

Jerzy MIELCZARSKI

Jerzy W. STROJEK

Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej Politechniki Śląskiej

Paweł NOWAK

Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN, Kraków

SPEKTROFOTOMETRYCZNE OKREŚLENIE PRODUKTÓW SORPCJI ODCZYNNIKÓW FLOTACYJNYCH NA MINERAŁACH

Wstęp

Proces wydzielania minerałów z rud staje się coraz bardziej skomplikowany. Trzeba obecnie sięgać do rud bardziej ubogich o złożonym składzie i trudno flotowalnych. W związku z tym przed procesem flotacji stają coraz większe wymagania. Proponuje się na przykład flotację kolektywną a następnie selektywny rozdział na poszczególne minerały. Aby przeprowadzić ten skomplikowany proces w sposób optymalny, wymagana jest szczegółowa znajomość procesów decydujących o właściwościach flotacyjnych poszczególnych minerałów.

Jednym z podstawowych problemów związanych z wyjaśnieniem mechanizmu sorpcji odczynników flotacyjnych na minerałach jest określenie jakie produkty sorpcji tworzą się na powierzchni minerałów i które z nich decydują o jego flotowalności. Różni autorzy proponują odmienne produkty, i tak na przykład w opublikowanej w 1976 roku przeglądowej pracy [1] dotyczącej układu galena - ksantogenian etylowy Poling wymienia aż osiem produktów sorpcji proponowanych przez różnych autorów, które mogą być odpowiedzialne za flotowalność tego minerału.

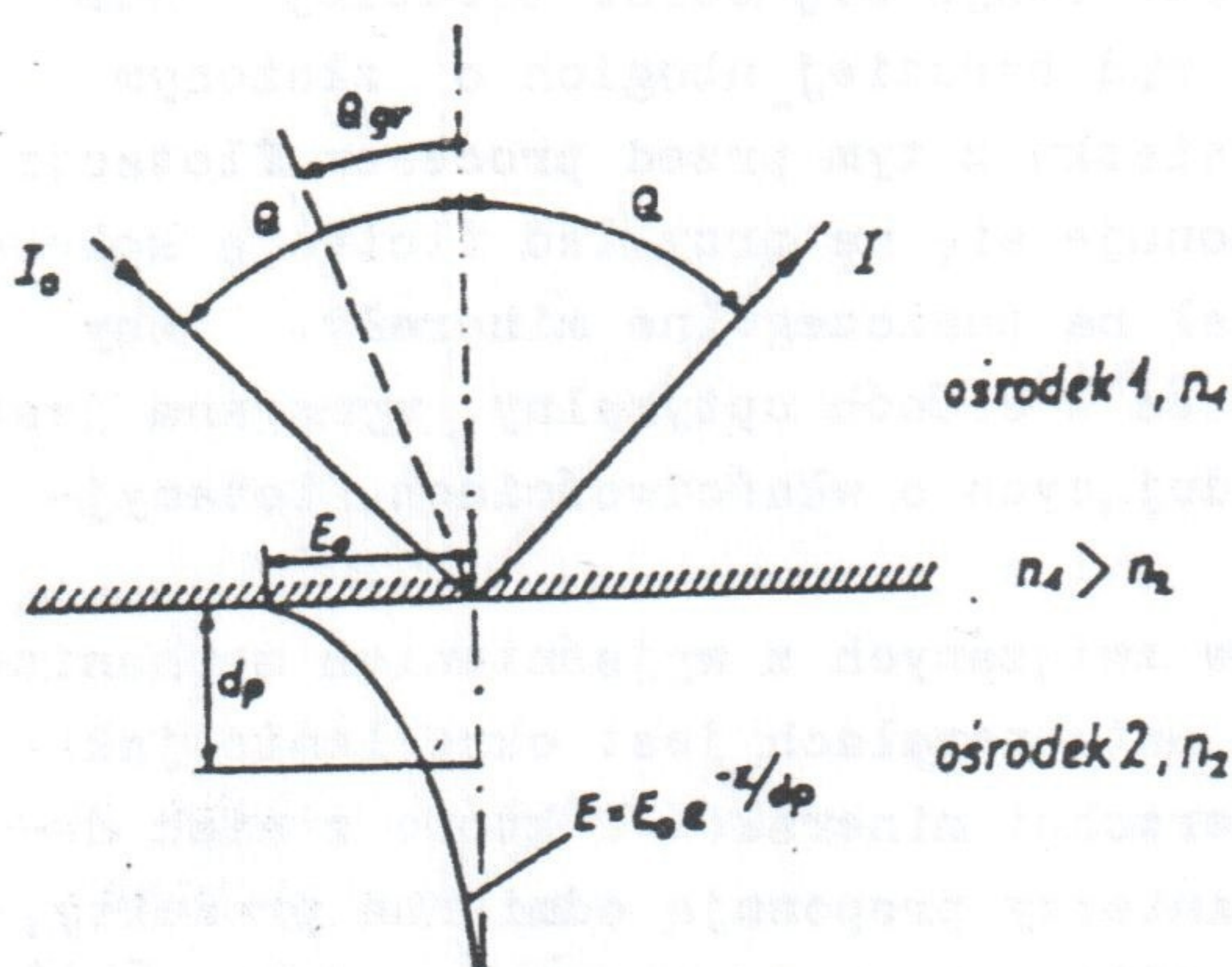
Badania fizykochemiczne procesu sorpcji są bardzo trudne ze względu na złożoność rzeczywistego układu flotacyjnego oraz powierzchniowy charakter badanych procesów. Wymagane jest więc stosowanie do badań takich metod, które umożliwiają rozróżnianie poszczególnych produktów sorpcji na powierzchni minerału ingerując w stopniu minimalnym w sam układ badany. Chodzi tu głównie o zachowanie podczas badań kontaktu minerału z roztworem wodnym odczynnika flotacyjnego. Niezbędne jest również wykorzystanie układu pomiarowego o wysokiej czułości, który pozwala obserwować produkty sorpcji w ilości mniejszej od monomolekularnego pokrycia powierzchni minerału. Niestety szereg bardzo czułych metod pomiarowych

takich jak dyfrakcja elektronów, spektroskopia elektronowa czy spektroskopia absorpcyjna w podczerwieni nie umożliwiają przeprowadzenia badań przebiegu sorpcji w trakcie kontaktu minerału z roztworem wodnym, a to na skutek silnej absorpcji promieniowania przez wodę.

Metoda, która pozwala uzyskać informacje jakościowe i ilościowe o tworzących się produktach sorpcji na powierzchni minerału podczas kontaktu próbki z wodnym roztworem odczynnikafлотacyjnego to spektroskopia całkowitego wewnętrznego odbicia w podczerwieni.

Zastosowanie promieniowania podczerwonego do badań sorpcji w układach flotacyjnych zostało zapoczątkowane w 1957 roku przez Leję i współpracowników [2]. Spektroskopia w podczerwieni stwarza duże możliwości uzyskania obzernej informacji o tworzących się produktach sorpcji co szeroko zostało omówione w monografiach Little'a [3] i Haira [4].

Istotę metody spektroskopii całkowitego wewnętrznego odbicia ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia na granicy dwóch ośrodków

Promieniowanie padając na granicę dwóch ośrodków od strony ośrodka optycznie gęstszego pod kątem większym od kąta granicznego ($Q > Q_{gr}$) ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu. Podczas odbicia promieniowanie ulega polaryzacji, a amplitudy równoległej i prostopadłej składowej pola elektrycznego opisane są równaniami:

$$r_{\perp} = \frac{\cos Q - 1 (\sin^2 Q - n_{21}^2)^{1/2}}{\cos Q + 1 (\sin^2 Q - n_{21}^2)^{1/2}} \quad (1)$$

$$r_{\parallel} = \frac{n_{21}^2 \cos Q - 1 (\sin^2 Q - n_{21}^2)^{1/2}}{n_{21}^2 \cos Q + 1 (\sin^2 Q - n_{21}^2)^{1/2}} \quad (2)$$

gdzie; Q - kąt padania promieniowania,

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} - \text{stosunek wartości współczynników załamania w ośrodku 2 i 1.}$$

Równania te wiążą wszystkie wielkości, które wpływają na wielkość amplitudy promieniowania odbitego. Wielkością mierzoną jest współczynnik odbicia oznaczony przez R , równy kwadratowi modułu amplitudy, np. $R_1 = |r_1|^2$. Współczynnik odbicia równy jest stosunkowi natężenia promieniowania odbitego i padającego $R = I/I_0$, a więc wielkości mierzonej spektrofotometrem. Podczas całkowitego wewnętrznego odbicia promieniowanie wnika również do ośrodka o mniejszym współczynniku załamania, w którym wartość natężenia pola elektrycznego maleje wykładniczo ze wzrostem odległości od granicy obu ośrodków (rys. 1);

$$E = E_0 e^{-z/d_p} \quad (3)$$

gdzie; E - natężenie pola elektrycznego w ośrodku o mniejszym współczynniku załamania,

E_0 - natężenie pola elektrycznego na granicy obu ośrodków,

z - odległość od powierzchni w ośrodku o mniejszym współczynniku załamania,

d_p - głębokość penetracji.

Głębokość penetracji określa się jako odległość od granicy obu ośrodków, na której wartość amplitudy natężenia pola elektrycznego jest e razy mniejsza niż na granicy obu faz. Wielkość ta jest uzależniona od właściwości obu ośrodków, długości fali promieniowania i kąta padania promieniowania; dla układu dwufazowego (jak na rys. 1) wynosi;

$$d_p = \frac{\lambda_0}{2 \pi n_1 (\sin^2 Q - n_{21}^2)^{1/2}} \quad (4)$$

gdzie; λ_0 - długość fali w próżni.

Pozostałe oznaczenia podano poprzednio.

Jeżeli ośrodek 2 będzie absorbował selektywnie promieniowanie, to można, notując wartość współczynnika odbicia jako funkcję częstotliwości promieniowania padającego, otrzymać jego widmo. Wówczas współczynnik załamania n_2 w równaniach 1 i 2 będzie miał postać;

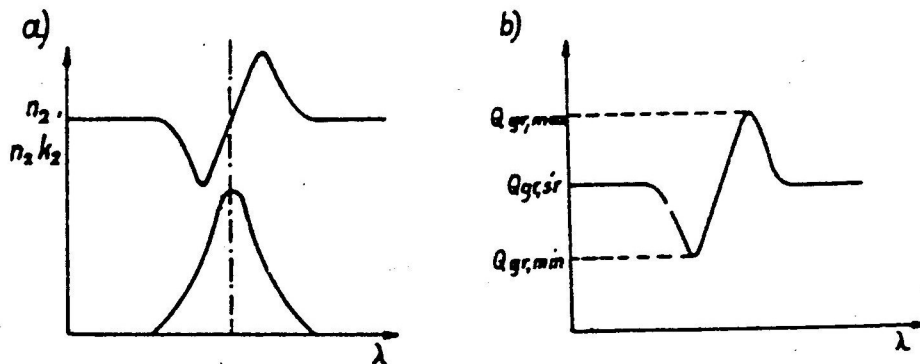
$$\bar{n}_2 = n_2 (1 - i k_2) \quad (5)$$

gdzie; $\bar{n}_2$ - zespolony współczynnik załamania,
 k_2 - współczynnik osłabienia.

Współczynnik osłabienia k_2 związany jest ze współczynnikiem absorpcji (z równania Lamberta-Beera) zależnością;

$$a_2 = \frac{4 \pi n_2 k_2}{\lambda_0} \quad (6)$$

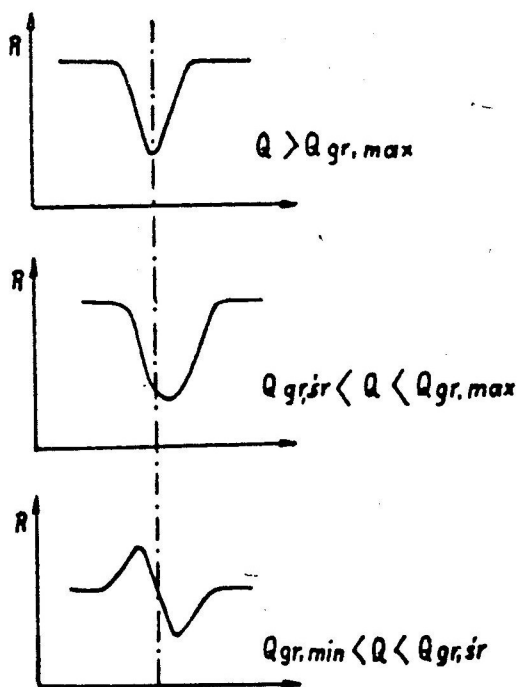
Wartość mierzona współczynnika odbicia dla danego układu pomiarowego uzależnienia jest od wielkości kąta padania promieniowania na granicę dwóch ośrodków. Pozostałe wartości n_1 , n_2 , a_2 są określone przez wybrany układ. Jeżeli wartość kąta padania jest bliska wartości kąta granicznego tego układu, otrzymuje się wówczas widmo ośrodka 2 najbardziej kontrastowe (natężenie pasm absorpcji największe) co wiąże się ze wzrostem głębokości penetracji, ale równocześnie kształt pasm jak i ich położenie są różne w porównaniu z widmem transmisyjnym. Wiąże się to z silną dyspersją współczynnika załamania próbki badanej (ośrodek 2) w obszarze pasma absorpcji.



Rys. 2. Zmiany właściwości układu w obrębie pasma absorpcji
 a) dyspersja współczynnika załamania,
 b) zmiana kąta granicznego. Według [5].

Na rysunku 2a pokazano jak w obrębie pasma absorpcji (n_2k_2) zmienia się wartość współczynnika załamania n_2 . Ponieważ wartość kąta granicznego zależy od współczynnika załamania ośrodka badanego, to również wartość kąta granicznego w obrębie pasma absorpcji ulega zmianie. Można więc wyróżnić obok kąta granicznego $Q_{gr,gr}$ wartości kątów granicznych

$Q_{gr,max}$ i $Q_{gr,min}$ w obrębie pasma absorpcji. Na rysunku 3 przedstawiono kształt pasm absorpcji w zależności od kąta padania promieniowania. Z rysunku wynika, że tylko w przypadku, gdy $Q > Q_{gr,max}$ otrzymuje się widmo odbiciowe, które nie jest zniekształcone i można je porównywać z widmem transmisyjnym. Jak stwierdzono, wystarczy aby wartość kąta padania Q przekraczała wartość $Q_{gr,śr}$ o kilka do kilkunastu stopni.



Rys. 3. Wpływ wielkości kąta padania na kształt i położenie pasma absorpcji w widmie refleksyjnym. Według [5].

Jedyna różnica między widmem odbiciowym i transmisyjnym tej samej substancji polega na tym, że wraz ze wzrostem długości fali w widmie refleksyjnym obserwować się będzie pasma o coraz większej intensywności. Jest to związane ze wzrostem głębokości penetracji promieniowania d_p w ośrodku badanym (równanie 4).

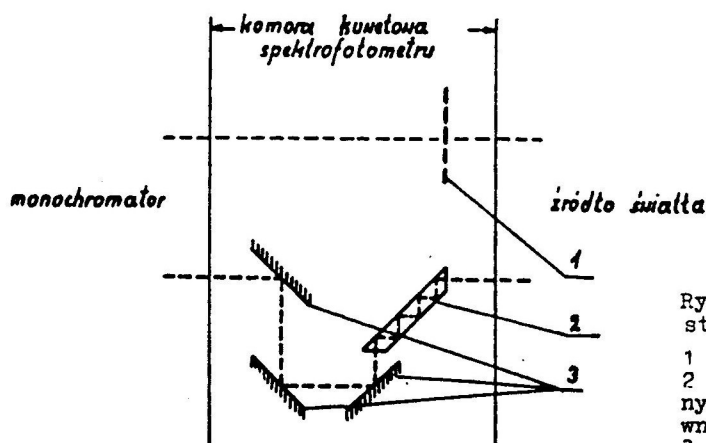
Głębokość penetracji promieniowania w ośrodku badanym jest rzędu ułamka długości fali promieniowania padającego na granicę obu ośrodków. Jest to wartość stała określona wybranym układem pomiarowym i np. dla układu german-woda przy $Q = 45^\circ$ i $\lambda = 10 \mu m$, głębokość penetracji wynosi $0,623 \mu m$. Porównując widmo refleksyjne z transmisyjnym określamy głębokość wnikania promieniowania do ośrodka badanego jako grubość efektywną d_e . Jest to grubość takiej warstwy, która w widmie transmisyjnym i refleksyjnym wykazuje taką samą absorpcję. Grubość efektywna dla przykładowego układu german-woda wynosi dla dwóch polaryzacji $d_{e1} = 0,530 \mu m$,

$d_{e\perp} = 0,265 \mu\text{m}$. Ponieważ każdy spektrofotometr ma własny stopień polaryzacji dopiero jego znajomość umożliwi określenie całkowitej grubości efektywnej. W przeprowadzonych przez nas badaniach wykorzystując spektrofotometr Specord 71 IR wartość grubości efektywnej dla układu Ge-H₂O wynosiła $0,424 \mu\text{m}$. Tak małe wnikanie promieniowania w ośrodek wodny zapewnia warunki do otrzymania widm substancji w kontakcie z wodą w zakresie podczerwieni. Dzięki temu możliwe jest wykorzystanie metody całkowitego wewnętrznego odbicia w badaniach procesów sorpcji zachodzących na minerałach w trakcie flotacji.

Dokładne omówienie podstaw metody spektroskopii całkowitego wewnętrznego odbicia i przykłady jej zastosowań można znaleźć w obszernej monografii Harricka [5].

Wybór układu pomiarowego do badań spektrofotometrycznych procesu sorpcji

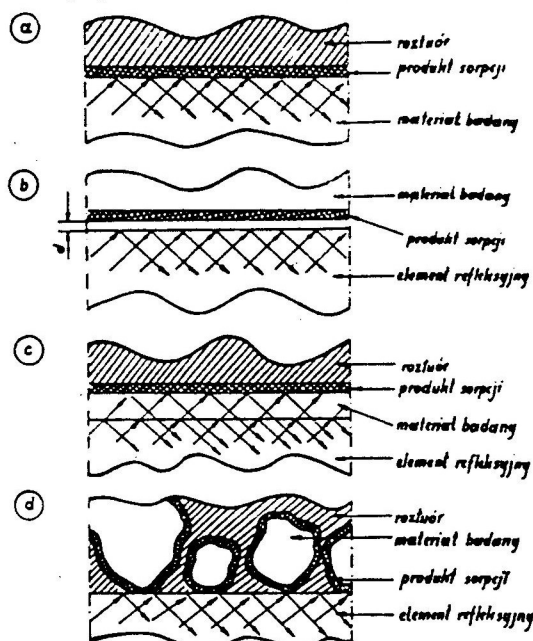
Proces flotacji ziaren minerału może zachodzić już przy ułamkowym pokryciu powierzchni minerału produktem sorpcji odczynnika flotacyjnego. Przy tych najniższych pokryciach ilość produktu sorpcji jest tak mała, że trudno otrzymać jego widmo refleksyjne. W celu zwiększenia intensywności pasm absorpcji należy wykorzystać efekt całkowitego wewnętrznego odbicia wielokrotnie, wówczas ośrodek 1 (o wyższym współczynniku załamania) musi mieć odpowiedni kształt geometryczny. Przykład takiego elementu refleksyjnego wraz ze schematem układu optycznego, jaki zastosowano we własnych badaniach, spektrofotometru Specord 71 IR przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat przy-
stawki refleksyjnej -
1 - przysłona,
2 - element refleksyj-
ny z wielokrotnym we-
wnętrznym odbiciem,
3 - zwierciadła.

Element refleksyjny musi być wykonany z materiału o dobrej transmisji promieniowania podczerwonego i odpowiednio wysokim współczynniku załamania. Wymiary oraz stan powierzchni elementu refleksyjnego muszą spełniać określone warunki optyczne, m.inn. takie, aby ilość promieniowania rozproszonego była jak najmniejsza.

Warunkiem przeprowadzenia spektrofotometrycznych badań sorpcji odczynników flotacyjnych na minerałach jest zbudowanie takiego układu pomiarowego, w którym produkt sorpcji znajdzie się w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni elementu refleksyjnego. Należy rozważyć cztery możliwe układy pomiarowe, których schematy przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przykłady układów pomiarowych do badań sorpcji

Pierwszy układ (rys. 5a) składa się z elementu refleksyjnego wykonanego z minerału kontaktowanego z roztworem wodnym odczynnika flotacyjnego. Z tworzącym się produktem sorpcji na powierzchni minerału oddziaływać promieniowanie wnikające do ośrodka wodnego. Można by wówczas obserwować zmiany jakościowe zachodzące na powierzchni minerału w trakcie sorpcji jak również, korzystając z opisu matematycznego podanego przez Hansena [6,7], wnioskować o ilości tworzącego się produktu sorpcji. Trzeba tylko dodatkowo znać faktyczne rozwinięcie powierzchni elementu refleksyjnego w kontakcie z roztworem wodnym. Nawet najlepiej wyszlifowana powierzchnia jest w pewnym stopniu chropowata, a jej współczynnik rozwinięcia powierzchni jest większy od jedności. Niestety zbudowanie takiego układu pomiarowego okazało się niemożliwe ponieważ wy-

dobyte z rud okazy minerałów posiadają takie właściwości potyczne i mechaniczne, że nie można z nich wykonać elementu refleksyjnego.

Inną propozycją jest przeprowadzenie sorpcji na płaskiej powierzchni wybranego okazu minerału i kontaktowanie go z elementem refleksyjnym (rys. 5b). Taki sposób badań sorpcji ksantogenu na galenie zaproponowali Coleman i Powell [8]. Niestety uzyskane przez nich wyniki nie zachęcają do dalszych badań. Naszym zdaniem niepowodzenie ma przyczynę w niemożności zapewnienia kontaktu optycznego produktu sorpcji z elementem refleksyjnym. Średnia odległość między elementem refleksyjnym a próbką minerału na skutek chropowatości obu powierzchni jest większa od głębokości penetracji, a kontakt optyczny zapewniony jest na bardzo małej powierzchni co nie wystarcza do otrzymania widma.

Trzeci układ składa się z elementu refleksyjnego pokrytego warstwą substancji badanej na której w trakcie kontaktu z wodnym roztworem powstaje warstwa produktu sorpcji. Warstwa substancji badanej powinna zapewniać przepuszczalność promieniowania. Pierwsze badania z wykorzystaniem takiego układu w którym substancją badaną była cienka warstwa metalu naparowanego na element refleksyjny prowadzili Wajnszhenker i Kriwelewa [9].

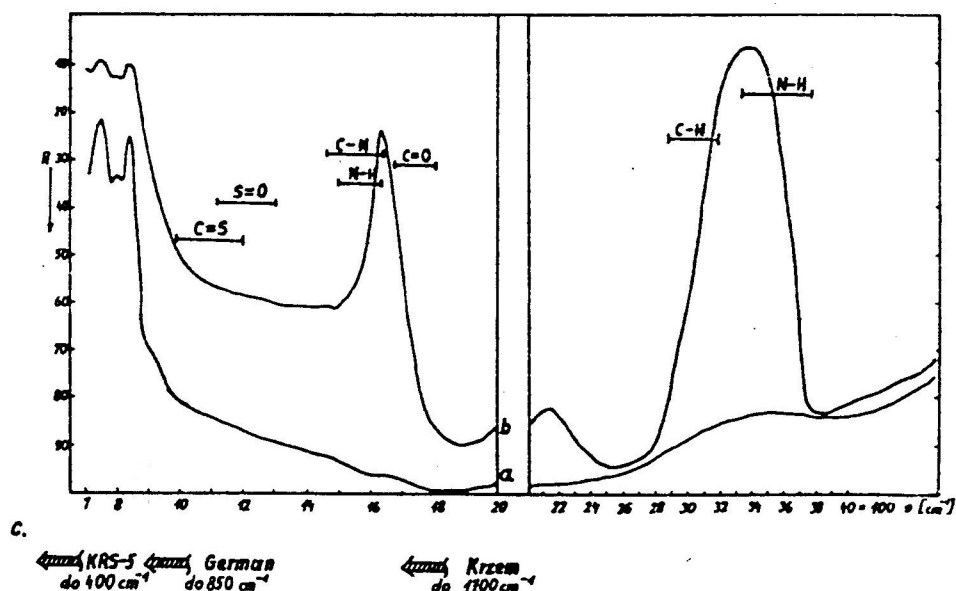
Związek między absorpcją promieniowania a grubością warstwy produktu sorpcji dla konkretnego układu można określić na podstawie równań podanych przez Hansena [10]. Opisują one układ wielofazowy przy założeniu idealnie płaskich granic faz, dlatego też dopiero znajomość rzeczywistej powierzchni próbki pozwala na określenie ilości tworzącego się produktu sorpcji. Jakościowa analiza produktów sorpcji będzie mogła być w pełni prowadzona. Zasadniczą wadą tego układu pomiarowego jest prowadzenie sorpcji na spreparowanej warstwie syntetycznego odpowiednika minerału, którego skład chemiczny i struktura krystalograficzna zależy od metody i warunków otrzymywania próbki w postaci cienkiej warstwy na elemencie refleksyjnym. Bliższe szczegóły wykorzystania tego układu pomiarowego można znaleźć w pracy Nowaka [11].

Pozostaje do omówienia układ czwarty, w którym próbka w postaci ziarn wraz z roztworem wodnym odczynnika flotacyjnego są kontaktowane z elementem refleksyjnym (rys. 5d). Możliwość stosowania próbek w postaci ziaren pozwala prowadzić badania na naturalnym mineralu wydzielonym z rudy. Wadą tego układu jest brak możliwości spektrofotometrycznych badań ilościowych poza grubymi oszacowaniami oraz bezpośredni kontakt roztworu i minerału z germanem. Badania sorpcji w układach flotacyjnych wykorzystujące taki układ zapoczątkowali Strojek i Mielczarski [12]. Wiele przykładów wykorzystania tego układu w badaniach sorpcji przedstawił w swojej pracy Mielczarski [13].

-Z przeprowadzonych rozważań wynika, że jedynie dwa ostatnie układy

pomiarowe dają szansę obserwacji tworzącego się produktu sorpcji w kontakcie z roztworem wodnym odczynnika flotacyjnego. Otrzymanie widma produktu sorpcji w danym układzie zależy jeszcze od kilku czynników, które są określone przez wybór konkretnego układu i przez czynniki, których optymalizacja pozwala osiągnąć wysoką czułość układu pomiarowego. Postaramy się je pokrótce omówić.

Jak można zaobserwować na rysunku 5c i 5d, promieniowanie podczerwone będzie oddziaływać z czterema fazami; elementem refleksyjnym, materiałem badanym (ziarna minerału, lub cienka warstwa substancji badanej), produktem sorpcji oraz roztworem wodnym. Każda z wymienionych faz absorbuje selektywnie promieniowanie w pewnym zakresie, a otrzymane widmo jest widmem wypadkowym. Przede wszystkim silną absorpcję wykazuje woda. Jej widmo refleksyjne w układzie Ge-woda przedstawiono na rysunku 6b. Woda wykazuje intensywne pasma absorpcji przy częstościach 3390 i 1640 cm^{-1} , oraz plateau absorpcji w zakresie 1500-1000 cm^{-1} .



Rys. 6. Widma refleksyjne, element refleksyjny z germanu, $N = 1^\circ$, $Q = 45^\circ$.
a - german-powietrze, b - german-woda, c - transmisji typowych materiałów, z których wykonuje się elementy refleksyjne.

Widmo wody otrzymano wykorzystując element refleksyjny z germanu, substancji, która ze względu na swoje właściwości optyczne i mechaniczne spełnia dobrze wymagane warunki. Wysoki współczynnik załamania równy 4,0 zapewnia stosunkowo małą głębokość penetracji promieniowania w fazie

wodnej. Stosując taki sam element refleksyjny z materiału o mniejszym współczynniku załamania np. krzem ($n = 3,5$), KRS-5 ($n = 2,4$), w widmie refleksyjnym otrzymuje się pasma absorpcji wody o jeszcze większej intensywności ograniczając tym samym zakres promieniowania w którym można obserwować pasma absorpcji produktu sorpcji.

W widmie mogą pojawić się również pasma absorpcji pochodzące od substancji rozpuszczonej w wodzie szczególnie przy wyższych stężeniach, pasma związane z sorpcją tych odczynników na powierzchni elementu refleksyjnego oraz pasma absorpcji związane z oddziaływaniem promieniowania z minerałem badanym. Jeżeli absorpcja promieniowania przez jedną z wymienionych faz jest silna, następuje dodatkowe ograniczenie zakresu promieniowania, w którym można obserwować pasma absorpcji interesującego produktu sorpcji.

Z drugiej jednak strony te dodatkowe pasma absorpcji mogą być źródłem dodatkowych informacji o przebiegu procesu sorpcji. Na przykład jeżeli minerał ulega powierzchniowemu utlenieniu i produkt utlenienia daje charakterystyczne widmo wówczas, podczas tworzenia się produktu sorpcji odczynnika flotacyjnego będą zachodzić zmiany również w widmie produktu utlenienia. Uzyskane tą drogą informacje pozwalają na lepsze określenie mechanizmu sorpcji.

Widmo tworzącego się produktu sorpcji będzie podobne do widma stosowanego odczynnika flotacyjnego. Pasma absorpcji charakterystyczne dla drgań określonych grup funkcyjnych (rys. 6) będą ulegały jedynie przesunięciu. Szerokie omówienie widm w podczerwieni związków organicznych można znaleźć w pracy Alperta, Keisera i Szymańskiego [14], natomiast dla związków nieorganicznych w pracy Nakamoto [15]. Szczególnie cenne informacje można uzyskać rozpatrując pasma absorpcji tych grup funkcyjnych, poprzez które zachodzi proces sorpcji. Obserwowane wówczas przesunięcie pasm charakteryzuje nam naturę tworzącego się produktu sorpcji. Na przykład prowadząc badania sorpcji siarczanu alkilowego najwięcej informacji uzyskamy obserwując pasma absorpcji grupy siarczanowej.

Na ogół bogate i charakterystyczne widma związków, które spełniają dobrze rolę zbieraczy flotacyjnych pozwalają mniemać, że mimo otrzymania widma wypadkowego dla całego złożonego układu można w nim będzie wyodrębnić pasma absorpcji charakterystyczne dla produktu sorpcji.

Niezwykle ważna jest wysoka czułość stosowanego układu pomiarowego, która umożliwia obserwowanie tworzącego się produktu sorpcji w ilościach bliskich pokryciom monomolekularnym.

Jednym ze sposobów podwyższenia czułości jest zastosowanie elementu refleksyjnego z wielokrotnym odbiciem. Ilości odbić nie można jednak zwiększać znacznie nie tylko ze względu na trudności w wykonaniu takiego elementu o odpowiednich właściwościach optycznych. Zwiększając liczbę

odbicie zwiększa się również absorpcję promieniowania przez wodę i wówczas ilość promieniowania dochodzącego do detektora spektrofotometru staje się tak mała, że praktycznie nie można zanotować widma. Stwierdzono, że w układzie Ge-H₂O optymalna ilość odbicia wynosi dwadzieścia kilka. Ilość energii dochodzącej do czujnika ogranicza poważnie samo przejście promieniowania przez element refleksyjny. Promieniowanie wchodząc do elementu refleksyjnego zostaje częściowo odbite od powierzchni wejściowej; w przypadku germanu odbite zostaje 36 % natężenia promieniowania padającego. Analogicznie podczas wyjścia promieniowania z elementu refleksyjnego odbite zostaje 36 % promieniowania. Straty te można zmniejszyć stosując pokrycia przeciwodblaskowe na odpowiednich powierzchniach elementu refleksyjnego.

W przeprowadzonych badaniach własnych stwierdzono, że odpowiednio dobrany układ pomiarowy pozwalał obserwować ilości produktu sorpcji odpowiadające pokryciu powierzchni substancji badanej rzędu ułamka monowarstwy.

Przykłady zastosowania metody całkowitego wewnętrznego odbicia w badaniach procesu sorpcji odczynników flotacyjnych na minerałach można znaleźć w pracach [8-9, 11-13, 16-20]. Jak wykazały wyniki dotychczas przeprowadzonych badań, spektroskopia całkowitego wewnętrznego odbicia pozwoliła na uzyskanie wielu nowych cennych informacji. Stosując tę metodę autorzy uzyskali możliwość rozwiązania licznych problemów, na przykład [13, 19] wyjaśniona została kwestia obecności dwuksantogenu na powierzchni minerałów siarczkowych jak również wpływ stopnia utlenienia powierzchni na przebieg sorpcji oraz jakość i ilość tworzących się produktów sorpcji.

LITERATURA

- [1] Poling G.W., Flotation -AM. Gaudin Memorial Volume, vol. 1, New York 1976, 334.
- [2] Little L.M., Leja J., Proc. 2nd Int. Congr. Surface Activity vol. 3, London 1957, 261.
- [3] Little L.H., Infrared spectra of adsorbed species, Academic Press 1966.
- [4] Hair M.L. Infrared spectroscopy in surface chemistry, Marcel Dekker, New York, 1967.
- [5] Harrick N.J., Internal Reflection Spectroscopy, Briarcliff Manor, New York 1967.
- [6] Hansen W.N., Spectrochim. Acta 21, 1965, 815.
- [7] Hansen W.N., J. Opt. Soc. Am. 47, 1968, 224.

- [8] Coleman R.E., Powell H.E., U.S. Bureau of Mines Report of Investigation 8616, 1966.
- [9] Wajnszhenker I.A., Kriwelewa E.D., Obogaszczzenie rud, vol. 17, 1972, 24.
- [10] Hansen W.N. J. Opt. Soc. Amer. 58, 1968, 380.
- [11] Nowak P., Praca doktorska, Politechnika Śląska 1979.
- [12] Strojek J.W., Mielczarski J., Roczniki Chem. 48, 1974, 1747.
- [13] Mielczarski J., Praca doktorska, Politechnika Śląska 1979.
- [14] Alpert H.L., Keiser W.E., Szymański H.A., Spektroskopia w podczerwieni, PWN, 1974.
- [15] Nakamoto K., Infrared spectra of inorganic and coordination compounds, J. Wiley, New York (tłumaczenie rosyjskie "Mir, Moskwa 1966).
- [16] Mielczarski J., Nowak P., Strojek J.W. Roczniki Chem. 50, 1976, 917.
- [17] Mielczarski J., Nowak P., Strojek J.W., Polish J. Chem. 54, 1980, 279.
- [18] Nowak P., Mielczarski J., Strojek J.W. Polish J. Chem. 54, 1980, 517.
- [19] Mielczarski J., Nowak P., Strojek J.W., Pomianowski A., Proceedings, 13th International Mineral Congress Warszawa 1979, 33.
- [20] Iskra J., Kiełkowska M., Trans. IMM, Sec. C, 89, 1980, C87.

SPECTROPHOTOMETRICAL DETERMINATION OF THE PRODUCTS OF FLOTATION REAGENTS SORPTION ON MINERALS

The use of attenuated total reflection (ATR) spectroscopy in the infra-red region of spectrum to determinate the products of flotation reagents sorption on minerals is described. The general principles of that measuring method and the factors influencing the quality of spectra are discussed. The rules of the choice of the systems in which the ATR method may be successfully used, and principles of the choice of optimal measuring parameters are given with the special attention to flotation systems.