystałem w swojej pracy doktorskiej w 1961 r. Później Ewa Markowska wykorzystała teorię w doświadczalnej pracy doktorskiej dotyczącej pomiaru ruchliwości nośników większościowych i mniejszościowych w tej samej próbce, więc efekt na coś się przydał. Tak urodził się mój sposób pracy teoretyczny, ale związany z użytecznymi pracami doświadczalnymi kolegów.

Przedstawiłem tu parę obrazków z pierwszych lat Zakładu Elektroniki, który był protoplastą Instytutu Technologii Elektronowej. Mieszając sprawy ważne i całkiem drobne, nie wymieniłem wielu kolegów, o których długo by pisać. I tak siła wspomnień rozszerzyła ramy tego, co miałem napisać. Muszę jeszcze podziękować prof. Pułtorakowi za impuls napisania tego tekstu.

Patrząc wstecz, widzę jak skromne były początki elektroniki półprzewodnikowej. Rozwój nie był taki szybki jak byśmy chcieli, można jednak powiedzieć, że przez te czterdzieści lat przeszliśmy długą drogę. Mając wspaniały dorobek, znajdujemy się obecnie w trudnej i niepewnej sytuacji. Wierzę, że przyszłość przyniesie pomyślne rozwiązania. Tego potrzeba nam, starszym pracownikom, a nade wszystko młodemu, którym życzę najwspanialszych osiągnięć, na jakie zasługują.

Edward Stolarski
Instytut Technologii Elektronowej
Warszawa

POCZĄTKI MIERNICTWA TRANZYSTOROWEGO

(Rękopis otrzymano 27 stycznia 1993)

Była jesień 1952 r. Roman Stańczuk, kolega z roku (piąty semestr na Wydziale Łączności Politechniki Warszawskiej), zapytany o możliwość zatrudnienia obiecał, że "coś mi załatwi". I obietnicy dotrzymał. Zarekomendował mnie do pracy u prof. Janusza Groszkowskiego. Profesor tworzył wówczas zespół badawczy, który miał zająć się problematyką półprzewodników: opanowywanie zjawisk, badanie właściwości, opracowywanie konstrukcji przyrządów. W czasie królowania lampy elektronowej tranzystor był postrzegany jako przyrząd nowatorski. Skąpe doniesienia w publikacjach naukowych, i to głównie (a może jedynie) w języku angielskim, w konfrontacji z "przodującą techniką radziecką", miały wówczas posmak owocu zakazanego.

Będąc już trzeci rok akademicki starostą kursu, miałem okazję wcześniej spotykać Profesora podczas wypełniania swych obowiązków, np. ustalania terminów egzaminów. Stojąc zatem przed obliczem starszego już, lekko siwiejącego naukowca, drobnej budowy, patrzącego zza okularów życzliwym spojrzeniem, odczuwałem zaciekawienie i niepokój: mam zdobyć status pracownika, ale czy sprostim wymaganiom! Atutem mojego przyjęcia do pracy było ukończenie w 1950 r. Liceum Telekomunikacyjnego w Warszawie cieszącego się powszechnym uznaniem z uwagi na wysoki poziom kształcenia, i to nie tylko z przedmiotów zawodowych. Profesor po uważnym wysłuchaniu mojego curriculum vitae zdecydował o przyjęciu mnie do pracy do Zakładu Elektroniki Polskiej Akademii Nauk i został moim pierwszym szefem¹. Półprzewodniki, szczególnie miernictwo, stało się pasją mojego życia.

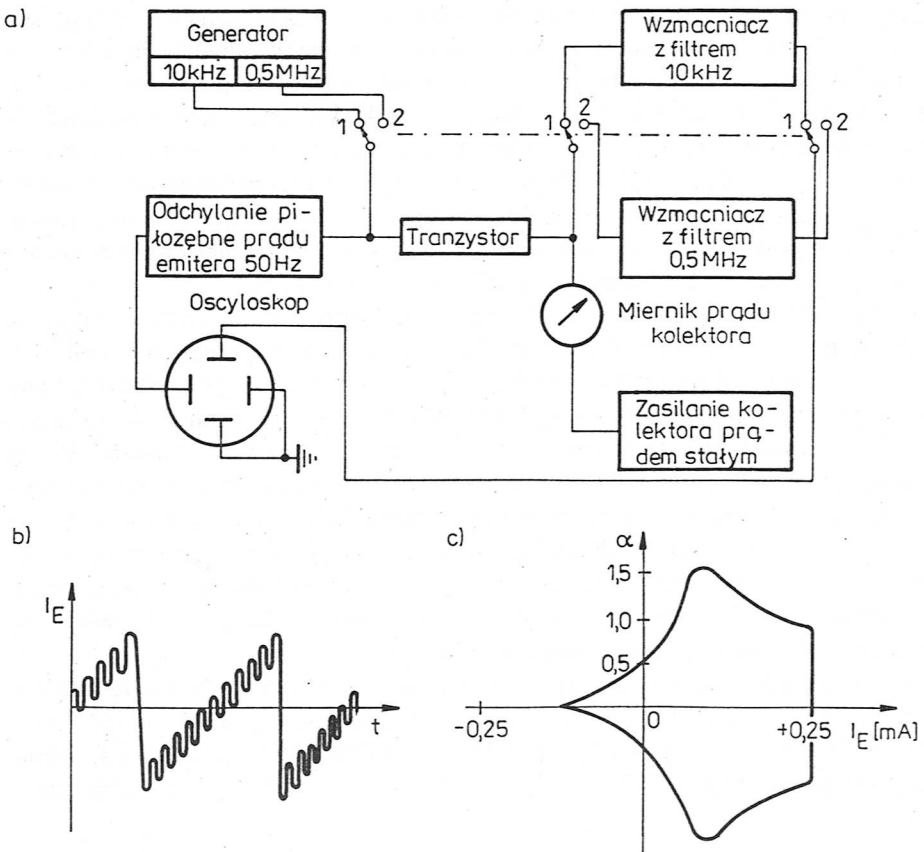
Zanim przejdę do opisu początków miernictwa, kilka słów poświęcę Tadeuszowi Lipowieckiemu. Poznałem go późną wiosną 1950 r. Odnaleźliśmy się w gronie zdających w tym roku egzamin wstępny na Wydział Łączności Politechniki Warszawskiej. Zostaliśmy przyjęci, zaprzyjaźniliśmy się i przez ponad 5 lat studiów przesiedzieliśmy w

¹W 1991 r. Stowarzyszenie Elektryków Polskich przyznało mi Medal im. Prof. Janusza Groszkowskiego (Nr 67). Sprawilo mi to ogromną radość. Na awersie tego medalu znajduje się podobizna sylwetki Profesora i napis: Janusz Groszkowski, 1898–1984, uczony, patriota, pionier radioelektroniki.

jednej, zawsze pierwszej ławce. Zatem niedługo po przyjęciu mnie do pracy poprosiłem Profesora o przyjęcie także i jego. Razem dalej nie tylko studiowaliśmy, ale i pracowaliśmy w jednym pokoju, przy zestawionych biurkach.

Pierwszym moim bezpośrednim kierownikiem był mgr inż. Witold Rosiński, obecnie emerytowany profesor zwyczajny ITE, członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk. Powrócił właśnie z Anglii i wyczuwało się, że jest obserwowany jako człowiek "stamtąd". Doświadczony inżynier, montujący i uruchamiający podczas wojny radary na okrętach wojennych, imponował mi głęboką wiedzą i umiejętnością praktycznego jej stosowania.

Miernictwo było dziedziną, która podobała mi się już w liceum. Po przyjęciu do pracy zadeklarowałem się jako pomiarowiec. Pierwszą moją pracą w Zakładzie był miernik



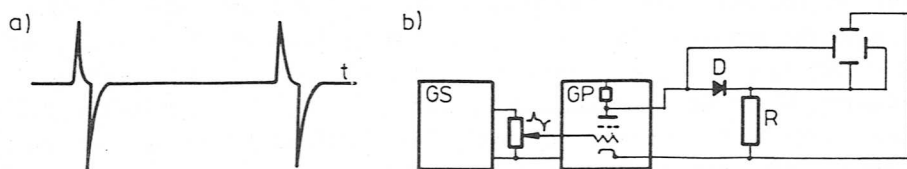
Rys. 1. Miernik α tranzystorów: a) schemat blokowy, b) kształt prądu w obwodzie emitera, c) kształt zdejmowanej charakterystyki

strat przemiany germanowych diod ostrzowych mieszających, przedstawiony w 1953 r. jako praca dyplomowa inżynierska, wykonana pod kierunkiem W. Rosińskiego.

W 1954 r. zająłem się konstrukcją urządzenia umożliwiającego odwzorowanie na ekranie oscyloskopu zależności wzmocnienia prądowego α tranzystora ostrzowego w funkcji prądu emitera [1] przy prądzie kolektora jako parametrze. Schemat blokowy przyrządu pokazano na rys. 1a. Piłozębny prąd o częstotliwości 50 Hz dostarczany do emitera zmienia punkt pracy tranzystora w sposób liniowy. Wartość α jest mierzona przez wprowadzenie w obwód emitera (rys. 1b) razem z prądem piłozębnym prądu sinusoidalnego 10 kHz lub 0,5 MHz o małej amplitudzie (ok. 40 μ A) ze źródła o stałej wydajności prądowej (duża rezystancja wewnętrzna) i przez pomiar spadku napięcia prądu kolektora, wywołanego przepływem sinusoidalnego prądu emitera na rezystorze o małej wartości w stosunku do rezystancji wyjściowej tranzystora, połączonym szeregowo z kolektorem. Kształt charakterystyki $\alpha = f(I_E)$ tranzystora ostrzowego TP2, wykonanego w Zakładzie Elektroniki przy użyciu germanu typu *n*, pokazano na rys. 1c. Przy konstrukcji tranzystorów ostrzowych był również zatrudniony okresowo mój brat Aleksander Stanisław Stolarski, specjalista w dziedzinie mechaniki precyzyjnej – optyki. Opisane urządzenie służyło do badań tranzystorów opracowywanych i wykonywanych w Zakładzie i było przedmiotem mojej pracy magisterskiej obronionej w 1956 r. Obrona odbywała się przed Komisją, której przewodniczył prof. J. Groszkowski. W tym samym dniu oprócz mnie egzamin magisterski składali obecni profesorowie ITE: Jerzy Klamka, Andrzej Kobus i Jerzy Pułtorak.

Witold Rosiński i Tadeusz Lipowiecki pracowali nad charakterografem diodowym wykorzystującym oscyloskop [2]. Metoda oscyloskopowa, dzięki zastosowaniu napięcia impulsowego o kształcie zbliżonym do trójkątnego (rys. 2a), o możliwie małej częstotliwości powtarzania, pozwalała na uniknięcie podczas pomiaru przegrzewania miejsc styków prowadzących do zmian właściwości elektrycznych lub do całkowitego zniszczenia badanej diody. Ze względu na to, że diody z niektórych płytek germanowych wykazywały rezystancję ujemną, zastosowano generator prądowy impulsów analizujących zbudowany na pentodzie (rys. 2b).

Bardzo sympatyczną i nadzwyczaj mobilizującą do aktywności naukowej pracowników cechą Profesora były Jego codzienne wizyty przy każdym "stanowisku pracy" w



Rys. 2. Układ do pomiaru charakterystyki U/I diody metodą oscyloskopową: a) kształt impulsów analizujących, b) schemat, GS – generator sygnałów (analizujących), GP – generator prądowy, D – dioda badana, R – rezystor pomiarowy

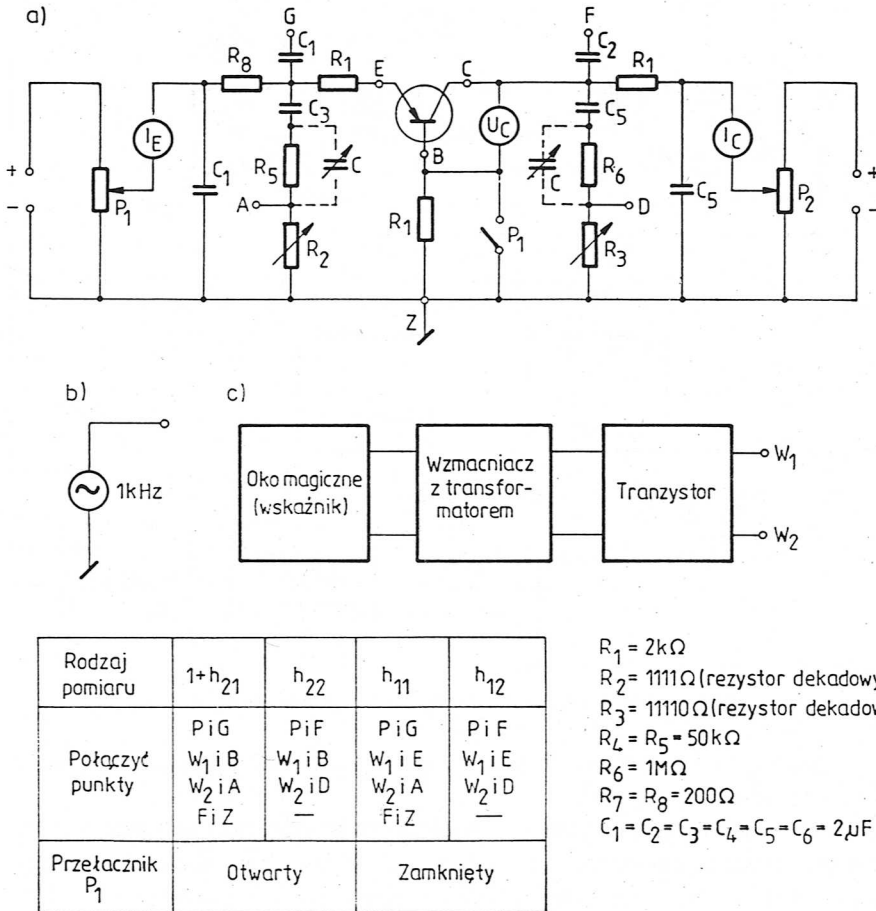
Zakładzie. Pracownicy nielicznego wówczas zespołu chcieli przedstawić swoje postępy w pracy. Profesor doradzał, zachęcał i szczerze radował się osiągnięciami. A w zespole panował olbrzymi entuzjazm pracy!

W 1954 r. skromny liczbowo zespół pomiarowców zasilili Stanisław Siekierski, wówczas mgr inż., a obecnie docent emerytowany ITE, i Jerzy Szerszeń, wówczas mgr inż., późniejszy twórca i wieloletni dyrektor TechPAN-u, starsi ode mnie koledzy, ze wspólną przeszłością frontową i dużym doświadczeniem zawodowym. Tworzyliśmy wzmocnioną grupę, która zajęła się głównie charakteryzacją elektryczną [4, 6] i miernictwem parametrów tranzystorów ostrzowych [3, 5, 7], a później – warstwowych [8, 9].

Miernik parametrów macierzy h tranzystorów warstwowych MPTW [9] był naszą udaną konstrukcją. Umożliwiał pomiar czterech parametrów h tranzystorów w układzie WB przy częstotliwości 1 kHz metodą mostkową (z dużą dokładnością $\pm 2,5\%$), w szerokim zakresie prądów i napięć polaryzujących (I_E , I_C , U_C) (rys. 3). Wartości mierzonych parametrów odczytywano bezpośrednio z połączeń pokręteł w skrzynkach rezystorowych R_1 i R_2 , równoważących mostek. Równowagę mostka obserwowano za pomocą wskaźnika, składającego się ze wzmacniacza selektywnego z transformatorem wejściowym i oka magicznego (sic!) jako optycznego wskaźnika równowagi. Miernik MPTW stał się podstawowym urządzeniem pomiarowym dla wielu placówek naukowych i produkcyjnych. W tzw. gospodarstwie pomocniczym Instytutu wykonano w ciągu kilku późniejszych lat kilkanaście mierników MPTW, w mutacjach od MPTW-1 do MPTW-4.

W 1954 r. (lub w 1955) W. Rosiński zainicjował napisanie książki zawierającej informacje o zupełnie wówczas nowej technice tranzystorowej. Współpracę w tym dziele zaproponował Jerzemu Pułtorakowi i mnie. Była to ciężka, pionierska praca, bodajże pierwsza tego rodzaju publikacja w języku polskim, a moja pierwsza książka w życiu! W. Rosiński wnikliwie i surowo oceniał napisane przez nas rozdziały, poprawiał je, sugerował zmiany i uzupełnienia. Już w 1957 r. książka, w porządnym sztywnym okładkach, znalazła się na półkach księgarskich [10].

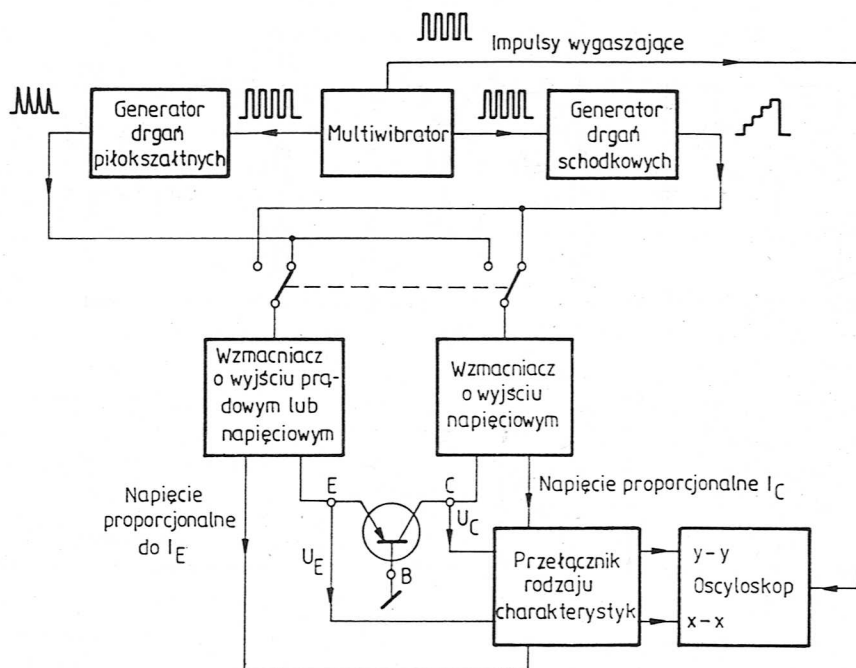
Nasza grupka pomiarowców zajęła się konstrukcją urządzenia służącego do odwzorowania na ekranie lampy oscyloskopowej czterech rodzin charakterystyk statycznych tranzystorów. W tym okresie (rok 1957) chodziło już wyłącznie o tranzystory warstwowe. Była to (po MPTW) druga udana nasza konstrukcja, wielokrotnie modyfikowana [11, 12] (rys. 4). Metoda oscyloskopowa pozwala na bardzo szybką ocenę przydatności tranzystora, co ma m. in. duże znaczenie przy produkcji. Stosowanie impulsów analizujących z generatora drgań piłokształtnych, dzięki którym prąd przepływa przez tranzystor tylko w pewnych odstępach czasu, powoduje, że mogą być zdejmowane charakterystyki również poza normalnym zakresem pracy, w którym w metodzie statycznej zjawiska cieplne byłyby już zbyt znaczne. Liczba charakterystyk na ekranie oscyloskopu odpowiada liczbie poziomów w jednym okresie pracy generatora drgań schodkowych. Prace nad metodą oscyloskopową zdejmowania charakterystyk tranzystora zaowocowały późniejszymi rozwiązaniami innych zagadnień z tym związa-



Rys. 3. Układ miernika MPTW służącego do określania wartości parametrów mieszanych tranzystora warstwowego w układzie WB: a) schemat mostka, b) schemat generatora, c) schemat blokowy wskaźnika równowagi mostka

nych, jak pętliwość charakterystyk, optymalizacja termiczna i elektryczna [13] itd. W tzw. gospodarstwie pomocniczym Instytutu wykonano ogółem kilkanaście charakterografów CHT w mutacjach od CHT-1 do CHT-3. Charakterografy po powieleniu służyły do badań własnych tranzystorów, były także wykorzystywane w innych krajowych placówkach naukowo-badawczych i produkcyjnych, a nawet eksportowane.

W 1957 r. powziąłem myśl zbilansowania swego dorobku i doświadczeń w zakresie miernictwa właściwości elektrycznych tranzystorów w formie monografii i w 1961 r. ukazała się drukiem książka "Miernictwo tranzystorowe" [14]. Była to wówczas pierwsza na świecie książka poświęcona temu zagadnieniu. O tym jak opracowanie tego dzieła



Rys. 4. Schemat blokowy charakterografu tranzystorowego typu CHT

okazało się ważne i przydatne, świadczą jego kolejne wydania oraz tłumaczenie III wydania na język rosyjski [15].

Pomiarowcy, którzy wówczas wykształcili się pod okiem Profesora, stali się w latach sześćdziesiątych autorytetami krajowymi w dziedzinie miernictwa tranzystorowego. Świadectwem tego była III Krajowa Konferencja Tranzystorowa w 1960 r., na której zaprezentowaliśmy aż siedem referatów i komunikatów [16], w tym referat plenarny przedstawiający stan miernictwa tranzystorowego w Polsce.

W naszych rękach było wówczas miernictwo tranzystorów!

Literatura

1. STOLARSKI E.: *Oscyloskopowy miernik współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystorów*. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Elektryka 1957 nr 15 s. 125–148.
2. ROŚIŃSKI W., LIPOWIECKI T.: *Metoda oscyloskopowa badania charakterystyki wstecznej diod krystalicznych*. Arch. Elektrotech. 1953 t. II. s. 331–332.

3. SIEKIERSKI S., STOLARSKI E.: *Przyrząd do pomiaru parametrów tranzystora punktowego*. Prz. Telekom. 1955 nr 6 s. 194-197.
4. STOLARSKI E.: *Parametry i układy zastępcze tranzystora*. Wiad. Telekom. 1955 nr 9 s. 194-200.
5. STOLARSKI E.: *Pomiar oporności bazy tranzystorów ostrzowych*. Prz. Telekom. 1956 nr 2 s. 54-55.
6. STOLARSKI E.: *Zależności występujące w obwodach tranzystora*. Wiad. Telekom. 1956 nr 3 s. 58-64.
7. STOLARSKI E.: *Pomiar parametrów tranzystorów ostrzowych*. Wiad. Telekom. 1956 nr 4 s. 83-90.
8. STOLARSKI E.: *Pomiar parametrów tranzystorów warstwowych*. Wiad. Telekom. 1956 nr 7 s. 152-157.
9. SIEKIERSKI S., STOLARSKI E.: *Miernik do pomiaru parametrów tranzystorów warstwowych*. Prz. Telekom. 1957 nr 2 s. 48-53.
10. ROŚIŃSKI W., PUŁTORAK J., STOLARSKI E.: *Podstawy techniki tranzystorowej*. Warszawa: MON 1957.
11. SZERSZEŃ J., STOLARSKI E.: *Charakterograf tranzystorowy*. Prz. Telekom. 1959 nr 9 s. 262-267.
12. SZERSZEŃ J., STOLARSKI E.: *Charakterograf tranzystorowy typ CHT-2*. Krajowa Konf. Tranzystorowa 10.6.1959 Warszawa ITR. Postępy Telekom. 1959 nr 3-4.
13. SZERSZEŃ J., STOLARSKI E.: *Zagadnienie optymalizacji układu pomiarowego ze względu na warunki termiczne i elektryczne przy impulsowym oscyloskopowym badaniu charakterystyk tranzystorów*. Arch. Elektrotech. 1963 t. XII s. 625-628.
14. STOLARSKI E.: *Miernictwo tranzystorowe*. Warszawa: kolejne wydania: PWT 1961; WNT 1964, 1972, 1984 (zmieniane).
15. STOLARSKI E.: *Izmierenija parametrov tranzistorov*. Moskva: Sovetskoe Radio 1976.
16. III Krajowa Konferencja Tranzystorowa 8-9.6.1960 Warszawa ITR. Referaty, Komunikaty.
 - SIEKIERSKI S., STOLARSKI E., SZERSZEŃ J.: *Stan miernictwa tranzystorowego w Polsce*,
 - SZERSZEŃ J., STOLARSKI E.: *Charakterograf tranzystorowy typ CHT-3*,
 - SIEKIERSKI S., STOLARSKI E.: *Miernik wzmocnienia mocy i prądu zerowego tranzystorów mocy do 20 W*,
 - SZERSZEŃ J., SIEKIERSKI S., STOLARSKI E.: *Przyrząd do pomiaru parametrów tranzystorów wielkiej częstotliwości*,
 - SZERSZEŃ J., STOLARSKI E., SIEKIERSKI S.: *Miernik częstotliwości granicznej f_α i f_β oraz kąta fazowego tranzystorów*,
 - STOLARSKI E.: *Miernik zwarciovego współczynnika wzmocnienia prądowego i prądu zerowego tranzystorów mocy w układzie WE*,
 - STOLARSKI E.: *Miernik prądów zerowych i β tranzystorów małej mocy*.

Jarosław Świdorski
Zakład Podstawowych
Probleatów Elektroniki ITE
Warszawa

NA POCZĄTKU BYŁA CIEKAWOŚĆ ...

(Rękopis otrzymano 16 października 1992)

Kończył się rok akademicki 1955/56. Narastała "odwilż", przyjemne poczucie nieuchronności zmian, ciekawość nadchodzących czasów. Tak było nie tylko w polityce i gospodarce, ale także w nauce i technice. Wyobraźnię studentów czwartego roku Wydziału Łączności Politechniki Warszawskiej podrażniały wiadomości o "mózgach elektronowych", wspaniałych automatach, uniwersalnych robotach. Bardziej zaawansowani pracowali w kółkach naukowych albo nawet w "prawdziwych laboratoriach" nad nadajnikami i odbiornikami telewizyjnymi, nad telewizją kolorową, nad modnymi wówczas "elektretami" (elektryczny odpowiednik stałych magnesów) i wreszcie nad najbardziej frapującą tematyką – nad półprzewodnikami.

Profesor Janusz Groszkowski, jedyny na wydziale wykładowca, o którym mówiło się po prostu "Profesor", i jedyny, który wchodząc do sali wykładowej mógł być pewny, że zastanie startą tablicę, swój ostatni wykład z przedmiotu "lampy elektronowe" zakończył mniej więcej następującym stwierdzeniem: "Obecnie pojawił się nowy rodzaj czynnych przyrządów elektronowych wykorzystujących ruch elektronów nie w próżni lub gazie, ale w ciele stałym, w półprzewodniku. O przyrządach tych można mówić godzinami albo nie należy mówić wcale. Na dziś wybieram to drugie." I dodał zupełnie cicho, ale tak, że usłyszały to pierwsze rzędy: "Niewykluczone, że dzięki nim wszystko, co wam dotąd powiedziałem, okaże się zbędne". W kilka dni potem, po pomyślnie zdanych egzaminach, niektórzy spośród nas usłyszeli z ust asystentów Profesora propozycję: "A może chciałby pan podjąć pracę zawodową w Zakładzie Elektroniki PAN?". Jako student zostałem zatrudniony w pracowni kierowanej przez mgra Zdzisława Majewskiego na stanowisku "pomoc laboratoryjna", aby szybko awansować na laboranta, a po paru miesiącach – na technika. Na stanowisko asystenta trzeba było poczekać blisko dwa lata, do uzyskania dyplomu. Pracowałem pod bezpośrednim kierownictwem mgra Stanisława Sikorskiego, montując skonstruowany wg jego pomysłu miernik rezystywności nazwany rometrem. Jednocześnie czuwałem nad procesem czyszczenia strefowego (tzw. czesania) germanu, co znakomicie pomagało mi godzić

"wyrabianie" ośmiogodzinnego dnia pracy w Zakładzie (przestrzegano liczby godzin, a nie ich określonego usytuowania w ciągu doby czy tygodnia) z normalnymi, dziennymi studiami, zwłaszcza że Zakład Elektroniki mieścił się wówczas na terenie Politechniki w tzw. Gmachu Radiotechniki. "Czesanie" prowadzono nieraz przez 16 godzin na dobę, a pilnując go (ręczne przestawianie strefy, "ręczna" kontrola próżni itp.) można było pisać sprawozdania z laboratoriów, uczyć się do egzaminów itp.

Patrząc z dystansu blisko czterdziestu lat trudno uwierzyć, że taka praca była dla młodych chłopców interesująca. A jednak. Przyzwyczajeni do prymitywnego wyposażenia ćwiczeń laboratoryjnych i równie prymitywnych urządzeń stosowanych na zajęciach szumnie zwanego koła naukowego czuliśmy się jak przesadzeni z dzieciennego rowerka od razu na samochód. Nim obcowanie ze względnie nowoczesnym sprzętem zdążyło spowszechnić, przyszedł nowy element – obcowanie z "Nowym", z czymś, czego jeszcze nikt nie zaobserwował, nie opisał, nie zastosował. Zaczęło się od pomiaru rozkładu rezystywności na "wyczesanym" polikryształe, a następnie na monokryształach germanu. Warto tu zaznaczyć, że do problemów związanych z rozkładem rezystywności miałem później, jak do pierwszej miłości, wracać wielokrotnie, aby wreszcie w obecnych czasach uznać, że związane z tym zagadnienia urastają do rangi najważniejszych w całym procesie monokryształacji i swoją złożonością znacznie przewyższają to, co dla ubogich polskich laboratoriów jest dziś dostępne. Ale wtedy narzędzia, którymi posługiwaliśmy się, w tym rometr o coraz mniejszym rozstawie ostrzy (doszliśmy do 0,1 mm), były tej samej klasy, co narzędzia Amerykanów czy Japończyków. Prosty pomiar okazał się wcale nieprosty. Na skokach rezystywności zachodziło wprowadzanie nośników ładunku, rezystywność, wbrew danym z literatury, zależała od kierunku przepływu prądu i od jego natężenia. Zupełnie niechcący odkryliśmy przyrząd przypominający późniejszy tranzystor jednozłączowy (prąd płynący przez "wyciągane" złącze modulował prąd w obwodzie równoległe do złącza ustawionych ostrzy), ale zajęci stroną pomiarową zjawiska zlekceważyliśmy aspekt prostego mechanizmu wzmacniania. Mgr Andrzej Brochocki wyczarowywał nam najbardziej wymarzone konfiguracje struktur p-n i l-h wbudowane bezpośrednio w monokryształ za pomocą samego mechanizmu wyciągania. Pamiętam, jak gdyby to było dziś, zaobserwowanie po raz pierwszy objętościowego zjawiska fotowoltaicznego. Oświetlony monokryształ germanu pozbawiony jakiegokolwiek złącza p-n generował napięcie fotoelektryczne! Zaraz potem okazało się, że napięcie powstaje także przy oświetleniu punktowym i jest stosunkowo prostą funkcją występującej w tym "punkcie" zmiany rezystywności. A przecież nauczyłem się z literatury, że warunkiem powstania napięcia fotoelektrycznego w objętości półprzewodnika jest istnienie tam złącza p-n. Z twierdzenia tego byliśmy wówczas szczególnie dumni, gdyż jego odkrywcą, uznanym na świecie, był prof. Leonard Sosnowski, co zaspokajało naszą, żywą po niedawnej wojnie, potrzebę polskich sukcesów. Niestety, z twierdzeniem tym trzeba się było pożegnać. Więc może nowe, oryginalne, polskie odkrycie? Też nie. Kilka

miesiące wcześniej, w identycznych warunkach jak na nasze, objętościowe zjawisko fotowoltaiczne zostało zaobserwowane i opisane przez Zdenka Trousila.

Rozpisuję się o tym wydarzeniu tak obszernie, by spróbować oddać atmosferę tamtych lat, motory naszego działania i, co tu ukrywać, naszej ciekawości i entuzjazmu. Sam fakt niezależnego zaobserwowania czegoś, co zostało odkryte niespełna rok wcześniej, było dostatecznie dużym przeżyciem. Wykorzystanie zjawiska fotowoltaicznego stało się tematem mojej pracy magisterskiej. Od tej pory przez wiele lat przeżywaliśmy wielką przygodę wyścigu o pierwszeństwo odkrycia, pierwszeństwo wynalazku, pierwszeństwo opisanie. Nauczony doświadczeniem ze zjawiskiem fotowoltaicznym starałem się publikować szybko, zaraz po pierwszej obserwacji, po pierwszym pomysle. Raz mnie wyprzedzono, raz ja wyprzedzałem. Na przykład pomiar parametrów rekombinacyjnych poprzez analizę zjawisk spektrofotolektrycznych udało się opublikować o kilka miesięcy wcześniej niż zrobili to Tang Tin-yuan i Kao Kuo-yo. Jaka to była satysfakcja! Pierwsze komunikaty przyjęte na międzynarodowe konferencje, pierwsze wyjazdy, zwłaszcza do krajów zachodnich, pierwsza korespondencja z kolegami ze Stanów Zjednoczonych, ze sławnego MIT, później przyjemność oglądania powołań na swoje publikacje, przyjemność łatwego i szybkiego doktoratu – to wszystko dał nam, młodym ludziom, Zakład Elektroniki PAN i, przede wszystkim, nowa dziedzina, w której tak łatwo było o "Nowe". I wtedy przyszło pierwsze zderzenie tego, co nowe, z tym, co pożyteczne. Jeszcze w okresie bezwzględnej priorytetu dla tego, co nowe, przeżyliśmy pierwszy "zimny prysznic". Mgr Brochocki, niekwestionowany mistrz w monokryształacji germanu, zabrał się za inne materiały półprzewodnikowe. Towarzyszyliśmy mu w jego wysiłkach, zdając sobie sprawę ze skali trudności. I oto otrzymaliśmy wiadomość, że ten sam materiał został zmonokryształizowany przez inne polskie laboratorium. Sprawie nadano duży rozgłos, powstały liczne publikacje. Chcieliśmy dostać kawałek tego monokryształu, zmierzyć jego właściwości. Spotkaliśmy się ze zdecydowaną odmową. Ani dostać, ani kupić, ani pożyczyć. Nie rozumieliśmy – dlaczego. Dopiero później wytłumaczyli nam to przedstawiciele "starszego pokolenia", a gdy nie chcieliśmy wierzyć, dostarczono nam wykradziony po cichu zlepek ziaren. To był wstrząs! Odkrycia, rywalizację, traktowaliśmy do tej pory jak grę w szachy. Dlaczego ktoś miałby oszukiwać? Co mu to da, jeśli utraci własną satysfakcję? I jaki sens ma gra, w której nie wszyscy stosują te same reguły? Czy motor zwany ciekawością, nie jest wystarczający?

Drugi wstrząs przyszedł spoza kraju. Znajomy naukowiec, Polak żyjący stale w USA, opowiedział, jak wiele musiał podjąć przedsięwzięć, włącznie ze zmianą nazwiska, by wyrobić sobie pozycję w tamtejszych laboratoriach. Mimo że Amerykanie uchodzą za bardzo tolerancyjnych, sam fakt bycia Polakiem, ukończenia studiów w mało komu znanym kraju, stanowił wysoką barierę. Pomógł mu kolega fizyk, który jako hobby zbierał afrykańskie maski i publikacje z fizyki napisane w "egzotycznych" państwach, takich jak Etiopia, Paragwaj, Syjam, Bułgaria, czy... Polska.

W tym samym mniej więcej czasie odwiedzili nas w Zakładzie Elektroniki koledzy, którzy po ukończeniu studiów zatrudnili się w świeżo wtedy powstających fabrykach przemysłu półprzewodnikowego. Przynieśli dwa kawałki monokryształów germanu i powiedzieli: "Oba te materiały spełniają nasze warunki techniczne. Mają taką samą rezystywność, czas życia, koncentrację dyslokacji. Z jednego otrzymujemy ponad 80% dobrych diód, z drugiego poniżej 15%. Jeśli wasza nauka jest coś warta, powiedzcie, dlaczego tak się dzieje". Nawet bez takiego "nadeptywania na ambicję" było to zadanie ciekawe. Przesiedzieliśmy nad nim przeszło cztery miesiące, w czasie których jeździliśmy wielokrotnie do fabryki, zbadany materiał obserwowaliśmy w czasie procesów technologicznych, pobieraliśmy próbki po różnych operacjach. Udało się! Warunki techniczne zostały za naszą przyczyną znacznie rozszerzone i uzupełnione. Uzysk powrócił do przyzwoitego poziomu. Nim skończyliśmy ostatecznie z diodami (jeszcze ostrzowymi), pojawili się u nas konstruktorzy tranzystorów. Zadanie było jeszcze ciekawsze. Ale my stanęliśmy wobec dylematu: na "Nowe" i na "Pożyteczne" razem uprawiane nie starczy czasu. Aby być naprawdę dobrym w którejś z tych dziedzin, trzeba się jej poświęcić bez reszty. Nawet samo przygotowanie się do tego, by być pożytecznym, wymaga ogromnego zaangażowania. Opublikować opracowanie nowej metody pomiaru można było po pierwszym porównaniu otrzymanych wyników z wynikami uzyskanymi za pomocą metod już znanych i sprawdzonych. Na to jednak, by tę samą nową metodę zastosować do oceny materiału używanego w produkcji, trzeba było ją tak długo udoskonalać, aż stała się niezawodna, dawała powtarzalne wyniki z dokładnie wyznaczonym marginesem błędów. A to wymagało nieporównanie większych umiejętności niż błysnięcie nowym pomysłem. Z dużą uwagą przyjęliśmy kiedyś wypowiedź Profesora, że jeśli ze stu pomysłów trzy dadzą konkretny pożytek, to można powiedzieć, że dany zespół spełnia pokładane w nim nadzieje. Pokrywało się to mniej więcej z amerykańskimi publikacjami o optymalnym podziale środków przeznaczonych na rozwój najnowocześniejszych dziedzin: na jednego dolara wydanego w dziedzinie badań poznawczych powinny przypadać trzy dolary w badaniach stosowanych i kilkanaście dolarów wydanych na modele i prototypy. A żeby się to nie zmarnowało, trzeba jeszcze dołożyć 100 dolarów na wdrożenia. No dobrze, a co z naszymi ambicjami włączenia się do światowej nauki, co z rywalizacją o "Nowe", co z publikacjami, z komunikatami na konferencjach? Profesor był bardzo oszczędny w słowach, gdy poszedłem kiedyś do niego z tymi wątpliwościami. "Oczywiście, oczywiście, młodzi ludzie powinni móc się sprawdzić w zawodach, w rywalizacji. Póki nie uda się panu umieścić artykułu w znanym czasopiśmie, póty nie nabierze pan przekonania o swojej wartości. A trzeba pisać dużo, nawet do czasopism popularnonaukowych, bo te ludzie najwięcej czytają". Nie pamiętam już, czy Profesor użył dokładnie słów, które przytoczyłem, ale sens ich był właśnie taki. Utkwiły mi one w pamięci, gdyż często do nich wracałem i myśl w nich zawarta, znacznie głębsza i bardziej wielowarstwowa, niż się na pierwszy rzut oka wydaje, znacząco wpłynęła na dalsze moje życie. W wiele lat potem jeden z najznajmniejszych naszych

kolegów dał wyraz tym samym poglądom wieszając w swoim gabinecie (już nie w Zakładzie Elektroniki PAN, lecz w Instytucie Technologii Elektronowej CEMI) cytat z przemówienia Stanisława Staszica: "Umiejętności dopotąd są jeszcze próżnym wynalazkiem, może czczym tylko rozumu wywoдем albo próżniactwa zabawą, dopokąd nie są zastosowane do użytku narodów. I uczeni potąd nie odpowiadają swemu powołaniu, swemu w towarzystwach ludzkich przeznaczeniu, dopokąd w ich naukach, w ich umiejętnościach rządy nie znajdują – podług potrzeby – w wewnętrznej administracji rady i pomocy, dopokąd ich umiejętność nie nadaje fabrykom i rękodzielom oświecenia, ułatwienia kierunku postępu".

Instytut Technologii Elektronowej
Warszawa 1993

Wydanie I. Nakład 200 egz. Ark. wyd. 3,7.
Ark. druk. 3. Papier offsetowy kl. III 70 g.
70 x 100 cm. Podpisano do druku
i druk ukończono w lutym 1993 r.



W przygotowaniu m. in.:

Janusz Kryłow

**Przepływ nośników ładunku w złączach p-n.
Podstawowe parametry charakteryzujące procesy
generacyjno-rekombinacyjne**

Andrzej Kudła

**Badanie własności fotoelektrycznych
struktury $\text{AlSiO}_2\text{-Si}$**

Danuta Brzezińska, Andrzej Kudła

**Wpływ grubości bramki aluminiowej
na fotoprądy struktury $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}$**

Jerzy Klamka

Mikrofalowe bipolarne tranzystory heterozłączowe

**Marek Guzewicz, Anna Piotrowska,
Eliańska Kamińska, Jolanta Adamczewska,
Sławomir Kwiatkowski**

**Własności barierowe cienkich warstw azotku tytanu
otrzymywanych metodą reaktywnego sputteringu**