

## Nadprzewodniki. Własności i technologia

### 1. WŁASNOŚCI NADPRZEWODNIKÓW

1. Podstawową cechą nadprzewodników jest zerowa wartość ich oporności elektrycznej w określonym przedziale temperatur. Powyżej pewnej temperatury, zwanej krytyczną, nadprzewodnik przekształca się w przewodnik, który nazwano przewodnikiem normalnym.

2. Prąd elektryczny płynący w nadprzewodnikach ma wartość maksymalną, zwaną wartością krytyczną. Jeśli zostanie wymuszony /na przykład przez baterie zewnętrzne/ prąd elektryczny większy od krytycznego, to pojawia się oporność elektryczna nadprzewodnika.

3. Nadprzewodniki mają również unikalne własności magnetyczne. Jeśli pole magnetyczne działa na przewodnik normalny, to przenika przez całą jego objętość. Efekty ekranowania są niewielkie. Jeśli natomiast nadprzewodnik zostanie poddany działaniu pola magnetycznego, to wszystkie linie sił pola magnetycznego zostaną "wypchnięte" na zewnątrz. Indukcja magnetyczna wewnątrz nadprzewodnika równa jest zero. Zewnętrzne pole magnetyczne indukuje na powierzchni nadprzewodnika ruch ładunków elektrycznych zgodnie z regułą Lenza. Pole magnetyczne generowane przez ruch ładunków jest przeciwnie skierowane do zewnętrznego pola magnetycznego i równe jemu.

4. W nadprzewodniku prąd elektryczny jest wzbudzany za pomocą pól elektrycznego lub magnetycznego. Ponieważ prąd elektryczny ma wartość krytyczną, to pola magnetyczne lub elektryczne mają również swoje wartości krytyczne, powyżej których nadprzewodnik staje się przewodnikiem normalnym.

Podczas wzbudzania prądu elektrycznego jedno z tych pól włącza się jednorazowo i impulsowo. Po wyłączeniu pola prąd elektryczny płynie bez zaniku, jeśli cały obwód jest zamknięty i nadprzewodzący.



Wartość prądu jest zależna od wartości pól wzbudzających elektrycznego lub magnetycznego. Elektrony są więc związane pewną energią z siecią nadprzewodnika.

5. Jeśli w nadprzewodniku w kształcie pierścienia jest wzbudzany prąd elektryczny, to indukuje on strumień magnetyczny. Stwierdzono eksperymentalnie, że istnieje minimalna jego wartość, która wynosi  $\Phi_0 = hc/2e$ . Strumień ten jest kwantem strumienia magnetycznego i został nazwany fluksonem. Jeśli prąd elektryczny w pierścieniowym nadprzewodniku jest wzbudzany przez pole magnetyczne, to w miarę jego wzrostu rośnie również liczba fluksonów. Całkowity strumień magnetyczny jest wielokrotnością fluksonów  $\Phi = n\Phi_0$ . London [1] jest zdania, że jest to cecha wyłącznie nadprzewodników. W przewodniku normalnym również są indukowane kwanty strumienia ale ich wartość jest dwukrotnie większa i wynosi  $\Phi_0 = hc/e$ . Różnica wartości obu kwantów wiązana jest z wartością ładunku elektrycznego. Elementarnym ładunkiem w nadprzewodniku jest para elektronów zwana parą Coopera o ładunku  $q=2e$ , a w przewodniku normalnym ładunkiem elementarnym jest elektron  $q=e$ . Wyrażany jest pogląd, że elementarny strumień magnetyczny  $hc/2e$  jest dowodem na istnienie par Coopera tj., że związane pary elektronów a nie pojedyncze elektrony są niezbędne dla istnienia nadprzewodnictwa. Można wykazać, że kwant strumienia magnetycznego  $hc/2e$  jest indukowany również przez pojedyncze elektrony [2]. Nie jest potrzebna wówczas para elektronów. Ponadto w kwantowym efekcie Halla odkrytym w przewodnikach normalnych obserwowana jest bogata gama kwantów strumienia magnetycznego tj.  $hc/e$ ,  $hc/2e$  i  $hc/ne$  gdzie  $n=1,2,3,\dots$ . Obserwowane są więc również kwanty ułamkowe. Kwant strumienia magnetycznego  $hc/2e$  mierzony w nadprzewodnikach nie może być eksperymentalnym dowodem istnienia związanych par elektronów. Hipoteza istnienia par Coopera w nadprzewodnikach pozostaje nadal hipotezą nie potwierdzoną eksperymentalnie.

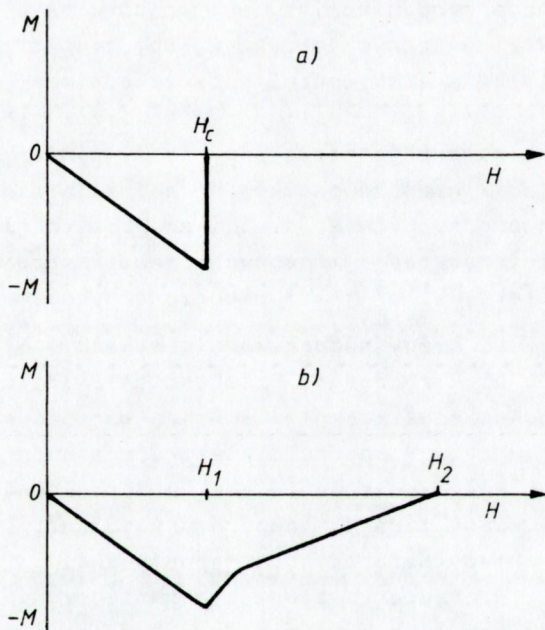
6. Nadprzewodniki są diamagnetykami, to znaczy ich momenty magnetyczne są przeciwnie skierowane do zewnętrznego pola magnetycznego. Pomiar momentów magnetycznych w funkcji pola magnetycznego wykazały, że istnieją dwa rodzaje nadprzewodników. Zmiany magnetyzacji, to jest sumy momentów magnetycznych w jednostce objętości w funkcji pola magnetycznego obu rodzajów nadprzewodników przedstawiono na rysunku 1.

Na rysunku 1a) magnetyzacja pionowo maleje do zera przy pewnym polu progowym, zwanym magnetycznym polem krytycznym  $H_c$ . Nadprzewodnik taki nosi nazwę pierwszego rodzaju.

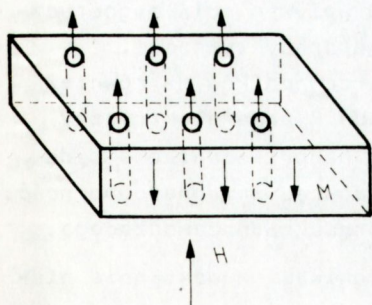
W nadprzewodniku drugiego rodzaju magnetyzacja osiąga wartość maksymalną przy polu magnetycznym zwanym pierwszym krytycznym polem magnetycznym  $H_1$ . Następnie magnetyzacja stopniowo maleje i osiąga wartość zerową przy drugim krytycznym polu magnetycznym  $H_2$  - rysunek 1b).



7. W polach  $H_1 < H < H_2$  zaobserwowano występowanie małych cylindrycznych obszarów, w których pole magnetyczne jest przeciwnie skierowane do pola magnetycznego w pozostałych częściach próbki. Ilustracją tych obszarów jest rysunek 2. Obszary te nazywano vortexami zwanymi w języku polskim wirami. Przyjęto, że kierunek pola magnetycznego w wirze jest zgodny z kierunkiem zewnętrznego pola magnetycznego. Założenie takie wyjaśnia się tym, że powyżej pierwszego pola krytycznego  $H_1$  pole magnetyczne zaczyna przenikać przez próbkę. Dokonuje tego kwantowo w małych wirach. W miarę wzrostu pola magnetycznego wzrasta liczba elementarnych wirów i przy polu magnetycznym  $H_2$  linie sił pola przenikają przez całą próbkę.



Rys. 1. Zależność magnetyzacji od pola magnetycznego w nadprzewodnikach (a) pierwszego rodzaju, (b) drugiego rodzaju



Rys. 2. Obraz domen cylindrycznych obserwowanych w nadprzewodnikach drugiego rodzaju powyżej pierwszego, krytycznego pola magnetycznego  $H_1$



Interpretacji takiej dokonano, kiedy nie znana była jeszcze możliwość tworzenia się magnetycznych domen cylindrycznych, zwanych również bąblami.

Można więc sądzić, że struktura magnetyczna wirów jest analogiczna do struktury magnetycznej bąbli. Pojawienie się obszarów o kierunku pola magnetycznego przeciwnym do pola indukowanego przez prądy ekranujące wyjaśnia zmniejszanie się momentu magnetycznego powyżej pola  $H_1$  z rysunku 2.

8. Tworzenie się magnetycznych domen cylindrycznych w materiale diamagnetycznym mimo, że zostało bardzo dawno zaobserwowane, jest zupełnie czymś nowym i nieoczekiwanym z punktu widzenia magnetycznego.

Przenikanie pola magnetycznego przez próbkę powinno powodować działanie tego pola nie tylko na elektrony "swobodne", zwane niekiedy nadprzewodnikowymi, ale również na elektrony silnie związane w jonach. Nie ma żadnych przyczyn, aby zewnętrzne pole magnetyczne oddziaływało tylko z elektronami nadprzewodnikowymi a ignorowało elektrony związane z jonami, jeśli przenika przez próbkę. Tymczasem wszystkie aktualne koncepcje starające się wyjaśnić własności zarówno przewodników jak i nadprzewodników ograniczają się do opisu wyłącznie elektronów swobodnych. Wydaje się, że jest to główną przeszkodą uniemożliwiającą interpretację złożonych zjawisk przewodników normalnych /np. kwantowy efekt Halla/ jak i nadprzewodników.

9. Każdy nadprzewodnik wykazuje właściwą mu krytyczną gęstość prądu elektrycznego. Przekroczenie jej objawia się utratą zerowej oporności elektrycznej. W miarę wzrostu wartości prądu powyżej krytycznego wzrasta oporność elektryczna nadprzewodnika. Krytyczna wartość prądu elektrycznego maleje do zera w dwóch przypadkach:

- kiedy wzrasta temperatura do wartości krytycznej  $T_C$  i
- kiedy wzrasta pole magnetyczne.

W przypadku pierwszym zmniejszenie prądu elektrycznego jest spowodowane niszczeniem nadprzewodnictwa przez drgania cieplne.

Przypadek drugi jest wyjaśniany za pomocą specjalnie skonstruowanych dla nadprzewodników równań fenomenologicznych zwanych równaniami Londonów. Wydaje się jednak, że równania takie nie są potrzebne [2]. Pojawienie się oporności w nadprzewodniku pod wpływem pola magnetycznego jest wynikiem znanego już zjawiska: magnetorezystywności.

Wpływ pola magnetycznego na własności nadprzewodników ma również znaczenie techniczne. Płynący przez nadprzewodnik prąd elektryczny wytwarza pole magnetyczne. Wszelkie uzwojenia nadprzewodnikowe będą znajdowały się we własnym polu magnetycznym wnoszącym magnetooporność. Występuje wówczas efekt samozadławiania się prądu nadprzewodzącego.

10. Nie wszystkie pierwiastki są nadprzewodnikami w dostępnie niskich temperaturach. Zgodnie z teorią nadprzewodnictwa opracowaną



przez Bardeena, Coopera i Schrieffera te metale i związki będą nadprzewodnikami, w których elektrony przyciągają się. Możliwość przyciągania się elektronów stwarzają oddziaływania elektron - fonon - elektron. Jest to ogólne kryterium nadprzewodnictwa. Miedź i srebro są dobrymi przewodnikami dzięki słabym oddziaływaniom elektron - fonon. Dzięki temu również nie są nadprzewodnikami. Aby dwa elektrony przyciągały się, oddziaływania elektron - fonon muszą być względnie silne.

Koncepcja przyciągania się elektronów jest szokująca nawet wówczas, kiedy przyciąganie to następuje za pośrednictwem fononów. W braku innej koncepcji teoria Bardeena, Coopera i Schrieffera jest cytowana w podręcznikach jako możliwe wyjaśnienie nadprzewodnictwa [3-6].

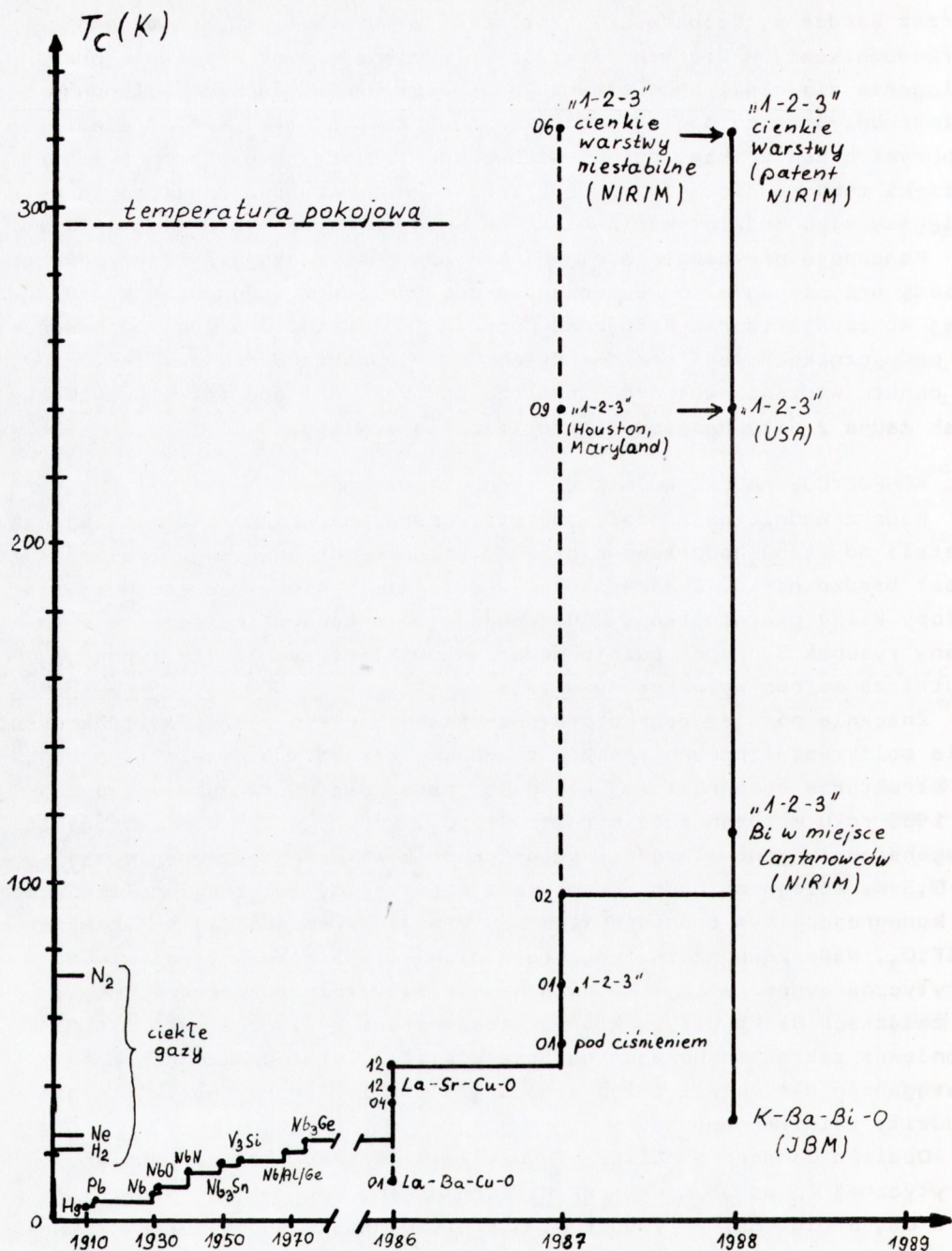
Z punktu widzenia wytwórców nadprzewodników jest ona tak nieużyteczna, jak żadna z dotychczasowych teorii ciała stałego.

## 2. KOMPOZYCJE NADPRZEWODNIKOWE I ICH TECHNOLOGIE

Nadprzewodnictwo zostało odkryte w metalach. Temperatura przejścia metali od stanu nadprzewodnictwa do stanu przewodnictwa normalnego jest bardzo niska. Znaczne sukcesy osiągnięto kiedy zaczęto wytwarzać stopy kilku pierwiastków. Ilustracją tych sukcesów jest często cytowany rysunek 3. Tego rodzaju nadprzewodniki otrzymuje się typową, hutniczą metodą wytwarzania metali.

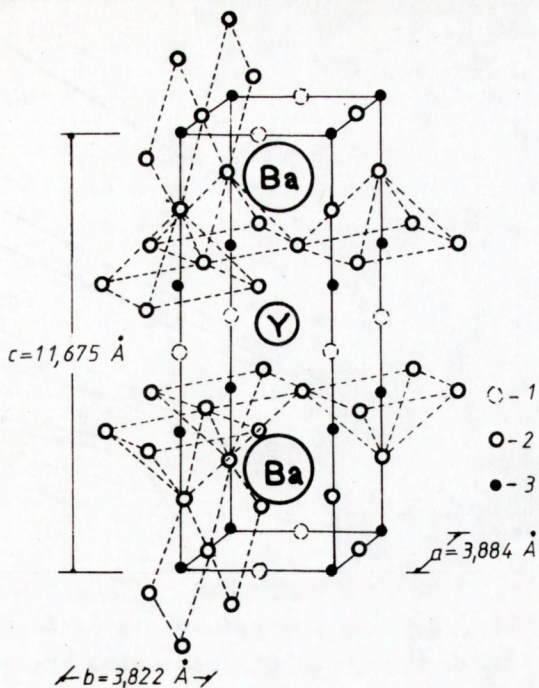
Znacznie później rozpoczęto poszukiwania wśród związków tlenkowych. Dla polikrystalicznych spieków tlenkowej ceramiki piezoelektrycznej, o strukturze perowskitowej własności nadprzewodnictwa stwierdzono w 1966 roku w tytanianie strontu  $\text{SrTiO}_3$ . Redukcja lub domieszkowanie degenerowały jego własności półprzewodnikowe do nadprzewodnictwa w 0,3 K. Kolejnymi nadprzewodnikami z tej grupy związków, spiekanymi w konwencjonalnym procesie (tlenowa atmosfera spiekania) były związki  $\text{LiTiO}_3$ . Nadprzewodnictwo odkryto w nich w 1973 roku a temperatura krytyczna wynosiła 13,7 K. W 1975 roku odkryto nadprzewodnictwo w związkach  $\text{Ba}(\text{Pb},\text{Bi})\text{O}_3$ , których temperatura krytyczna wynosiła 13 K. Ponieważ zakres temperatur nadprzewodnictwa leżał poniżej zakresu osiąganego dla metali i ich stopów (23 K w 1973 roku) wyniki te nie budziły zainteresowania.

Dopiero Bednorz i Müller [7] uzyskali wyraźny skok temperatury krytycznej  $T_C$  do 35 K dla perowskitów układu  $\text{La}_{2-x}\text{A}_x\text{CuO}_4$  (gdzie A = Ca, Sr lub Ba) - rysunek 4. W krótkim czasie jednego roku temperatura krytyczna została podniesiona przez różnych badaczy do temperatury 98 K (1987 r.) i 115 K (1988 r.). Osiągnięto te wyniki dla perowskitów  $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (gdzie Ln = Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu lub Y), określanych skrótową nazwą związków typu "1-2-3". Tak narodziła się grupa tworzyw nazywanych nadprzewodnikami wysokotemperaturowymi, których temperatura krytyczna leży w obszarze powyżej temperatury ciekłego azotu (> 77 K).



Rys. 3. Temperatura krytyczna, kompozycje i daty odkrycia nowych materiałów nadprzewodnikowych



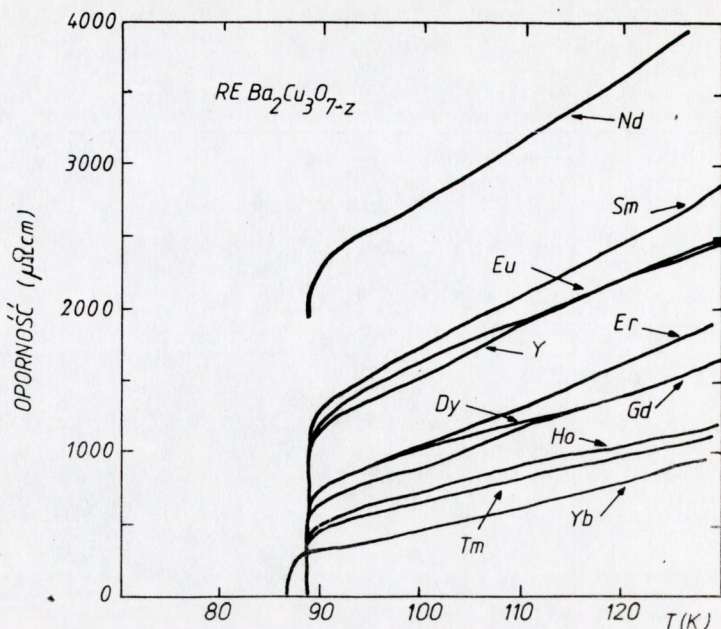


Rys. 4. Ortorombowa struktura perowskitu itrowo-barowo-miedziowego wyprowadzona z badań rentgenostrukturalnych, badań w transmisyjnym mikroskopie elektronowym, dyfrakcji skupionej wiązki elektronów oraz dyfrakcji neutronowej. 1 - wakancje, 2 - tlen, 3 - miedź [ 7 ]

Odkryte zjawisko było niespodzianką, ponieważ lantanowce niosą ze sobą znacznej wielkości moment magnetyczny, obecność którego gwałtownie obniżała temperaturę krytyczną  $T_C$  w dotychczas znanych nadprzewodnikach. Zależność oporności od temperatury dla tej grupy związków przedstawiono na rysunku 5.

Szereg zespołów badawczych syntetyzowało związki  $YBa_2Cu_3O_{7-z}$  o strukturze tetragonalnej lub rombowej z różną zawartością tlenu. Do syntez stosowano tlenki  $Y_2O_3$ ,  $CuO$  i  $BaO$  o poziomie czystości 99,999%. Mieszanki reakcyjne wygrzewano w zakresie temperatur od 1070 do 1220 K w atmosferze powietrza, w czasie 8 godzin, po czym obniżano temperaturę z różnymi szybkościami. Powolne chłodzenie sprzyjało przemianom fazowym z układu tetragonalnego do rombowego. Wykazano, że przemianie fazowej sprzyja również atmosfera tlenu. Obecność fazy rombowej, która pojawia się przy  $z < 0,3$ , wydaje się decydować o własnościach nadprzewodzenia. Wysokotemperaturowa odmiana tetragonalna jest fazą zredukowaną i występuje przy dużym niedoborze tlenu, tj. gdy tworzy się związek o  $z > 0,3$ . Obecność tej odmiany strukturalnej może powodować obniżenie nadprzewodnictwa w materiale. Najwyższą  $T_C$  i najostrzejsze przejście do obszaru nadprzewodnictwa stwierdzono,





Rys. 5. Oporność jako funkcja temperatury dla perowskitu  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-z}$ , w którym itr zastępowano kationami ziem rzadkich [8,9]

gdy próbki miały skład bliski stechiometrii  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  ( $z=0$ ) i struktura wykazywała cechy rombowo odkształconej struktury perowskitu.

Le Page et al. [10] dokonali w temperaturze 1273 K syntezy monokryształów o składzie bliskim  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . Stwierdzono, że niezależnie od tego, czy syntetyzowano związki w atmosferze powietrza, czy też wyżarzano w atmosferze tlenu, charakteryzowały się one własnościami nadprzewodzenia. Jednocześnie wykazano, że wyżarzanie syntetyzowanego materiału w atmosferze tlenu przesunęło temperaturę krytyczną  $T_C$  z poziomu 60 K do temperatury około 90 K, a więc przesunęło nadprzewodnictwo ku pożądanym - wyższym - temperaturom (z obszaru helowego w azotowy). Wzrastający w atmosferze powietrza kryształ wykazuje niedobór tlenu. Charakteryzuje się on tetragonalną strukturą o wydłużonej osi c. W czasie wyżarzania w tlenie następuje kontrakcja osi c i zaczyna się jednocześnie tworzyć struktura rombowa (rys. 4.)

Syntezy związków o składzie  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-z}$  ( $x = 0 + 1$ ), izostrukuralnych z  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-z}$  wykazały, że przeważała w nich struktura perowskitu. Większość otrzymanych faz identyfikowała się w układzie rombowym. Ze wzrostem wartości x (czyli zawartości Pr) obserwowano tendencję do konwergencji osi krystalograficznych a i b, i tym samym tendencję w kierunku tworzenia układu tetragonalnego. Monotoniczny wzrost objętości komórki elementarnej ze wzrostem stężenia prazeodymu nastąpił zgodnie z przewidywaniami o tworzeniu roztworów stałych. Temperatura przejścia w stan nadprzewodnictwa obniżała się ze wzrostem zawartości Pr.



W wielu laboratoriach stwierdzono, że dla związków typu  $YBa_2Cu_3O_{7-z}$  obniżenie  $T_C$  i wzrost oporności zachodzi przy obniżonej zawartości tlenu. Obniżenie temperatury krytycznej  $T_C$  zachodzi z jednoczesną tendencją do tworzenia tetragonalnej struktury, co następuje przy zaburzeniach w obsadzie węzłów jonami tlenu. Obniżony poziom zawartości tlenu ogranicza możliwość wystąpienia miedzi na wyższym stopniu utleniania, toteż postuluje się, że wprowadzenie prazeodymu wywołuje skutki równoważne zmniejszeniu stechiometrii tlenu w stosunku do materiałów nie zawierających prazeodymu. Przy stałej zawartości tlenu obniżenie wartościowości  $Cu^{2+}$  do  $Cu^+$  może nastąpić przez wbudowanie jonów  $Pr^{+4}$  do sieci krystalicznej. Hipotezę tę wydaje się popierać fakt, że ze wzrostem zawartości prazeodymu zwiększa się objętość komórki elementarnej, co przypuszczalnie jest następstwem redukcji miedzi i zwiększenia średniej długości wiązania Cu-O. Stwierdzono, że związek 1-2-3 ulega przemianie fazowej z układu rombowego (posiadającego uporządkowane łańcuchy Cu-O) do układu tetragonalnego (bez łańcuchów), gdy  $z = 0,5$ , przy jednoczesnej całkowitej redukcji miedzi do  $Cu^+$ . Analogicznie w obecności prazeodymu, przy  $x = 0,6$  i  $z = 0,2$ , wszystkie jony miedzi powinny znajdować się w stanie zredukowanym (brak  $Cu^{+2}$ ), zaś każdy jon  $Pr^{+4}$  wnosi jeden elektron do sieci.

Segre et al. [11] otrzymali grupę związków o wzorze  $La(Ba_{2-x}La_x)Cu_3O_{7-z}$  i strukturze izomorficznej z rombowym  $YBa_2Cu_3O_{7-z}$ , w której Ba podstawiono lantanem. Zakres roztworów stałych rozciąga się od  $x = 0,5$  do  $x = 0,25$  i nie obejmuje związków stechiometrycznych, to znaczy takich gdy  $x = 0$  ( $LaBa_2Cu_3O_{7-z}$ ). W charakterze prekursorów użyto  $La_2O_3$ ,  $BaCO_3$  i  $CuO$ . Wygrzewano je w temperaturze 1240 K w strumieniu tlenu, po czym zastosowano końcowe wyżarzanie w atmosferze tlenu, w temperaturze 870 K. Metodą dyfrakcji neutronów stwierdzono, że przy  $x = 0,5$ ;  $0,375$ ;  $0,25$  otrzymane produkty były jednofazowe, natomiast przy składzie zawierającym więcej baru ( $x = 0,125$  lub  $x = 0,0$ ) zawierały znaczne ilości  $BaCuO_2$ . Pomiary oporności wykazały, że przy  $x = 0,5$  otrzymany związek  $La(Ba_{1,5}La_{0,5})Cu_3O_{7-z}$ , o strukturze tetragonalnej, zachowywał się jak półprzewodnik, gdy natomiast  $x$  malało, pojawiały się własności nadprzewodnictwa również u próbek heterofazowych. Wraz ze zmniejszeniem wartości  $x$  wzrasta temperatura krytyczna  $T_C$ , osiągając poziom około 60 K dla próbek o  $x = 0,125$  i  $0,0$ . Prawie wszystkie otrzymane nadprzewodniki (z wyjątkiem  $x = 0,5$ ) charakteryzowały się strukturą o zbliżonych wielkościach parametrów  $a$  i  $b$ . Struktury rombowa i tetragonalna związków 1-2-3 różnią się w istocie tylko niejednakowym obsadzeniem węzłów tlenowych. Toteż Segre i współpracownicy [11] twierdzą, że w otrzymanych przez nich próbkach formalny stopień utlenienia Cu wynosi +1 i +2. Dotyczy to zarówno próbek o własnościach nadprzewodnikowych, jak i próbki, która nie była nadprzewodnikiem ( $x = 0,5$ ). Wskazuje to, że sam ładunek jonów miedzi



nie jest jedynym czynnikiem decydującym o nadprzewodnictwie. Mechanizm nadprzewodnictwa w materiałach ceramicznych jest problemem złożonym i nadal nie wyjaśnionym. Można na razie stwierdzić, że:

- o własnościach nadprzewodnictwa sygnalizuje obecność struktury rombowej,
- obie występujące często obok siebie struktury - rombowa (zawierająca uporządkowane łańcuchy Cu-O) i tetragonalna (bez tych łańcuchów) charakteryzują się zbliżonymi wielkościami parametrów sieci a i b, stąd łatwość przemian fazowych,
- ilość tlenu w strukturze wywiera wpływ na stopień utlenienia miedzi, co przypuszczalnie pociąga za sobą "wydłużenie" lub "skrócenie" wiązań chemicznych, a także zmiany stężenia wakancji tlenowych. W wyniku tych subtelnych zjawisk zmieniają się odległości pomiędzy elementami sieci krystalicznej i struktura przyjmuje cechy układu tetragonalnego lub rombowego.

Jeżeli "siłą napędową" subtelnie przebiegającej przemiany fazowej jest stopień utlenienia miedzi, to właśnie zmiana struktury wydaje się być kluczem do wyjaśnienia mechanizmu nadprzewodnictwa w związkach typu 1-2-3 izostrukturnalnych z  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-z}$ .

Wprowadzenie przez NIRIM Lab. (Japonia) w 1988 roku [12] bizmutu w miejsce lantanowców do struktury związków perowskitowych typu 1-2-3 -  $\text{Bi}(\text{Sr},\text{Ca})\text{Cu}_2\text{O}_x$  pozwoliło na ustabilizowanie się temperatur krytycznych  $T_C$  na poziomie 115 K i obniżenie kosztu tworzywa. Z kolei zespół ATT Bell Lab. (USA) opracował tworzywo nadprzewodzące typu perowskitowego, pozbawione jonów Cu, czyli pierwiastka uważanego za najistotniejszy w nadprzewodnikach tlenkowych. Cava i Betlogg [13] twierdzą, że to odkrycie może stanowić pierwszy krok w kierunku nowej rodziny związków o wysokiej  $T_C$ . Tworzywo oparte o tlenki K, Ba i Bi jest nadprzewodnikiem poniżej 30 K, podczas gdy dla tworzyw typu 1-2-3 Chu z Uniwersytetu w Houston i zespół Uniwersytetu Maryland osiągnęli temperaturę  $T_C$  240 K, a Laboratorium Rządowe NIRIM w Japonii zastrzegło patentem tworzywa nadprzewodzące przy 323 K - cienkie warstwy nanoszone metodą sputteringu. Są to na razie tylko doniesienia. Laboratoria IBM osiągnęły dla cienkich warstw tworzyw 1-2-3 gęstość prądu rzędu  $1 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ , odpowiadającą gęstości prądu osiąganey w nadprzewodnikach metalicznych.

Nadprzewodniki zawierające tlenek miedzi wykazują struktury warstwowe, przewodzące wydajnie prąd tylko po określonych powierzchniach. Opracowane w Bell Lab. tworzywo bezmiedziowe wykazuje równomierną sieć trójwymiarową Bi i C oraz własności mniej zależne od kierunku. Ponieważ przewodzą one prąd efektywnie we wszystkich kierunkach, mogą być aplikacyjnie korzystniejsze w warunkach praktycznych zastosowań [13].



### 3. ZAKOŃCZENIE

Dominującymi materiałami, wśród których poszukuje się nadprzewodników wysokotemperaturowych, są polikryształy tlenkowe o znanej już technologii otrzymywania.

W USA i ZSRR trudna do policzenia liczba instytucji podjęła pracę nad tymi materiałami. W Europie zachodniej - oprócz instytucji krajowych - Anglia, Francja, RFN i Włochy zawarły porozumienie o współpracy Szwajcaria i Holandia wyraziły chęć przystąpienia do tego porozumienia.

W Korei Południowej zorganizowano dwadzieścia szkół wyższych i tyleż ośrodków przemysłowych wokół wspólnie opracowanego programu poszukiwania nadprzewodników i przygotowania się do ich wdrożenia. W programie tym zaangażowanych jest trzystu pracowników. Advanced Ceramic Report [12] donosi, że tylko jedna firma koreańska Samsung Advanced Institute of Technology poświęci na ten cel 800 000 funtów szterlingów w 1988 roku.

Przegląd publikacji konferencyjnych wskazuje, że firmy elektro-techniczne i elektroniczne pracują już nad szybkim wdrożeniem nadprzewodników do produkcji. Pracuje się nad miniaturowymi magnesami dla całej gamy zastosowań, nad wyciąganiem przewodów, nad nakładaniem nadprzewodników na elastyczne podłoża, nad układami scalonymi, projektuje się transformatory wielkich i małych mocy. Organizuje się konferencje futurystyczne, na których układa się listy produktów nadprzewodnikowych, projektuje się sposób ich wytwarzania i następnie metody wdrożenia [14].

Można przypuszczać, że ludzie przemysłu wierzą w szybkie odkrycie i zastosowanie nadprzewodników pracujących w temperaturze pokojowej, a ludzie biznesu określili już rozmiary interesu.

Tekst dostarczono 1988.12.23.

#### LITERATURA

1. London F.: "Superfluids", vol. 1., J. Wiley and Sons, New York (1950)
2. Wadas R.S.: w przygotowaniu do druku
3. Sleigh A.W., Chowdhry U.: Adv. Ceramic Materials 2 (3b, spec. issue), 713 (1987)
4. Kittel C.: "Wstęp do fizyki ciała stałego", PWN, Warszawa (1974).
5. Fetter A.L., Walecka J.D.: "Kwantowa teoria układów wielu cząstek", PWN, Warszawa (1982).

6. Rose-Innes A.C., Rhoderick E.H.: "Nadprzewodnictwo", PWN, Warszawa (1973).
7. Bednorz J.G., Müller K.A.: Zeitschr. f. Phys., B64, 189 (1986).
8. Chu C.V., Hor P.H., Meng R.L., Gao L., Huang Z.J.: Science 235, 567 (1987).
9. Tarascon J.M., McKinnon W.R., Green I.H., Hull G.W., Bagley B.G., Vogel E.M., Le Page Y.: Adv. Ceramic Materials 2 (3b, spec. issue), 498 (1987).
10. Le Page Y., Siegrist T., Sunshine S.A., Schneemeyer L.F., Murphy D.W., Zahurak S.M., Waszczak J.V., McKinnon W.R.: Phys. Rev. B., 36(7), 3612 (1987).
11. Segre C.U., Dąbrowski B., Hinks D.G., Zhang K., Jorgensen J.G., Beno M.A., Schuller K.I.: Nature, 329 (6136), 227 (1987).
12. Advanced Ceramics Reports, Elsevier Publ., London, vol. 2(1987) i 3(1988).
13. Cava R., Betlogg B.: New Technol. Week, May 2, str. 4 (1988).
14. The Superconducting Ceramics Industry: 1987 - 2002, GAMI Prospectus for Multiclient Study, 1988/81.