

## **Przegląd metod analizy metali i materiałów półprzewodnikowych**

Rozwój metod analizy materiałów półprzewodnikowych i metali specjalnie czystych w PRL następował równoległe z rozwojem technologii otrzymywania tych materiałów oraz poszerzaniem ich zastosowania w przemyśle półprzewodnikowym. Analiza chemiczna stanowiła instrument kontrolny przy realizacji technologicznych prac badawczych - umożliwiała ocenę zastosowanej technologii otrzymywania materiałów, a w szczególności metody oczyszczania metali. W drugim etapie analiza umożliwiała ocenę jakości produkowanych materiałów. Nic więc dziwnego, że większość prac badawczych z zakresu analizy substancji specjalnie czystych była i jest realizowana w specjalistycznych ośrodkach powołanych do zabezpieczenia podstawowych potrzeb materiałowych przemysłu półprzewodnikowego.

Główną jednostką pracującą w tej dziedzinie jest Ośrodek Naukowo-Produkcyjny Materiałów Półprzewodnikowych. Poniżej zestawiono opracowane w ONPMP metody analizy metali specjalnie czystych i materiałów półprzewodnikowych: krzemu, germanu i związków typu  $A^{III} B^V$  oraz niektórych surowców wyjściowych, stosowanych do produkcji związków półprzewodnikowych  $A^{III} B^V$  i krzemowych warstw epitakcyjnych. W zestawieniu uwzględniono również metody opracowane w innych jednostkach, współpracujących z ONPMP lub Naukowo-Produkcyjnym Centrum Półprzewodników. Są to opracowania Zakładu Doświadczalnego przy Hucie Aluminium w Skawinie, opracowania Centralnego Laboratorium NPCP oraz metody analizy opracowane - w ramach umowy z ONPMP - w Instytucie Chemii Ogólnej i Technologii Nieorganicznej Politechniki Warszawskiej i Instytucie Chemii Podstawowej Politechniki Poznańskiej.

Najbardziej rozpowszechnione są spektrochemiczne metody analizy materiałów o wysokiej czystości. Z reguły polegają one na uprzednim oddzieleniu głównego składnika metodą destylacji, ekstrakcji, strącania, elektrolizy lub na wykorzystaniu innych zjawisk fizyko-chemicznych i skoncentrowaniu oznaczanych zanieczyszczeń najczęściej na kolektorze grafitowym. Grafitowy koncentrat zanieczyszczeń poddaje się następnie analizie spektralnej. Metody spektrochemiczne umożliwiają oznaczenie większości pierwiastków w przedziale stężeń od  $10^{-8}$  -  $10^{-4}\%$  w zależności od rodzaju matrycy, oznaczanego pierwiastka i współczynnika wzbogacenia. W tabeli 1 zestawiono spektrochemiczne metody analizy wybranych substancji specjalnie czystych.

Metody spektrograficzne lub chemiczno-spektralne - choć należą do najbardziej uniwersalnych - nie rozwiązują wszystkich problemów analitycznych. Niektórych pierwiastków, jako trudno wzbudzalnych w dostępnych źródłach, praktycznie nie można oznaczać metodą spektrograficzną, inne zaś charakteryzują się małą czułością oznaczenia. W takich przypadkach stosuje się inne metody analizy, zwykle jako uzupełnienie metod spektrograficznych. W tej grupie metod, zestawionych w tabeli 2, najbardziej popularne są metody spektrofotometryczne obok metod polarograficznych,

zwłaszcza z kroplą wiszącą, a w odniesieniu do metali alkalicznych – fotometria płomieniowa.

Przedstawione metody – choć pozwalają rozwiązać większość zagadnień analitycznych w omawianym przedmiocie – mają kilka wspólnych cech niekorzystnych. Wszędzie występuje problem "ślepej próby" limitującej oznaczalność pierwiastka, bo granica czułości metody jest z reguły niższa od wartości "ślepej próby". Wobec niemożności otrzymania bardziej czystych – od obecnie dostępnych – odczynników chemicznych praktycznie nie można obniżyć w większości przypadków wielkości "ślepej próby". Dochodzi się więc do progu oznaczalności danej metody, którego przekroczyć już nie można. Tymczasem przemysł elektroniczny żąda coraz bardziej czystych materiałów. Tam gdzie do niedawna stosowano materiał o czystości 5 czy 6N wprowadza się materiały 7N. Analiza materiałów super czystych wymaga zastosowania metod o wyjątkowo dużej czułości. Może to być np. metoda spektrometrii masowej. Z doświadczeń ONPMP wynika, że za pomocą spektrometru mas ze źródłem iskrowym, z wysoką wykrywalnością, dochodzącą niekiedy do poziomu  $10^{-8}\%$ , można oznaczać w metalach i materiałach półprzewodnikowych prawie wszystkie pierwiastki. Nie istnieje tu praktycznie problem "ślepej próby", bo analiza materiałów przewodzących nie wymaga żadnej obróbki chemicznej, niezbędnej w większości metod analitycznych przy obróbce chemicznej próbki, nie ma problemów oczyszczania odczynników chemicznych, oczyszczania atmosfery ochronnej dla niektórych operacji analitycznych itp. Wymienione względy decydują, że spektrometria masowa staje się podstawową metodą analizy metali o wysokiej czystości. Jedyne hamulcem opóźniającym tempo rozpowszechnienia tej metody jest wysoki koszt aparatury: spektrometrów masowych i wyposażenia dodatkowego np. maszyny matematycznej wykorzystywanej do szybkiego matematycznego przetworzenia zarejestrowanych na płycie fotograficznej linii izotopowych. W tabeli 3 podano przykładowo wykrywalności pierwiastków uzyskane w ONPMP przy analizie wybranych materiałów półprzewodnikowych metodą spektrometrii masowej, a w tabeli 4 wykrywalności pierwiastków w wybranych metalach. Poza wymienionymi analizuje się metodą spektrometrii masowej następujące materiały: Al, Sb, In, Ga, Te, Au, Pt, Cr, Si, InAs, grafit i inne.

Spektrometria masowa, choć jest niewątpliwie najbardziej przydatną metodą analizy metali super czystych, nie eliminuje innych metod. Istnieje bowiem duża grupa substancji specjalnie czystych, zwłaszcza w stanie ciekłym, których bezpośrednia analiza za pomocą spektrometru mas jest niemożliwa lub utrudniona. Wszędzie tam, gdzie niezbędna jest wstępna obróbka chemiczna próbki analitycznej, stosuje się rozpowszechnione metody spektrograficzne, spektrofotometryczne, polarograficzne i inne. Dotyczy to takich materiałów jak: chemikalia stosowane w procesach dyfuzji i epitaksji, chemikalia do obróbki powierzchniowej materiałów i podzespołów półprzewodnikowych, rozpuszczalniki organiczne, masy zalewowe i tworzywa sztuczne, gazy i specjalne mieszaniny gazowe, surowce i materiały ceramiczne, monokryształy tlenkowe i surowce do ich otrzymywania, materiały podłożowe, stopy specjalne i szeregi innych. Dlatego prowadzi się i planuje w ONPMP dalszy rozwój różnych metod analizy materiałów. Spośród prowadzonych bądź planowanych prac badawczych na wyróżnienie zasługują: poszukiwanie nowych źródeł wzbudzenia w analizie spektralnej, analiza warstw cienkich, analityczne badanie zjawisk powierzchniowych w materiałach półprzewodnikowych, pomiar oporu resztkowego w temperaturach helowych jako funkcja czystości metalu, zastosowanie chromatografii gazowej do analizy gazów,

cieczy i ciał stałych, wreszcie badania w zakresie metod kinetycznych, wprowadzenia elektrod jonowymiennych, fluorymetrii oraz coraz bardziej powszechnych metod absorpcji atomowej.

Przedstawiony w skrócie stan analityki metali i materiałów półprzewodnikowych nie obejmuje wszystkich prac prowadzonych w kraju w dziedzinie analizy substancji specjalnie czystych. Stanowi on jedynie zestawienie praktycznych możliwości ONPMP i jednostek z nim współpracujących w zakresie analizy chemicznej omawianej grupy materiałów.

## SPEKTROGRAFICZNE LUB SPEKTROCHEMICZNE METODY ANALIZY MATERIAŁÓW

Tabela 1

Lp.	Nazwa materiału	Charakterystyka metody	Oznaczone pierwiastki	Granica oznaczalności w %	Opracowano w laboratorium
1	2	3	4	5	6
1	Srebro	Metoda spektrochemiczna. Rozpuszczenie Ag w HNO <sub>3</sub> i oddzielenie w postaci AgCl. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Au, Fe, Cu Bi, Cd, Pb Al, Mg  Sb Pd, Pt Te, Zn	3·10 <sup>-6</sup>  8·10 <sup>-6</sup> 3·10 <sup>-5</sup> 8·10 <sup>-5</sup>	ONPMP
2	Fosfor	Metoda spektrochemiczna. Rozpuszczenie P w HNO <sub>3</sub> , ekstrakcja dwuetylodwutiokarbaminianów zanieczyszczeń czterochlorkiem węgla. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Cu  Ni, Cd, Pb Bi, Ag, Mn  Fe	1·10 <sup>-6</sup>  3·10 <sup>-6</sup>  3·10 <sup>-5</sup>	ONPMP
3	Złoto oraz stopy: AuIn-1 AuSb-1 AuGe-12 AuSi-6	Metoda spektrochemiczna. Rozpuszczenie Au w wodzie królewskiej, oddzielenie od matrycy przez ekstrakcję kompleksu złota z eterem etylowym. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym. Oddzielenie Ge i Si w postaci lotnych związków chlorowcowych.	Cu, In, Ag Bi, Ga, Pb  Al, Fe Zn Pd, Mg	1·10 <sup>-5</sup>  8·10 <sup>-5</sup> 3·10 <sup>-4</sup> 1·10 <sup>-4</sup>	ONPMP
4	Gal	Metoda spektrochemiczna. Rozpuszczenie Ga w wodzie królewskiej. Oddzielenie	Mn, Mg, Pb In, Ni, Bi Al, Cu, Ag	3·10 <sup>-6</sup>	ONPMP

1	2	3	4	5	6
		matrycy z 6 n HCl przez ekstrakcję eterem etylowym. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym.	Cd, Cr	$1 \cdot 10^{-5}$	NPCP
5	Arsen i $AsCl_3$	Metoda spektrochemiczna. Rozpuszczenie As w HCl z $Br_2$ . Oddestylowanie As w postaci związków chlorowcowych. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym.	Bi, Al, Mg, Pb, Co, Fe, Mn, Cu  Cd Ca Ni, Cr Te	$5 \cdot 10^{-7}$  $5 \cdot 10^{-6}$ $1 \cdot 10^{-6}$ $1 \cdot 10^{-5}$	ONPMP  NPCP
6	Antymon $Sb_2O_3$ $SbCl_3$ $SbCl_5$	Metoda spektrochemiczna. Rozpuszczenie Sb lub $Sb_2O_3$ w HCl z dodatkiem $Br_2$ . Oddestylowanie Sb w postaci związków chlorowcowych. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Ag, Bi, Mn  Cu, Al  In, Ni, Ga, Cr, Pb, Au  Cd, Mg, Fe Zn	$7 \cdot 10^{-7}$  $2 \cdot 10^{-6}$  $7 \cdot 10^{-6}$  $2 \cdot 10^{-5}$ $2 \cdot 10^{-4}$	ONPMP  NPCP
7	Bizmut	Metoda spektrochemiczna. Oddzielenie Bi w postaci $BiOOH$ lub $BiOBr$ . Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Cu, Al  Ni, Pb, Ag Mn, Cd	$6 \cdot 10^{-6}$  $2 \cdot 10^{-5}$	ONPMP
8	Cyna	Metoda spektrochemiczna. Oddzielenie cyny w postaci lotnego chlorku. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Ag, Cu  Al, Ni Ga, Pb Cd, Fe Mg, Sb	$8 \cdot 10^{-7}$  $2 \cdot 10^{-6}$  $3 \cdot 10^{-5}$	ZD Skawina
9	Cynk	Metoda spektrochemiczna. Ekstrakcja zanieczyszczeń za pomocą chloroformowego roztworu dwuetylodwutio-karbaminianu cynku. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Ag Cd, Bi Cu, Ni, Pb	$1 \cdot 10^{-6}$ $5 \cdot 10^{-6}$ $1 \cdot 10^{-5}$	ZD Skawina
10	Ołów	Metoda spektrochemiczna. Wytręcenie matrycy w postaci chlorku ołowiu. Koncentracja zanieczyszczeń na resztkowym $PbCl_2$	Ag, Bi  Cu, Tl, Al In, Mg, Cd Fe	$1 \cdot 10^{-6}$  $1-5 \cdot 10^{-5}$	NPCP



1	2	3	4	5	6
11.	Aluminium	Metoda spektrochemiczna. Oddestylowanie matrycy w postaci bromku etyloglinowego. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Mn Pb, Ag  Mg, Cu Cd, Fe, Ca Sb	$2 \cdot 10^{-6}$  $8 \cdot 10^{-5}$ $1 \cdot 10^{-5}$ $5 \cdot 10^{-4}$	NPCP
12	Kadm	Metoda spektrochemiczna: - cementacyjne wydzielenie zanieczyszczeń na pyłe Zn, - oddestylowanie w próżni metalicznego Cd, - spektrograficzna metoda po przeprowadzeniu kadm w tlenek	Ag, Cu In Bi Pb Bi, Mn Mg  Ti, Ni, Sn Cr, Pb, Tl, Fe Zn Mn, Mg, Pb, Ni, Ag, Bi, Cu, Sn, Al, In	$6 \cdot 10^{-6}$ $2 \cdot 10^{-5}$ $6 \cdot 10^{-5}$ $1 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-6}$ $4 \cdot 10^{-6}$  $2 \cdot 10^{-5}$ $1 \cdot 10^{-4}$  $5 \cdot 10^{-5}$	NPCP  ZD Skawina
13	German	Metoda spektrochemiczna. Oddzielenie Ge w postaci lotnego chlorku. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Fe, Au, Mn Sb, Ga, Al, In Cu, Si	$2 \cdot 10^{-7}$	ZD Skawina
14	Ind	Metoda spektrochemiczna. Ekstrakcja indu eterem etylowym z roztworu HBr. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Al, Ag, Cu Bi, Ni, Co, Cd Mg, Pb	$2 \cdot 10^{-6}$	NPCP ZD Skawina
15	Tellur	Spektrograficzna metoda po przeprowadzeniu telluru w tlenek	Cu, Fe, Al Mg, Ag, Bi Mn, Si Pb, Ni, Cr Sn, Ti Sb	$1 \cdot 10^{-5}$  $5 \cdot 10^{-5}$ $5 \cdot 10^{-4}$	ONPMP
16	$B_2O_3$	Metoda spektrochemiczna. Oddzielenie boru w postaci lotnego fluorku. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Bi, Mn, Al Ag, Pb, Cr  Ti, Au, Cd Mg, Co, Fe, Ca Cu, Ni	$2 \cdot 10^{-6}$ $7 \cdot 10^{-6}$  $2 \cdot 10^{-5}$	ONPMP  NPCP
17	$SiCl_4$	Metoda spektrochemiczna. Odparowanie lotnego $SiCl_4$	Fe, Au, Mg Cr, Ga, In		ONPMP

1	2	3	4	5	6
		Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym.	Ni, Bi, Ti Cu, Al Mn, Ag Ca Sb Zn	$5 \cdot 10^{-8}$ $1 \cdot 10^{-8}$ $1 \cdot 10^{-7}$ $5 \cdot 10^{-7}$ $3 \cdot 10^{-6}$	NPCP
18	Miedź	Metoda spektrochemiczna. Elektrolityczne oddzielenie miedzi	Fe, Pb, Ni Al, Cr, Bi, Sn Sb, Zn	$4 \cdot 10^{-5}$ $4 \cdot 10^{-4}$	ONPMP
19	Selen	Metoda spektrochemiczna.	Cd, Si, Ag, Sb Fe, Mn, Au, Pb Bi, Sn, Cu, Ag Ni, Te, As	$2 \cdot 10^{-5}$	ZD Skawina
20	PCl <sub>3</sub> POCl <sub>3</sub>	Metoda spektrochemiczna. Odparowanie matrycy w postaci lotnych związków chlorowcowych. Osadzenie zanieczyszczeń na kolektorze grafitowym	Bi, Cu, Ag, Mn Fe, Pb, Al, Mg Au, Tl  Ni, Ca Sb, Cd	$10^{-7}$   $10^{-6}$	ONPMP NPCP
21	BBr <sub>3</sub>	jak wyżej	Fe, Mg, Cu, Pb Ni, Cd, Al, Ca	$10^{-7}$ $10^{-6}$	ONPMP NPCP

## FIZYKOCHEMICZNE METODY ANALIZY, UZUPEŁNIAJĄCE METODY SPEKTROCHEMICZNE

Tabela 2

Lp.	Nazwa materiału	Charakterystyka metody	Oznaczane pierwiastki	Granica oznaczalności w % wag.	Opracowano w laboratorium
1	2	3	4	5	6
1	Cyna	Polarografia z kroplęwiszącą, po rozpuszczeniu próbki w HBr z dodatkiem Br <sub>2</sub> i odparowaniu Sn w postaci bromków. Spektrofotometryczna metoda rodankowa, po rozpuszczeniu próbki w HCl i Br <sub>2</sub> , a następnie odparowaniu Sn w postaci halogenków.	Pb, Cu, Bi  Fe	$5 \cdot 10^{-6}$  $1 \cdot 10^{-5}$	NPCP  ZD Skawina

1	2	3	4	5	6
		Oznaczanie spektrofotometryczne w postaci ditizonianu, po odpędzeniu cyny w postaci bromków	Pb	$5 \cdot 10^{-6}$	ZD Skawina
2	Ind Cynk	Spektrofotometryczne oznaczanie Sn z fenylofluoronem, po ekstrakcyjnym wydzieleniu cyny chloroformem pod postacią dwuetylodwutio-karbaminianu	Sn	$1 \cdot 10^{-5}$	NPCP ZD Skawina
3	Antymon	Spektrofotometrycznie w postaci wyekstrahowanego błękitu arsenomolibdenowego. Oddestylowanie Sb w postaci bromków i oznaczenie w pozostałości metodą <i>as a</i> Po rozpuszczeniu próbki w HCl z Br <sub>2</sub> i odpędzeniu Sb pod postacią halogenków, spektrofotometryczne oznaczanie Fe metodą rodankową	As  Fe, Pb, Cu Ni, Mg, Cd  Fe	$2 \cdot 10^{-4}$  $2 \cdot 10^{-4}$  $3 \cdot 10^{-5}$	ZD Skawina  ZD Skawina  NPCP
4	German	Ekstrakcyjne oddzielenie Ge od As w postaci GeCl <sub>4</sub> /chloroformem/, oznaczenie w pozostałości As przez utworzenie barwnej plamki w reakcji AsH <sub>3</sub> +HgBr <sub>2</sub>	As	$5 \cdot 10^{-8}$	ZD Skawina
5	Aluminium	Oznaczanie metodą fotometrii płomieniowej po oddzieleniu Al w postaci bromku glinoetylowego	Na	$5 \cdot 10^{-5}$	ONPMP
6	Arsen AsCl <sub>3</sub>	Spektrofotometrycznie w postaci kompleksu krzemomolibdenianu z rodaminą B. Spektrofotometrycznie z 3,3'-dwuaminobenzydyną. W postaci błękitu metylowego po redukcji do H <sub>2</sub> S.	Si  Se  S	$1 \cdot 10^{-4}$    $1 \cdot 10^{-5}$	Politechnika Warszawska ONPMP  P.W. ONPMP

1	2	3	4	5	6
		<p>Polarografia z kroplą wiszącą po wstępnym odpędzeniu As w postaci <math>\text{AsBr}_3</math>, bądź ekstrakcyjnym oddzieleniu m-ksylenem w postaci <math>\text{AsCl}_3</math></p> <p>Polarografia z kroplą wiszącą po wstępnym wydzieleniu cyny metodą współstrącania z fosforanem amonowoberylowym</p>	<p>Zn</p> <p>Sn</p>	<p><math>5 \cdot 10^{-7}</math> - <math>1 \cdot 10^{-6}</math></p> <p><math>2 \cdot 10^{-6}</math></p>	<p>Politechnika Poznańska</p> <p>Politechnika Poznańska</p>
7	Gal	Polarografia z kroplą wiszącą po wydzieleniu Sn metodą współstrącania z fosforanem amonowo-berylowym	Sn	$5 \cdot 10^{-6}$	Politechnika Poznańska
8	Fosfor	<p>Polarografia z kroplą wiszącą po rozpuszczeniu P w <math>\text{HNO}_3</math></p> <p>Spektrofotometrycznie z 3,3'-dwuamino-benzydyną</p> <p>Spektrofotometrycznie w postaci błękitu metylenowego po redukcji do <math>\text{H}_2\text{S}</math></p>	<p>Zn</p> <p>Se</p> <p>S</p>	<p><math>5 \cdot 10^{-6}</math></p> <p><math>2 \cdot 10^{-5}</math></p> <p><math>5 \cdot 10^{-5}</math></p>	<p>Politechnika Poznańska</p> <p>ONPMP</p> <p>ONPMP</p>
9	<p><math>\text{SbCl}_3</math></p> <p><math>\text{SbCl}_5</math></p> <p><math>\text{Sb}_2\text{O}_3</math></p>	<p>Metodą polarograficzną z kroplą wiszącą po oddzieleniu Sb w postaci halogenków</p> <p>Ekstrakcyjno-fotometryczne oznaczanie B z kurkumą po wydzieleniu Sb pod postacią siarczków</p> <p>Fluorymetryczne oznaczanie B z dwubenzoilometanem po oddestylowaniu boranu metylu</p> <p>Metoda spektrofotometryczna w postaci błękitu arsenomolibdenowego po wstępnym wydzieleniu As w <math>\text{MgNH}_4\text{PO}_4</math>, a następnie przeprowadzeniu w <math>\text{AsH}_3</math></p>	<p>Zn</p> <p>B</p> <p>B</p> <p>As</p>	<p><math>1 \cdot 10^{-6}</math></p> <p><math>5 \cdot 10^{-6}</math></p> <p><math>1 \cdot 10^{-7}</math></p> <p><math>1 \cdot 10^{-5}</math></p>	<p>Politechnika Poznańska</p> <p>ONPMP</p> <p>Politechnika Warszawska</p> <p>ONPMP</p>



1	2	3	4	5	6
		Spektrofotometryczne oznaczenie P w postaci błękitu fosforomolibdenowego po ekstrakcyjnym oddzieleniu eterem Sb w postaci $SbCl_5$  Fotometria płomieniowa  Polarografia z kroplą wiszącą, wykorzystano ekstrakcyjne oddzielanie antymonu od cyny octanem n-butylu, rozdział na kationicie Dowex 50WX8 i współstrącanie z fosforem berylo-amonowym	P  K, Na Li  Sn	$1 \cdot 10^{-5}$  $1 \cdot 10^{-5}$ $2 \cdot 10^{-6}$  $5 \cdot 10^{-6}$	ONPMP NPCP  ONPMP  Politechnika Poznańska
10	$B_2O_3$	Oddzielenie B jako $BF_3$ i oznaczenie P w postaci kompleksu kwasu fosforomolibdenowego z zielenią brylantową  Spektrofotometrycznie metodą karbaminianową po wstępnym wydzieleniu As przez współstrącanie z $MgNH_4PO_4$  Spektrofotometrycznie w postaci błękitu metylenowego po redukcji do $H_2S$  Polarografia z kroplą wiszącą bez oddzielania boru  Fotometria płomieniowa	P  As  S  Zn  Na	$5 \cdot 10^{-6}$  $5 \cdot 10^{-6}$  $1 \cdot 10^{-4}$  $5 \cdot 10^{-6}$  $1 \cdot 10^{-5}$	ONPMP  ONPMP  ONPMP  Politechnika Poznańska  ONPMP
11	$BBr_3$	Spektrofotometrycznie metodą karbaminianową po współstrąceniu As z $MgNH_4PO_4$  Oznaczanie P w postaci błękitu fosforomolibdenowego po odpędzeniu $BF_3$  Polarografia z kroplą wiszącą	As  P  Zn, Cd, Pb, Cu	$5 \cdot 10^{-6}$  $5 \cdot 10^{-6}$  $1 \cdot 10^{-7}$ - $4 \cdot 10^{-7}$	ONPMP  NPCP  ONPMP

1	2	3	4	5	6
		Fotometria płomieniowa	Na	$1 \cdot 10^{-5}$	ONPMP
		Spektrofotometrycznie metodą rodankową po wstępnym wydzieleniu Fe na nośniku lantanowym	Fe	$1 \cdot 10^{-5}$	ONPMP
12	$\text{PCl}_3$ $\text{POCl}_3$	Oznaczanie metodą karbaminianową	As	$5 \cdot 10^{-6}$	ONPMP
		Oznaczanie w postaci bękitu metylenowego	S	$1 \cdot 10^{-4}$	ONPMP
		Fotometria płomieniowa	Na	$2 \cdot 10^{-5}$	ONPMP
13	$\text{SiCl}_4$	Oznaczanie P metodą bękitu fosforomolibdenowego po oddzieleniu Si w postaci $\text{SiF}_4$	P	$3 \cdot 10^{-7}$	NPCP ONPMP
		Oznaczanie metodą karbaminianową po redukcji do $\text{AsH}_3$	As	$3 \cdot 10^{-7}$	ONPMP

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA ISKROWEJ SPEKTROMETRII MASOWEJ DO ANALIZY MATERIAŁÓW POLPRZEWODNIKOWYCH  
Tabela 3

Materiał	Wykrywalność pierwiastków w ppm / $\mu$					nie można oznaczyć
	0,001 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 1	powyżej 1		
GaAs	Li, Be, B, F, Al, P, Cl, K, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Rh, Pd, Ag, In, Sn, Sb, Te, J, Cs, La, Fr, Eu, Tb, Ho, Er, Sm, W, Re, Os, Ir, Au, Tl, Pb, Bi, Th, U	Si, S, Ca, Ti, Rb, Y, Zr, Nb, Ru, Cd, Ba, Nd, Sm, Gd, Dy, Yb, Pt, Hg	Mg, Zn, Sr, Mo, Co	Ge, Se, Br	H, C, N, O gazy szlachetne	
InSb	Li, Be, B, F, Na, Al, Si, B, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, As, Se, Rb, Si, Y, Nb, Rh, Tb, Ho, Tm	Mg, S, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Br, Zr, Mo, Ru, Pd, Ag, J, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, Lu, Hf, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U	Cd, Te, Cs	Sn	H, C, N, O gazy szlachetne	
Ge	Li, Be, B, F, Na, Al, J, Cs, La, Pr, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Re, Ir, Au, Tl, Pb, Bi, Th, U	Mg, Si, P, K, Ca, Sc, S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Rb, Nb, Ru, Rh, Ag, In, Sn, Sb, Te, Ba, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Hf, W, Os, Pt, Hg	Zn, Se, Br, Y, Mo, Pd, Cd	Ga, As, Sr, Zr	H, C, N, O, Cl gazy szlachetne	
GaP	Li, Be, B, Al, Si, S, V, Cr, Mn, Co, Ni, As, In, J, Pr, Tb, Ho, Au, Th	F, Mg, K, Ca, Sc, Ti, Fe, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Hf, W, Re, Os, Ir, Pt, Hg, Tl, Pb, Bi, U	Ge, Mo	Cl, Cu, Zn, Cs, La, Tm, Yb, Lu	jak wyżej + Na	
GaAs <sub>1-x</sub> P <sub>x</sub>	Li, B, F, Al, Si, S, Cr, Sc, V, C, Mn, Ni, Sr, Y, Tb, Th	Mg, K, Ti, Fe, Co, Rf, Zr, Rh, Pd, Ag, Cd, Ir, Sn, Sb, Te, J, Ea, Pr, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Hf, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, U	Se, Br, Mo, Ru, La, Nd	Cl, Cu, Zn, Ge, Cs, Tm, Yb, Lu	jak wyżej	

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA ISKROWEJ SPEKTROMETRII MASOWEJ DO ANALIZY METALI O WYSOKIEJ CZYSTOŚCI

Tabela 4

Materiał	Zakres analityczny w % wag.	Liczba oznaczanych pierwiastków	Oznaczone pierwiastki
Bizmut	$10^{-5}$ - 1	1	Pb
	$10^{-6}$ - 1	26	Ti, Mn, Zn, Mo, Ru, Pd, Cd, Sn, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Hf, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Th, U
	$10^{-7}$ - 1	44	Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Sc, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Rh, Ag, In, Sb, Te, J, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Tb, Ho, Tm, Lu
Kadm	$10^{-5}$ - 1	4	Pd, In, Os, Pb
	$10^{-6}$ - 1	38	Ti, Mn, Zn, Zr, Mo, Ru, Ag, Dy, Sn, Sb, Te, J, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Re, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Bi, Th, U
	$10^{-7}$ - 1	29	Li, Be, B, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Nb, Rh