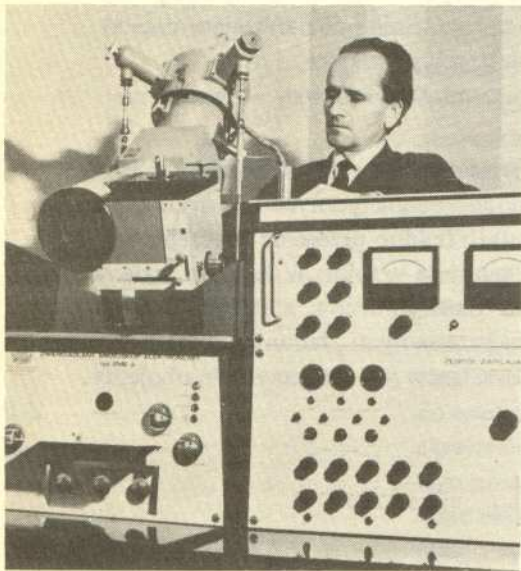


«Delta» z wizytą w Katedrze Fizyki i Elektroniki Ciała Stałego WAT



Doc. dr hab. Edmund Igras przy zwierciadlanym mikroskopie elektronowym

Katedra ta, kierowana przez doc. dra hab. Edmunda Igrasa to jedno z niewielu na świecie laboratoriów wyspecjalizowanych między innymi w budowie unikalnych przyrządów badawczych — zwierciadlanych mikroskopów elektronowych. Za pomocą takiego mikroskopu można na własne oczy zobaczyć ni mniej ni więcej tylko... pole elektryczne, a dokładniej: jego subtelny rozkład w materiale. W odróżnieniu od zwykłego, czyli prześwietleniowego mikroskopu elektronowego, w którym badany preparat prześwietla się wiązką szybkich elektronów, w mikroskopie zwierciadlanym na obiekt kieruje się wiązkę elektronów, którą przed obiektem wyhamowuje się do bardzo niewielkich prędkości, a po „odbiciu” odeń znowu się przyspiesza, by otrzymać obraz obiektu „w świetle odbitym”, a precyzyjniej — nie tyle obraz samego obiektu, ile... rozkładu pól elektrycznych przy powierzchni preparatu. (Dokładniej zasadę działania elektronowego mikroskopu zwierciadlanego wyjaśnia doc. Igras w artykule, który zamieścimy w jednym z następnych numerów).

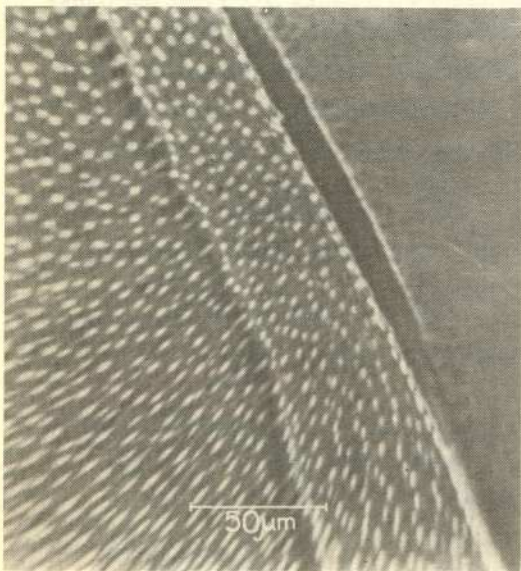
Pierwszy prześwietleniowy mikroskop elektronowy zbudowali M. Knoll i E. Ruska w 1931 r. Sześć lat później, za sprawą H. Recknagela, R. Orthubera i G. Hottenrotha, powstała idea mikroskopu zwierciadlanego (odbiciowego). Jako bardziej skomplikowana nie została jednak zrealizowana, gdyż po prostu nie warto było wtedy płacić dodatkowymi komplikacjami za niewielkie, jak wtedy sądzono, korzyści, które kryły się w możliwości bezpośrednich obserwacji subtelnych rozkładów pól elektrycznych w materiałach (zwłaszcza że mikroskop zwierciadlany nie daje takich powiększeń, jak jego starszy brat). Ale oto kilkanaście lat temu powrócono do tej koncepcji. Przyczyną był rozwój badań nad półprzewodnikami i urządzeniami półprzewodnikowymi (diody, tranzystory). Zrodziła się wtedy pilna potrzeba nowych metod dokładnych badań elektrycznej struktury półprzewodników, zwłaszcza zaś — struktury elektrycznej złącz $n-p$ (kontaktów dwóch półprzewodników: jednego — typu n , drugiego zaś — typu p).

W takiej mniej więcej sytuacji zetknął się z ideą zwierciadlanego mikroskopu elektronowego doc. Igras (wówczas jeszcze magister) jako aspirant profesora G. W. Spiwaka w Uniwersytecie Moskiewskim. Wielce go ta idea zaintrygowała. Po powrocie z aspirantury postanowił nadać jej kształt gotowego urządzenia.

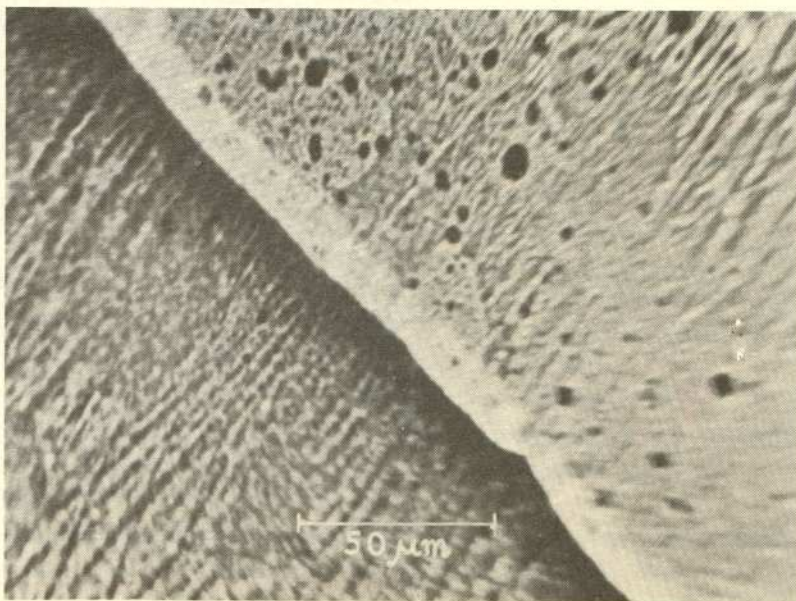
Profesor Leonard Sosnowski, przełożony docenta Igrasa w Instytucie Fizyki PAN, odniósł się do tego bardzo przychylnie. W rezultacie w 1966 roku doc. Igras wraz z doktorem Tadeuszem Warmińskim zbudowali pierwszy polski zwierciadlany mikroskop elektronowy, stosując w nim szereg oryginalnych pomysłów konstrukcyjnych (dwa zostały opatentowane). Sprawą zainteresował się wtedy ówczesny Komitet Nauki i Techniki, który przyznał odpowiednie środki.

Ulepszona wersja urządzenia, w pięciu egzemplarzach, powstała w 1969 roku, już w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, gdzie docent Igras objął katedrę.

Zapytany o dramatyczne momenty w swej pracy rozmówca nasz odpowiedział: praca w laboratorium to jest przede wszystkim praca; wytrwała, często uciążliwa, ale to jedyna metoda, by osiągnąć cel. Tu nie ma co liczyć na szczęście



1. Obraz (elektryczny) kilku barier napięciowych na powierzchni krzemu (w przybliżeniu równoległe linie) oraz licznych niejednorodności elektrycznych powstałych dzięki lokalnym silnym skupiskom atomów domieszek (jasne plamki)

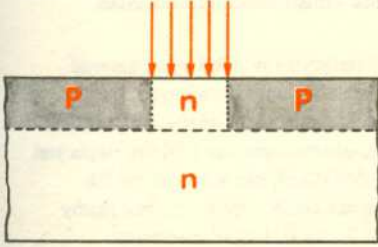


2. Obraz (elektryczny) złącza $p-n$ w krzemie typu n , domieszkowanym atomami galu

(czy jednak zawsze?) ani też spodziewać się nadzwyczajnych rzeczy. Trzeba po prostu pracować, pokonując systematycznie wszystkie kolejne trudności i kłopoty. Tak, ta praca dała podziwu godne rezultaty. Zwierciadlany mikroskop elektronowy jest rzeczywiście niezastąpiony w badaniach elektrycznej budowy złącz $n-p$ (można go też stosować do badań struktury elektrycznej dielektryków, a także magnetycznej ferromagnetyków). Co więcej, tenże mikroskop zwierciadlany umożliwił swemu konstruktorowi odkrycie zupełnie nowego zjawiska.

A było to tak.

Kiedyś na próbce krzemu typu n z cieniuteńką warstewką typu p na wierzchu (zmianą typu przewodnictwa osiągnięto przez wprowadzenie do krzemu atomów galu) położono dość przypadkowo drobną siateczkę metalową (na takich siateczkach umieszcza się preparaty do badań w prześwietleniowym mikroskopie elektronowym). Obserwacja takiego układu w mikroskopie zwierciadlanym nie wykazała niczego ciekawego. Jednakże po zdjęciu siateczki i ponownej obserwacji obiektu (w tymże mikroskopie zwierciadlanym) na jego powierzchni ukazał się... obraz siateczki. Przypominamy: mikroskop zwierciadlany ukazuje

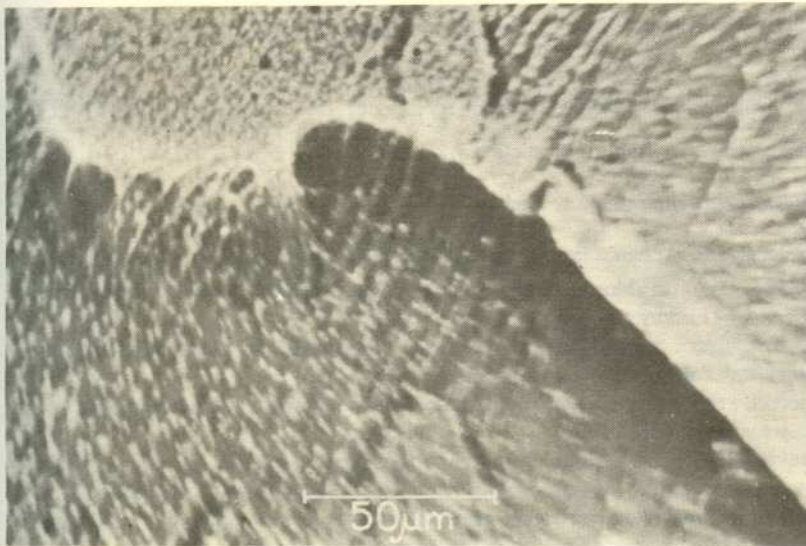


Pod wpływem bombardowania jonami skupionymi w cieniutką wiązkę, cienka warstewka typu p na powierzchni krzemu typu n zamienia typ przewodnictwa (z powrotem na n)

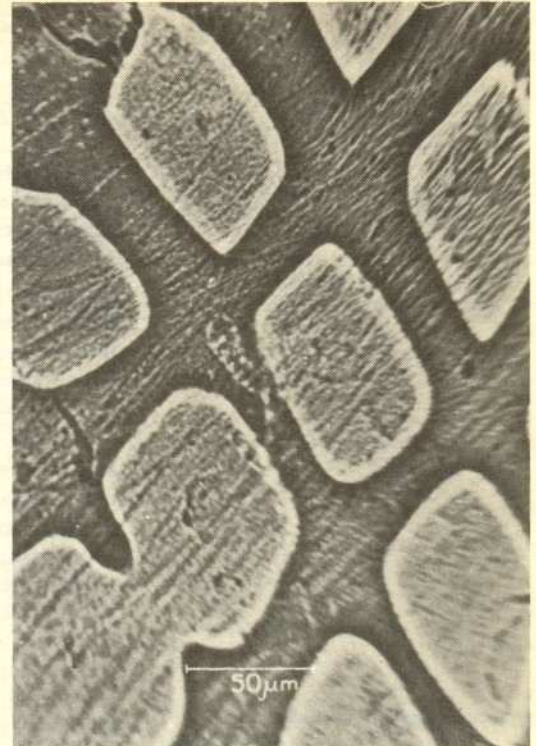
(w mikroskopie, choć jest w nim dość wysoka próżnia, są jednak resztki powietrza; strumienie elektronów zderzają się z molekułami powietrza i jonizują je; powstałe jony rozpędzają się ku próbce i uderzają w nią). No, ale skoro tak, wobec tego ten sam efekt powinno wywołać korpuskularne promieniowanie jonizujące (na przykład strumienie cząstek alfa). Pomiary znów potwierdzają poprawność tego przypuszczenia.

Efekt jest silny, więc i łatwy do zmierzenia. Można go też wykorzystać do pomiaru dawek promieniowania jonizującego. I taki dozymetr, bardzo czuły i o niewielkich, miniaturowych rozmiarach, został rzeczywiście skonstruowany (i opatentowany). Opisane zjawisko kryje więcej możliwości zastosowań — na przykład do produkcji miniaturowych złącz $n-p$ w dużych ilościach (rzędu dziesiątków tysięcy) na powierzchni o wielkości... łebka od szpilki; „ostrą” wiązką jonów można byłoby też na warstewce zapisać „maczkami” wiele różnych informacji (które odczytać można jedynie w zwierciadlanym mikroskopie elektronowym). Zjawisko jest też intrygujące z fizycznego punktu widzenia (jego wyjaśnienie — zobacz zapowiadany artykuł doc. Igrasa), czemu bowiem występuje tylko w krzemie domieszkowanym galem, a w innych przypadkach nie? Być może, odpowiedź na to pytanie rozszerzy naszą wiedzę o roli i zachowaniu się atomów domieszek w półprzewodnikach.

Z.P.



3. Obraz (elektryczny) tego samego obszaru powierzchni krzemu, co na zdjęciu 2, lecz po krótkim bombardowaniu jonami części powierzchni w pobliżu złącza. Wskutek zneutralizowania atomów galu pod względem aktywności elektrycznej przez bombardujące jony, obszar typu n (jaśniejszy) rozszerzył się



4. Obraz (elektryczny) struktur typu n i typu p na powierzchni krzemu. Części powierzchni o przewodnictwie typu n są jaśniejsze. Początkowo cała powierzchnia krzemu była typu p , gdyż krzem domieszkowano powierzchniowo galem. Po położeniu na próbce siateczki bombardowano układ jonami. W miejscach nie zasłoniętych atomy galu straciły, pod wpływem bombardujących jonów, swą aktywność elektryczną i nastąpiła zmiana typu przewodnictwa na pierwotny, to jest na typ n . W obszarach zasłoniętych drucikami zachował się, oczywiście, typ przewodnictwa uwarunkowany przez atomy galu (to jest typ p)



5. Obraz tej samej części powierzchni, co na zdjęciu 4, widzianej w zwykłym mikroskopie (światłym). Tutaj widać tylko drobne rysy geometryczne