



Uzyskany w KOMBORZE OXYPULLER szafir może posłużyć np. jako podłoże do budowy niebieskiego lasera.

Bez Jana Czochralskiego nie byłoby dziś pecetów

# Praojciec elektroniki

Najbardziej zasłużonym dla świata polskim naukowcem jest – obok Mikołaja Kopernika i Marii Skłodowskiej-Curie – Jan Czochralski. Wyniki jego badań do dziś stanowią podstawę produkcji przemysłu elektronicznego.

Maciej Laskus, konsultacja: Anna Pajęczkowska, Paweł Tomaszewski

**B**ez odkrycia dokonanego przez rodzimego uczonego z pewnością znacznie później trafiłyby do domów telewizory, odbiorniki radiowe, zegarki kwarcowe i wszelkie inne urządzenia, do działania których niezbędne są układy scalone.

## Geniusz bez matury

Biografia urodzonego w 1885 roku Jan Czochralskiego pełna jest białych plam. Nie jest pewne, czy zdał maturę. Ponoć podał świadectwo, zwracając się do profesora słowami: „Proszę przyjąć do wiadomości, że nigdy nie wydano bardziej krzywdzących ocen!”. Jako ósmy syn ubogiego stolarza nie mógł sobie pozwolić na drogie studia. Praktykował zatem u aptekarza w Krotoszynie. Ten, w momencie kiedy doszedł do wniosku, że nie jest go w stanie więcej nauczyć, wysłał Czochralskiego do Berlina. Tam młody Polak odkrywał tajniki analizy rud metali, olejów i smarów. W wieku 21 lat pracował w laboratorium firmy Kunheim & Co., a rok później

był już kierownikiem oraz inspektorem produkcji w rafinerii miedzi firmy AEG (Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft).

Od 1910 roku uzupełniał wykształcenie, studiując chemię na politechnice w Charlottenburgu. Ożenił się wówczas z pochodzącą z bogatej rodziny Margueritą Hasse i od tego momentu, nie musząc się już martwić o pieniądze, całkowicie poświęcił się nauce.

## Twórcze roztargnienie

Największe odkrycie Polaka, nazwane później „metodą Czochralskiego”, zostało dokonane w 1916 roku. Jak to często bywa, duży udział w rewolucyjnym wynalazku miał przypadek. Czochralski starał się wymyślić sposób pomiaru szybkości, z jaką tworzą się z roztopu kryształy metali. Po wielu nieudanych próbach rozwiązania problemu odsunął tygle i zabrał się do robienia notatek z przeprowadzonych doświadczeń. Było już dość późno i zmęczony badacz przez nieuwagę zanurzył pióro w roztopionej cynie

zamiast w kałamarzu. Kiedy je wyciągnął i przyjrzał się stalówce, zauważył, że ciągnął się za nią cieniutki – grubości włosa – drucik cyny. Jako człowiek nauki, zamiast przejść nad tym do porządku dziennego i wyczyścić pióro, Czochralski sprawdził strukturę obiektu za pomocą promieni Roentgena. Okazało się, że drucik jest pojedynczym kryształem cyny.

Wówczas technika uzyskiwania monokryształów nie znalazła praktycznego zastosowania (choć korzystało z niej wielu badaczy do otrzymywania kryształów metali), polski badacz jej jednak nie opatentował. Dopiero pod koniec lat 40. dwaj amerykańscy naukowcy, G.K. Teal i J. B. Little, pracujący dla Bell Laboratories, zaadaptowali metodę Czochralskiego do uzyskiwania kryształów krzemu o dużych rozmiarach. Ta technologia uzyskiwania kryształów posłużyła do przemysłowego wytwarzania monokryształów krzemu, z których po pocięciu na płytki robiło się i robi do dzisiaj wszelkie układy elektroniczne, z procesorami na czele.

## Do profesury na skróty

Polski naukowiec nie musiał długo czekać na sławę. W 1917 roku, mając 32 lata, opuścił Berlin i przeniósł się do Frankfurtu nad Menem. Objął tam stanowisko szefa laboratorium metaloznawczego Metallbanku i kierował grupą 19 osób, pracując nad uzyskaniem nowego stopu do produkcji łożysk. Efektem



Komora Oxypuller 05-03 z ITME, gdzie w temperaturze dochodzącej do 2000 stopni Celsjusza uzyskuje się metodą CZOCHRALSKIEGO kryształy tlenków.

## Technologia produkcji monokryształów

## » Magiczny tygielek

Cała sztuka otrzymania jednorodny materiału polega na precyzyjnym kontrolowaniu temperatury, a więc szybkości krystalizacji. Dokładność dochodząca do 0,001 stopnia Celsjusza nikogo już nie zadziwia, a często jest wręcz niezbędnym minimum, aby otrzymać wystarczająco homogeniczny kryształ. Materiał, np. krzem, po roztopieniu w tyglu ochładzany jest do temperatury krzepnięcia, ale nie w całej objętości, lecz jedynie w niewielkim obszarze przy powierzchni roztopu. Wewnątrz roztopu zachowany być musi odpowiedni gradient (rozkład) temperatury, tak aby proces krystalizacji nie został zakłócony przez przypadkowe ruchy cząsteczek wywołane różnicą temperatur (ruchy konwekcyjne). Precyzyjna kontrola temperatury w całej objętości tygla wymaga, by urządzenie krystalizacyjne jednocześnie ogrzewało i chłodziło roztop w różnych jego częściach.

Po uzyskaniu wymaganego gradientu do powierzchni roztopu przykładają się niewielki zarodek krystalizacji. Jest to odrobina monokrystalicznego materiału o zada-

nej orientacji krystalograficznej, czyli sposobie ułożenia atomów i cząsteczek w przestrzeni. Następnie zarodek zaczyna się obracać wokół własnej osi i wyciągany jest ze stopu w ściśle określonym, stale kontrolowanym tempie, tak aby nie zakłócać procesu krystalizacji ani „nie urwać” rosnącego kryształu. Od doboru prędkości obrotowej, temperatury w tyglu oraz szybkości wyciągania zależy średnica i jakość rosnącego kryształu. Dzięki temu można otrzymać zarówno najczęściej wykorzystywane w przemyśle półprzewodnikowym monokrystaliczne walce o średnicy 205 mm, jak i zastosowane ostatnio do produkcji procesorów Pentium 4 krzemowe monolity o promieniu 152,5 mm.

Warto podkreślić, że średnia prędkość wzrostu kryształu w metodzie Czochralskiego jest najszybsza ze wszystkich znanych metod hodowli monokryształów i wynosi od 1 do 40 mm na godzinę. Tę technikę można zastosować do wielu rodzajów materiałów i na nasze szczęście jednym z nich jest krzem!

Marcin Bieńkowski

prac było opatentowanie w 1924 roku tzw. bahmetal. To odkrycie przyniosło mu majątek, niemal natychmiast prawa do patentu wykupiła bowiem kolej niemiecka, a kilka lat później firmy ze Stanów Zjednoczonych, Czechosłowacji, ZSRR, a także Polski.

W 1927 roku zaprosił go do Polski osobiście prezydent Ignacy Mościcki. Dwa lata później Jan Czochralski wrócił do kraju i objął specjalnie dla niego utworzoną Katedrę Metalurgii i Metaloznawstwa na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej. Decyzja ta oznaczała rezygnację z innych, bardziej intratnych ofert, jak choćby te, które składało mu kierownictwo zakładów Forda.

Aby w pełni formalnie piastować swoje stanowisko na Politechnice, Czochralski powinien mieć odpowiednie wykształcenie. Problem ten rozwiązano, przyznając mu doktorat honoris causa, a po kilku miesiącach także tytuł profesora.

Podczas okupacji odkrywca metody produkcji monokryształów zorganizował Zakład Badań Materiałów. Było to możliwe tylko dzięki jego dobrym znajomościom w niemieckich kręgach naukowych. Powstanie ZBM uchroniło wielu polskich naukowców przed wywiezieniem ich do Niemiec. Drugą stroną medalu było jednak to, że



Urządzenie do **BEZTYGLOWEJ PRODUKCJI MONOKRYSTAŁÓW** stanowi alternatywę dla metody Czochralskiego, ale pozwala uzyskać znacznie mniejsze kryształy.

zajmowali się oni m.in. pracą dla Wehrmachtu. Jednocześnie pracownicy ZBM w tajemnicy przed okupantem zaopatrywali AK w broń. Ta dwuznaczna sytuacja stała się po wojnie pretekstem do postawienia Czochralskiemu zarzutu kolaboracji z hitlerowcami. Uczony został aresztowany, ale do procesu nie doszło, gdyż nie było dowodów winy.

## Wynalazek przed potrzebą

Niemal do połowy ubiegłego wieku metoda wyciągania monokryształów z jednorodnego roztopu (tzw. roztopu), opracowana przez Jana Czochralskiego, znana była tylko wąskiemu gronu specjalistów zajmujących metalurgią. Co ciekawe, pierwotnie służyła ona nie do hodowli dużych monokryształów metali, których niemal nikt w tamtych czasach nie potrzebował, lecz wykorzystywana była do pomiaru szybkości krystalizacji metali. Dzisiaj metodą Czochralskiego wytwarzane są niemal wszystkie monokryształy krzemu i arsenku galu, z których następnie wycina się płytki (tzw. wafle) służące do produkcji układów scalonych. W Polsce zajmuje się tym Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych w Warszawie. Technologia wyciągania monokryształów z roztopu była rozwijana i dopasowywana do konkretnych potrzeb, lecz jej podstawy we wszystkich odmianach pozostawały zawsze takie same.

Gdy Teal i Little zwrócili uwagę na uzyskiwanie monokryształów metodą Czochralskiego, kładąc podwaliny pod potęgę przemysłu elektronicznego, wielki wynalazca w małym laboratorium w rodzinnej Kcyni produkował pastę do butów i płyn do trwałej ondulacji. Profesor będący najczęściej cytowanym w literaturze fachowej Polakiem zmarł w 1953 na zawał serca. Dziś medale im. Jana Czochralskiego przyznają dwie organizacje: polska i japońska. ■



**OLBRZYMI MONOKRYSTAŁ KRZEMU** tnie się na cienkie plastry, które po oszlifowaniu służą do produkcji wszelkich układów elektronicznych.



Mierząca prawie **PÓLTORA METRA** długości i 20 cm średnicy bryła krzemu jest jednym gigantycznym kryształem.