Prace Instytutu Technologii Elektronowej CEMI 1992 z. 8 s. 29 - 33

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 cm^3 tego materiału i na jego ułomkach (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 wcześnie – 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, kontrolowane 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 przezwyciężenia 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 koleją rzeczy 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 postanowiłam 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, jeszczę jako inżynier, został zwerbowany 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 Świderski, 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 przechowuję 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. Świderski 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 Tauca i Trousila, a wcześniej jeszcze (trzymane początkowo w tajemnicy "służbowej") przez Łaszkariewa z Kijowa. Zjawisko to,powodowane niejednokrotnością oporności właściwej,J. Świderski 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. Świderskim. Opisane badania doprowadziły go także do opracowania spektrofotoelektrycznej 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 fotoelektryczne 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 dużą skalę na świecie badania widzialnego świecenia krzemu po odpowiedniej obróbce powierzchni. J. Świderski 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 fotoelektryczne, w tymże czasie zbadane przez J. Świderskiego, 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 Roosbroecka, 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 nieznane.

Skrótowo 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 młodym, którym życzę najwspanialszych osiągnięć, na jakie zasługują.