



XLI OLIMPIADA FIZYCZNA
(1991/1992)
ZAWODY II STOPNIA
CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Zadanie doświadczalne – D

Nazwa - Ciepło właściwe miedzi

Źródła - Paweł Janiszewski, Jan Mostowski (red.): *50 lat olimpiad fizycznych. Wybrane zadania z rozwiązaniami*, PWN, Warszawa 2002;
- T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

Wyznacz grubość warstwy miedzi o znanym oporze właściwym $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ osadzonej na płycie szklanej, mając do dyspozycji:

- płytkę szklaną z napyłoną warstwą miedzi,
- igłę do zdrapywania miedzi ze szkła,
- woltomierz, 2 oporniki o znanym oporze,
- baterijkę 4,5 V, krokodylki, cienki drut bez izolacji,
- cienki karton, papier milimetrowy, nożyczki,
- kawałek plastra lekarskiego do przyklejania przewodów.

Oszacuj liczbę warstw atomowych miedzi, które tworzą osadzoną na szklanej płycie warstwę. Przyjmij, że grubość pojedynczej warstwy atomowej miedzi wynosi ok. 0,3 nm. Srebrzyste plamy z przewodzącej pasty, znajdujące się na płycie, można wykorzystać do niektórych połączeń elektrycznych.

Uwaga! Warstwa miedzi jest delikatna i stosunkowo łatwo ulega wytarciu.

Rozwiązanie zadania D – XLI OF, II stopień

Część teoretyczna

Rozwiązanie polega na znalezieniu oporu warstwy o znanej geometrii. Do badania oporu warstwy najprościej jest wykorzystać wzór na opór R przewodnika o kształcie prostopadłościanu:

$$R = \frac{\rho l}{sd}, \quad (1)$$

gdzie l – długość warstwy, s – szerokość warstwy, d – grubość warstwy. Wzór (1) jest prawdziwy przy założeniu, że prąd płynie jednorodnie przez cały przekrój i na całej długości przewodnika. Projektując doświadczenie należy zadbać, by warunki te były spełnione. Po przekształceniu wzoru (1) otrzymujemy

$$\frac{dR}{dl} = \frac{\rho}{sd},$$

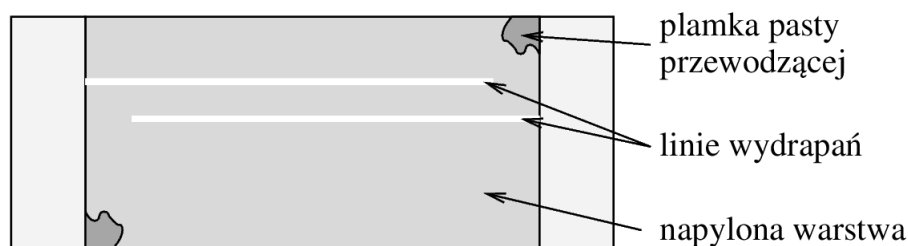
czyli

$$d = \frac{\rho}{s(dR/dl)}. \quad (2)$$

Wykonując pomiar oporu warstwy jako funkcji jej długości można znaleźć dR/dl , a następnie ze wzoru (2) otrzymać szukaną grubość warstwy. Wyznaczenie grubości warstwy bezpośrednio ze wzoru (1), nawet przy wielokrotnym pomiarze oporu R , prowadzi do dużych błędów metodologicznych, gdyż na opór R składa się nie tylko opór samej warstwy, lecz również opór kontaktów, doprowadzeń, baterii, opornika dodatkowego itp. Część z tych oporów jest znana (opornik dodatkowy) część można zmierzyć, ale np. oporu kontaktów nie da się wyznaczyć w prosty sposób i jest on praktycznie nieznany. Dlatego prawidłowym podejściem jest pomiar oporu warstwy jako funkcji jej długości.

Część doświadczalna

W doświadczeniu użyto napyłonej na szkiełko mikroskopowe warstwy miedzi o grubości ok. 10 nm. Warstwy te były wykonane specjalnie dla potrzeb olimpiady. Ich wymiary wynosiły $2,5 \times 5$ cm. W celu zapewnienia jednorodnego przepływu prądu przez warstwę oraz zapewnienia mierzalnego oporu wydrapano przy pomocy igły oraz linijki (wyciętej nożyczkami z kartonu) ścieżkę o szerokości 1,8 mm według schematu na rys. 1.

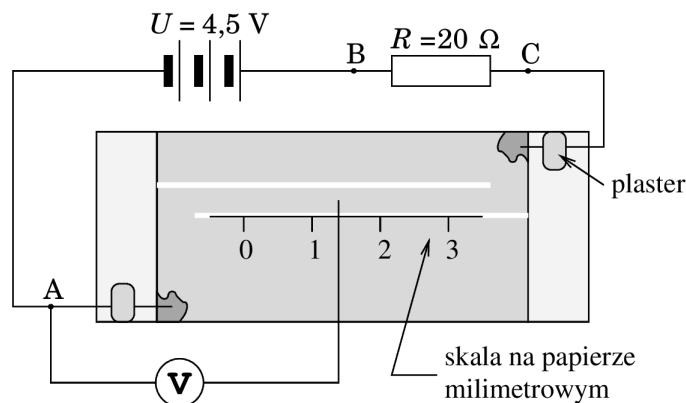


Rys. 1: Schemat płytki szklanej z napyłoną warstwą miedzi

Szerokie obszary na brzegach ścieżki z kroplą pasty przewodzącej służą do podłączenia do niej doprowadzeń prądowych. Szerokość ścieżki została określona przez porównanie jej z podziałką na papierze milimetrowym (warstwa jest półprzezroczysta). Ważne jest równoległe wydrapanie ścieżki, gdyż wpływa to na zmniejszenie błędów systematycznych. Ważne jest też delikatne obchodzenie się z warstwą, gdyż można ją stosunkowo łatwo uszkodzić. Należy pamiętać, że bezpośredni (bez wydrapania ścieżki) pomiar oporu warstwy jest nieprawidłowym podejściem, gdyż nie są zapewnione warunki jednorodnego przepływu prądu. Jest on również trudniejszy

technicznie, gdyż warstwa $2,5 \times 5$ cm ma opór rzędu kilku omów, co przy istnieniu oporów kontaktów, oporu wewnętrznego baterii, oporów doprowadzeń i opornika zabezpieczającego (opory te są rzędu kilkudziesięciu omów) powoduje, że trudno jest zmierzyć z wystarczającą dokładnością interesujący nas opór.

Po przygotowaniu warstwy do pomiarów zestawiono obwód elektryczny jak na rys. 2.



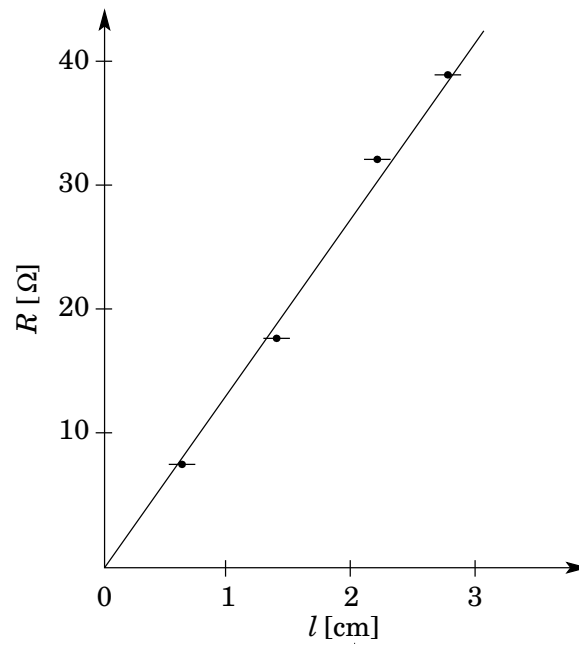
Rys. 2: Schemat obwodu elektrycznego

Zmierzono napięcie na oporniku (czyli między punktami B i C). Znając wartość oporu opornika można wyznaczyć prąd płynący w obwodzie. Następnie mierzono napięcia między punktem A, a różnymi punktami na badanym pasku. Jako sondę pomiarową wykorzystano końcówkę cienkiego przewodu. Opór warstwy wyznaczono jako iloraz spadku napięcia na odcinku ścieżki o długości l i wyznaczonego natężenia prądu. Wyniki pomiarów zamieszczone są w tabeli I.

Tabela 1. Wyniki pomiarów

l, cm	$U(l), \text{V}$	$(U(l) - U(0)), \text{V}$	$R(l), \Omega$
0	0,48	0	–
0,65	0,88	0,40	7,69
1,38	1,42	0,94	18,1
2,30	2,15	1,67	32,1
2,85	2,50	2,02	38,8

Po zakończonym cyklu pomiarowym ponownie zmierzono prąd płynący przez warstwę – sprawdzono tym samym stałość wartości płynącego prądu podczas pomiarów. Następnie na papierze milimetrowym wykreślono zależność R od l – przedstawia ją rys. 3. Z wykresu znaleziono $dR/dl = 13,5 \Omega/\text{cm}$, co po podstawieniu do wzoru (2) daje wartość $d = 7,0 \text{ nm}$. Odpowiada to ok. 20-krotnej wartości grubości warstwy atomowej miedzi.



Rys. 3: Zależność oporu R przewodnika od długości l warstwy

Punktacja