

dr Roksana Maćkowska,  
kierownik działu zbiorów mineralogicznych  
i petrograficznych Muzeum Ziemi PAN w Warszawie.

## **Jan Czochralski – fenomenalny odkrywca, którego odkrycie zmieniło świat**

### **1. Wstęp**

We współczesnej nauce i technice szeroko wykorzystuje się urządzenia oparte na monokryształach (pojedynczych kryształach o jednolitej sieci krystalicznej, powstających w procesie krystalizacji z substancji ciekłych, gazowych lub stałych, w określonych temperaturach oraz pod odpowiednimi ciśnieniami). Nowoczesne środki transportu, sprzęt medyczny i wojskowy, wszelkiego rodzaju aparatura badawcza oraz elektroniczne urządzenia codziennego użytku (komputery, telefony, telewizory, aparaty fotograficzne itp.), nie mogłyby funkcjonować bez kryształów. Większość monokryształów wytwarzana jest metodą wybitnego, polskiego metaloznawcy – prof. Jana Czochralskiego, który dokonał odkrycia przypadkowo dzięki pomyłkowemu zanurzeniu pióra w roztopionej cynie, zamiast w kałamarzu.

Czochralski był wybitnym naukowcem, ale jednocześnie inżynierem praktykiem i genialnym wynalazcą. Jego niestandardowe, nowatorskie podejście do rozwiązywanych trudnych zagadnień wynikało z interdyscyplinarnego podejścia. Określa się go jako chemika, krystalografa, metalurga i metaloznawcę. Z drugiej strony, jego dewizą było równoczesne prowadzenie badań podstawowych i stosowanych, co pozwalało na efektywne rozwiązywanie problemów praktycznych, czego się chętnie podejmował (Królikowski, Przygodzki 2014).

Nie bez znaczenia jest także odkrycie przez prof. Czochralskiego bezcynowego stopu łożyskowego, zwanego metalem B. Wynalazek ten znalazł zastosowanie w kolejnictwie, gdzie był wykorzystywany powszechnie do lat 60. wieku XX. Dzięki temu odkryciu utalentowany badacz stał się człowiekiem sławnym i bogatym.

Pomimo znacznych dokonań mało, kto zna nazwisko tego znakomitego naukowca. Jan Czochralski przez wiele lat uznawany był za zdrajcę i podejrzewany o kolaborację z nazistami podczas II Wojny Światowej. Dopiero w roku 2011, po ujawnieniu nieznanych wcześniej dokumentów przywrócono profesorowi dobre imię. Celem niniejszej publikacji jest przybliżenie sylwetki prekursora światowej elektroniki oraz przedstawienie jego najważniejszych wynalazków.

## 2. Biografia

Jan Czochralski urodził się 23 października 1885 w Kcyni (obecnie województwo kujawsko-pomorskie), znajdującej się wówczas w zaborze pruskim. Był ósmym z dziesięciorga dzieci. Ukończył Seminarium Nauczycielskie w rodzinnym mieście, ale nie mogąc pogodzić się z ocenami, podarł świadectwo maturalne. Brak tego dokumentu zamykał drogę do dalszej kariery nauczycielskiej i naukowej. Pomimo tego, że przerwał naukę w szkole średniej, konsekwentnie rozwijał swoje zainteresowania chemią i zdobywał umiejętności poprzez praktykę w drogeriach, aptekach oraz laboratoriach (Królikowski, Przygodzki 2014). Ponieważ ojcu nie podobały się ryzykowne chemiczne eksperymenty syna, mający zaledwie 16 lat Jan zmuszony został do opuszczenia swojego rodzinnego domu. Zamieszkał w Trzemeszynie i zatrudnił się w krotoszyńskiej aptece. W roku 1904 wyjechał do Berlina, gdzie podjął pracę w laboratoriach koncernu Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG). W tym samym czasie uczestniczył w wykładach z chemii specjalnej na Politechnice w Charlottenburgu pod Berlinem. Jan Czochralski zdobywał także praktykę w laboratoriach chemicznych badających stopy metali. Jednocześnie uczęszczał na wykłady na Wydziale Sztuki Uniwersytetu Berlińskiego, gdzie poznał swoją przyszłą żonę. W roku 1910 uzyskał tytuł inżyniera chemika. W tym samym roku ożenił się z Margueritą Haase, pianistką pochodzącą z holenderskiej rodziny osiadłej w Berlinie ([www.janczochralski.com](http://www.janczochralski.com)).



Fig. 1. Jan Czochralski z rodziną (Tomaszeski 2014a)

W latach 1911 - 1914 Jan Czochralski był asystentem Wicharda von Moellendorffa, z którym opublikował swoją pierwszą pracę poświęconą krystalografii metali. Głównym zadaniem młodego naukowca było wprowadzenie aluminium do elektroniki. Metale i metalografia stały się pasją uczonego ([www.janczochralski.com](http://www.janczochralski.com)).

W roku 1916 Czochralski opracował metodę pomiaru szybkości krystalizacji metali i produkcji monokryształów o doskonałych właściwościach technicznych, nazwaną później Jego imieniem. Naukowiec swojego odkrycia dokonał przez przypadek. Któregoś wieczoru odstawił na biurko tygiel ze stopioną cyną i zaczął sporządzać notatki z badań. W pewnym momencie zanurzył pióro w tyglu zamiast w kałamarzu. Kiedy szybko je wyciągnął, na końcu stalówki zauważył cienką nić metalu. Po zbadaniu okazało się, że drucik jest czystą cyną. Pierwsza publikacja dotycząca metody Czochralskiego ukazała się w roku 1918 (Siódmiak, Gadomski 2005).

W roku 1919 Jan Czochralski założył Niemieckie Towarzystwo Metaloznawcze, którego został prezesem w roku 1925. Pomimo braku tytułów i dyplomów dokonał wielu ważnych odkryć. W jego laboratorium stworzono między innymi lekki i bardzo wytrzymały stop duraluminium, który jest do dziś stosowany przy budowie samolotów. W roku 1924 naukowiec opatentował odporny na korozję stop łożyskowy nazwany metalem "B" (pochodzącym od *Bahnmetal* - metal kolejowy), który zastąpił cynę używaną wcześniej w panewkach wagonów i lokomotyw. Patent przyniósł Polakowi fortunę ([www.janczochralski.com](http://www.janczochralski.com); Krajewski 2005).

W roku 1928, w wyniku próśb prezydenta Polski i zarazem wybitnego chemika Ignacego Mościckiego, Jan Czochralski wrócił na stałe do ojczyzny. Objął stanowisko profesora kontraktowego Politechniki Warszawskiej, a w listopadzie roku 1929 został doktorem honoris causa. W kolejnym roku uzyskał tytuł profesora zwyczajnego (Krajewski 2005).

Zdobyty za granicą majątek prof. Czochralski zainwestował w polski przemysł, a także przeznaczał na cele społeczne. W jego rezydencji odbywały się spotkania świata artystycznego Warszawy. Aktywnie uczestniczył w działalności Polskiego Towarzystwa Chemicznego, Stowarzyszenia Mechaników Polskich oraz Stowarzyszenia Hutników Polskich. W roku 1934 został kierownikiem utworzonego przez siebie Instytutu Metalurgii i Metaloznawstwa prowadzącego badania metaloznawcze na zlecenie przemysłu i wojska ([www.janczochralski.com](http://www.janczochralski.com)).

Po wybuchu II wojny światowej Jan Czochralski wraz z rodziną pozostał w Warszawie, gdzie korzystając ze swych znajomości zorganizował Zakład Badań Materiałów, w którym znaleźli zatrudnienie pracownicy Jego instytutu oraz liczni członkowie Związku Walki Zbrojnej (później AK), zatrudnieni na fikcyjnych etatach. Instytucja pracowała głównie na potrzeby miasta, jednocześnie pozwalając na wytwarzanie części uzbrojenia dla ruchu oporu przy współdziałaniu powstałej na terenie Zakładu komórki Armii Krajowej. Dzięki naukowcowi około 150 osób zostało uchronionych przed aresztowaniem i wywiezieniem do obozów. W tym czasie uczony wspomagał także Żydów z getta oraz pomagał w wydostaniu więźniów z obozów koncentracyjnych. Dzięki znajomości wśród Niemców stał się pośrednikiem i pomocnikiem dla rodzin próbujących ocalić swoich bliskich. Jan Czochralski ratował także zbiory niszczonego muzeum oraz majątek Politechniki Warszawskiej ([www.janczochralski.com](http://www.janczochralski.com)).

Spokojną działalność naukowca przerwało Powstanie Warszawskie. Po zakończeniu walk trafił do Milanówka, gdzie znowu skorzystał ze swojej „uprzywilejowanej” pozycji wśród Niemców i dostał od nich przepustkę, dzięki której mógł wyjeżdżając do bezustannie niszczonej Warszawy i wywieźć z miasta dużą część wyposażenia swojego Instytutu Metalurgii i Metaloznawstwa (Krajewski 2005).

Po wojnie prof. Czochralski został oskarżony o współpracę z Niemcami na szkodę narodu polskiego i aresztowany. Po czterech miesiącach spędzonych w więzieniu w Piotrkowie Trybunalskim śledztwo umorzono. Podejrzenia o utrzymywanie kontaktów z Niemcami w czasie okupacji stały się jednak podstawą do podjęcia przez Senat Politechniki Warszawskiej w roku 1945 decyzji zabraniającej mu powrotu na uczelnię (Cieśliński 1998; Krajewski 2005).

W roku 1945 Jan Czochralski powrócił do swojego miasta rodzinnego - Kcynii, gdzie miał swój drugi dom. Nie przyjął propozycji wyjazdu do Austrii. Zainteresował się tym, co dotyczyło okolic rodzinnych. Wspomagał zarówno badania archeologiczne (wykopaliska w Biskupinie), jak i poszukiwania geologiczne złóż ropy naftowej ([www.janczochralski.com](http://www.janczochralski.com)).

1 kwietnia 1946 roku w Kcyni Jan Czochralski uruchomił firmę Zakłady Chemiczne BION – dr inż. M. Wojciechowski S-ka. Fabryka mieściła się w pomieszczeniach domu przy ul. Poznańskiej 28 (dziś Poznańska 43). Zakłady te produkowały różnego rodzaju wyroby kosmetyczne i drogeryjne takie jak lak butelkowy, lak stemplowy, świece, sól szybkopekująca w papierowych workach oraz słynny proszek od kataru z Gołąbkim (Tomaszewski 2014 a).

Po rewizji, przeprowadzonej w willi naukowca przez Urząd Bezpieczeństwa, Jan Czochralski doznał ataku serca i 22 kwietnia roku 1953 zmarł w szpitalu w Poznaniu. Został pochowany w grobowcu koło kaplicy na starym cmentarzu w mieście rodzinnym (Krajewski 2005).

Starania o rehabilitację Jana Czochralskiego podejmowano na Politechnice Warszawskiej kilkakrotnie. Dopiero dokumenty odnalezione w 2011 roku pozwoliły jednoznacznie potwierdzić współpracę naukowca z wywiadem Komendy Głównej Armii Krajowej, dzięki czemu uchwałą z 29 czerwca 2011 roku, Politechnika Warszawska całkowicie zrehabilitowała prof. Czochralskiego i przywróciła dobre imię współtwórcy dzisiejszej, nowoczesnej elektroniki. Sejm Rzeczypospolitej, w celu uhonorowania wybitnego uczonego, ustanowił rok 2013 Rokiem Jana Czochralskiego (Krajewski 2005).

### **3. Odkrycia Czochralskiego**

#### **3.1 Metal B i radiomikroskop**

Jan Czochralski jest znany przede wszystkim jako wynalazca metody wzrostu monokryształów wywodzącej się z opracowanego przez niego sposobu pomiaru szybkości krystalizacji. Inne metody badawcze wprowadzone i stosowane przez polskiego naukowca są mniej kojarzone z Jego nazwiskiem. Badacz próbował opisać ilościowo analizowane zjawiska i był autorem wielu nowatorskich metod pomiarowych stosowanych do dzisiaj, między innymi mikroskopia ze skanującą sondą jest wiązana z zasadą działania radiomikroskopu, analiza obrazów mikroskopowych z inkluzometrem, a rozwój korozji naprężeniowej ocenia się na podstawie pomiarów wytrzymałościowych (Królikowski, Przygodzki 2014).

Pierwszym, ważnym odkryciem prof. Jana Czochralskiego był radiomikroskop – urządzenie do badania składu próbek metali i stopów. Przyrząd, będący połączeniem mikroskopu metalograficznego i układu odbiorczego radia kryształkowego, opracowany w roku 1925, można uważać za pierwowzór współczesnych skaningowych mikroskopów analizujących (SPM) (Tomaszewski 2014 a, b).

Drugie odkrycie przyniosło Czochralskiemu sławę i bogactwo. Był to stop ołowiu, wapnia, sodu, glinu potasu i litu, stosowany na panewki łożysk ślizgowych dla kolejnictwa nazwany metalem „B” (od niemieckiego bahnmittel). Dzięki niemu zastąpiono trudnodostępną cynę. Stop miał być na tyle miękki, żeby dobrze smarować oś wagonu, ale jednocześnie na tyle twardy, aby nie zużywał się zbyt szybko. Odkrycie Czochralskiego zrewolucjonizowało ówczesny transport kolejowy największych potęg gospodarczych świata.

Dla państwa niemieckiego, które musiało po przegranej wojnie sponać reparacje i objęte było jeszcze embargiem na materiały strategiczne, wynalazek dzięki któremu nie trzeba już było importować drogiej cyny był na wagę złota (Tucholski 2014).

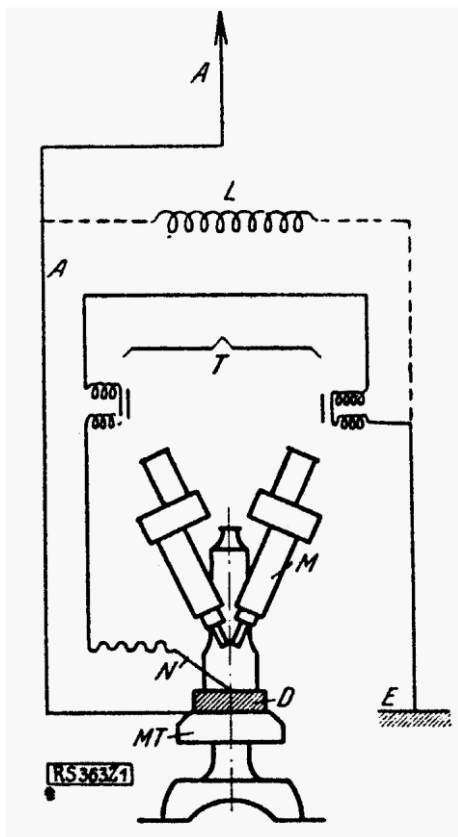


Fig. 2. Schemat radiomikroskopu Czochralskiego (Tomaszeski 2014a za Czochralski 1925)

### 3.2 Metoda Czochralskiego (Metoda Cz)

Monokryształy powstają w czasie tworzenia się fazy stałej z fazy gazowej lub ciekłej oraz w czasie przemiany fazy stałej w inną fazę stałą. Warunkiem wytworzenia się monokryształu jest powstanie trwałego zarodka. Powstanie zarodka w ośrodku gazowym lub w roztworze warunkuje jego przesycenie, natomiast w ośrodku ciekłym – przechłodzenie (Wojtczak, Ziomek 2008).

W roku 1916 Czochralski opracował metodę pomiaru szybkości krystalizacji metali polegającą na pomiarze szybkości maksymalnej, z jaką można wyciągnąć ze stopu danego metalu ciekłą nić krystaliczną, tak by nie doszło do jej zerwania (Tomaszewski 2017). Wcześniej znano sposoby wyznaczania szybkości krystalizacji, ale nie można było ich zastosować dla procesu krystalizacji metali z roztopu (stopionego metalu), z uwagi na jego nieprzezroczystość. Wynaleziona przez Czochralskiego metoda pomiaru była prosta. W tyglu utrzymywano roztop metalu w temperaturze nieznacznie przekraczającej temperaturę

krzepnięcia, do powierzchni którego zbliżano szklaną kapilarę, w wyniku zetknięcia z którą roztop ulegał zestaleniu. Następnie kapilara była podnoszona i wskutek postępującej krystalizacji roztopu na jej końcu powstało długie, cylindryczne włókno metaliczne, nazywane „igłą krystaliczną”. Stałą prędkość podnoszenia kapilary, zawieszanej na jedwabnej nici, zapewniał mechanizmu zegarowy, a obliczano ją obserwując przemieszczanie się sprzężonego z kapilarą wskaźnika wzdłuż wyskalowanej prowadnicy. Stąd początkowo Czochralski nazywał swój sposób pomiaru metodą kapilarną (Królikowski, Przygodzki 2014).

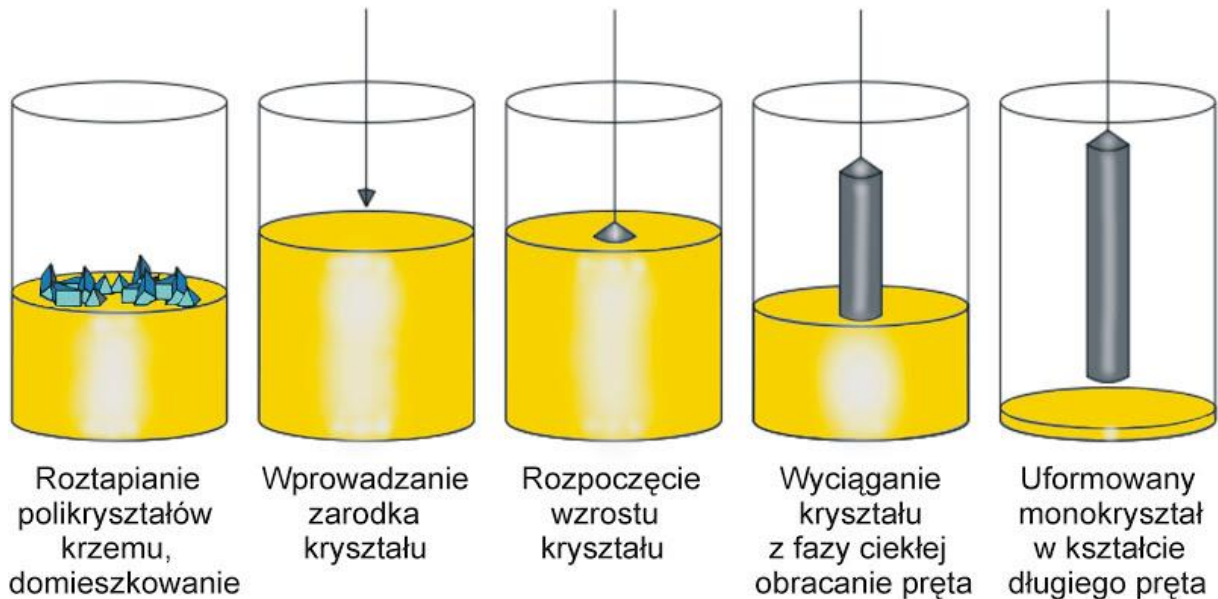


Fig. 3. Schemat metody Czochralskiego

(źródło: [http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Czochralski\\_Process\\_PL.svg](http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Czochralski_Process_PL.svg) oraz <http://www.poland.gov.pl/Patroni,2013,Jan,Czochralski,Kalendarium,5577x2995.html>)

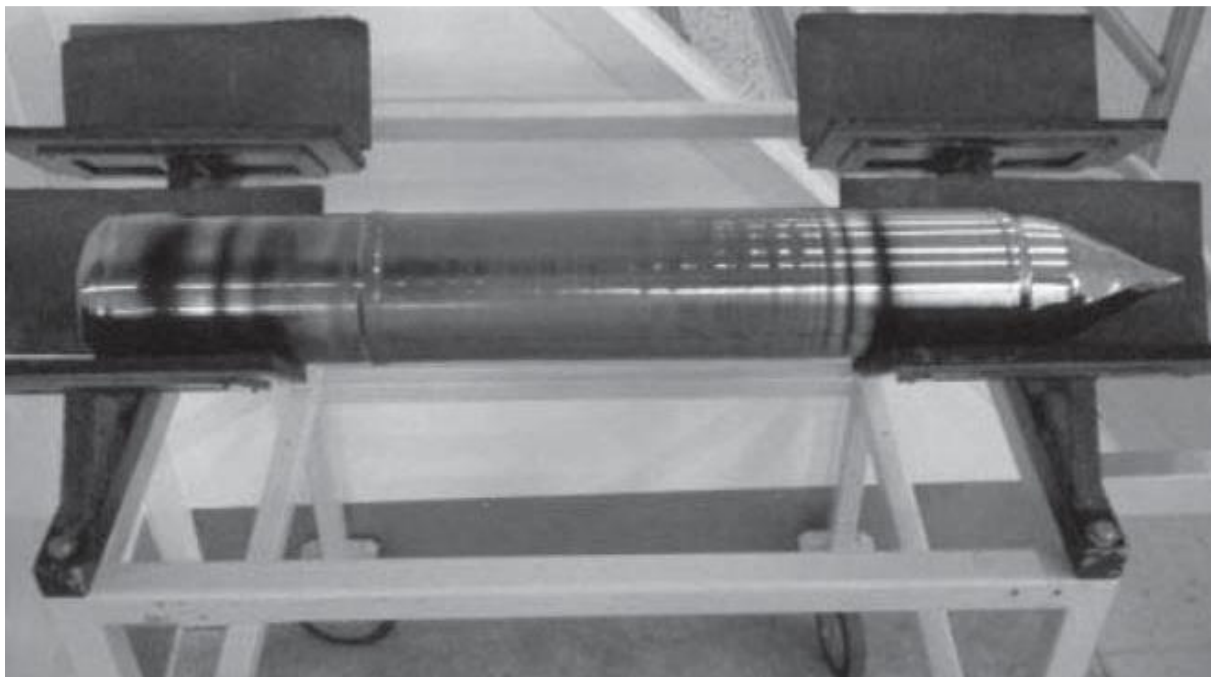


Fig. 4. *Kryształ Czochralskiego* Źródło:

<http://www.poland.gov.pl/Patroni,2013,Jan,Czochralski,Kalendarium,5577x2995.html>

Czochralski stosował tygiel z węgla drzewnego, ponieważ surowiec ten nie wchodzi w reakcję z metalami występującymi w analizowanym stopie. Poza tym węgiel drzewny w czasie topienia oczyszcza stop i szlamuje zanieczyszczenia, przez co nadaje mu doskonałą kowalność w ich dalszej obróbce walcowania (Tomaszewski 2017). Obecnie w zależności od topionego metalu do topienia stosuje się tygły wykonane z kwarcu, grafitu, azotku boru bądź innego materiału żaroodpornego niewchodzącego w reakcję z topionym metalem. Aby zapewnić czyste warunki hodowli i nie dopuścić do utlenienia materiałów wyjściowych, proces przeprowadzany jest w próżni lub w atmosferze gazu obojętnego (Mikulski 2013).

Przełom w rozwoju metody Czochralskiego nastąpił po wynalezieniu tranzystora germanowego w Bell Telephone Laboratories w Murray Hill, NJ, USA, w dniu 16 grudnia 1947 roku (Tomaszewski 2017). Metoda Cz poddana została wielu udoskonaleniom, lecz jej idea nie uległa zmianie. Współcześnie metodą Czochralskiego hoduje się monokryształy krzemu dla przemysłu półprzewodników. Metodyka ta znalazła swoje rewelacyjne zastosowanie dopiero w latach 50. wieku XX, po skonstruowaniu tranzystora przez Waltera Housera Brattaina, Johna Bardeena i Williama Bradforda Shockleya. Za swój wynalazek cała trójka naukowców otrzymała Nagrodę Nobla z fizyki w roku 1956. Czasem bywa tak, że naukowe odkrycie wyprzedza swoją epokę historyczną. Tak było właśnie w przypadku Jana Czochralskiego (Mikulski 2013). Istnieją liczne odmiany metody Czochralskiego, w zależności od właściwości substancji i rodzaju gazu stanowiącego atmosferę ochronną. Wyciągany z roztopu monokryształ może mieć kształt dysku lub słupa (Wojtczak, Ziomek 2008).

Metoda Czochralskiego ma kilka istotnych zalet: kierunkowość wzrostu kryształu określona przez orientację zarodka, wzrost beznaprężeniowy wobec braku kontaktu z tygłem, łatwość kontroli jakości i składu chemicznego poprzez możliwość domieszkowania podczas hodowli, możliwość ponownego przetopienia kryształu o niepożądanych właściwościach w całości lub częściowo (co obniża straty materiału i koszty produkcji) oraz możliwość otrzymywania dużych kryształów (Tomaszewski 2017). Monokryształy otrzymane metodą Czochralskiego charakteryzują się niespotykaną w przyrodzie doskonałością struktury krystalograficznej, a ponieważ granica między fazą stałą i ciekłą jest płaska, to doskonale nadają się do produkcji cienkich płytek, które nie wykazują niejednorodności właściwości fizycznych wzdłuż promienia. Masa monokryształów otrzymanych tą metodą może osiągnąć wielkość kilkudziesięciu kilogramów (Wojtczak, Ziomek 2008).



#### 4. Podsumowanie

Monokrystaliczne pręty z krzemu o dużej średnicy i małej ilości defektów są podstawowymi surowcami przemysłu mikroelektroniki, który przejął kluczową pozycję w zakresie informacji i technologii komunikacyjnej. Produkcja komponentów opartych na krzemie sprzyja rozwojowi przemysłu wysokich technologii. Bez mikroprocesorów wykonanych z monokryształów krzemu nie moglibyśmy komunikować się za pomocą telefonu komórkowego czy Internetu, płacić za pomocą karty kredytowej lub chronić samochodu za pomocą alarmu. Wszystko to zawdzięczamy twórcemu błędowi Jana Czochralskiego, praojca współczesnej elektroniki. Człowiekowi, które na wiele lat został zapomniany.

#### Literatura

**Cieśliński P.** 1998 – Uczony, którego nie ma, *Magazyn Gazety Wyborczej*, nr 1998/05, s. 19-20.

[http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Czochralski\\_Process\\_PL.svg](http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Czochralski_Process_PL.svg)

<http://www.poland.gov.pl/Patroni,2013,Jan,Czochralski,Kalendarium,5577x2995.html>

**Krajewski A. W.**, 2005 – Wyklęty odkrywca, *Focus*, nr 10, s. 50-54.

**Królikowski A.**, Przygodzki J. R, 2014 – Metody badawcze profesora Jana Czochralskiego, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, vol. 60, nr 8, s. 525-528.

**Mikulski K.**, 2013 – Jan Czochralski i jego rok 2013, *Fizyka w szkole*, nr 4/2013, s. 4-7.

**Siódmiak J., Gadomski A.**, 2005 – Od metody wyznaczania szybkości krystalizacji metali do nowoczesnej technologii otrzymywania kryształów półprzewodnikowych i białkowych, *Chemik*, vol. 58, nr 10, s. 535-538.

**Tomaszewski P. E.**, 2014a – Jan *Czochralski* – historia człowieka niezwykłego, *Prace Komisji Historii Nauki Polskiej Akademii Umiejętności*, t. 13, s. 57-72.

**Tomaszewski P. E.**, 2014b – Jan Czochralski, ojciec cywilizacji elektronicznej – czyli jak „twórczy błąd” zmienił losy świata, *Mówią Wieki. Polskie osiągnięcia naukowo-techniczne*, nr 10, s. 74-76.

**Tomaszewski P. E.**, 2017 – Od wazeliny do krzemowej rewolucji: czyli niezwykła historia największego polskiego odkrycia, które zmieniło świat, *Studia Historiae Scientiarum* 16, s. 155–200.

**Tucholski Z.**, 2014 – Bahnmetall – wynalazek Czochralskiego, *Mówią Wieki. Polskie osiągnięcia naukowo-techniczne*, nr 10, s. 77-80.

**Wojtczak L., Ziomek J.** [red.], 2008 – Krysztály w przyrodzie i technice, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2008.

[www.janczochralski.com](http://www.janczochralski.com)