

Olympic Vật lý sinh viên Toàn quốc lần thứ XIX**Đề thi THỰC NGHIỆM***(Thời gian làm bài 180 phút)***XÁC ĐỊNH BỀ RỘNG VÙNG CẤM CỦA CHẤT BÁN DẪN VÀ
MỨC NĂNG LƯỢNG FERMI CỦA KIM LOẠI****I. Cơ sở lý thuyết****1. Xác định bề rộng vùng cấm ΔE_g của chất bán dẫn.**

Chất bán dẫn là những chất có đặc điểm trung gian giữa chất dẫn điện và chất cách điện. Với chất bán dẫn, khi ở nhiệt độ $T = 0$ K giữa vùng hóa trị (các mức năng lượng đều có điện tử điền đầy) và vùng dẫn (các mức năng lượng chưa có điện tử) có vùng cấm với khoảng cách ΔE_g nên khi ở $T \neq 0$ K, một số điện tử nhận năng lượng nhiệt sẽ chuyển từ vùng hóa trị lên vùng dẫn và đồng thời hình thành các lỗ trống trong vùng hóa trị. Khi có điện trường, các điện tử trong vùng dẫn và lỗ trống trong vùng hóa trị sẽ tham gia vào quá trình dẫn điện.

Một cách gần đúng có thể coi điện trở R của mẫu bán dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ T của mẫu dạng: $R = C.T^{-\frac{3}{2}}.e^{\frac{\Delta E_g}{2k_B T}}$ với C là hằng số phụ thuộc vào mẫu bán dẫn; ΔE_g là bề rộng vùng cấm, $k_B = 1,38.10^{-23}$ J/K là hằng số Boltzmann, T là nhiệt độ tuyệt đối.

Như vậy bằng việc khảo sát sự thay đổi điện trở của mẫu bán dẫn theo nhiệt độ ta có thể xác định được bề rộng vùng cấm của chất bán dẫn làm mẫu.

2. Xác định giá trị mức năng lượng Fermi E_F của kim loại

Theo lý thuyết vùng năng lượng, chất dẫn điện (kim loại) có vùng dẫn được điền đầy một phần bởi các điện tử. Mức năng lượng Fermi E_F trong kim loại được biết đến là mức năng lượng lớn nhất mà các điện tử có thể có mặt ở nhiệt độ 0K. Phía dưới mức năng lượng Fermi, các mức năng lượng đều được điền đầy bởi các điện tử. Việc xác định được giá trị mức năng lượng Fermi cho chúng ta nhiều thông tin liên quan đến tính dẫn nhiệt và dẫn điện của vật liệu.

Trong kim loại, mỗi nguyên tử có thể có nhiều điện tử nhưng chỉ có các điện tử hóa trị là có thể chuyển động tự do trong vật hình thành đám mây điện tử còn các điện tử khác bị định xứ tại các vị trí nguyên tử. Khi có điện trường trong kim loại, dưới tác dụng của điện trường các điện tử hóa trị chịu tác dụng của lực điện trường và tham gia vào quá trình dẫn điện.

Trong thí nghiệm này chúng ta xác định mức năng lượng Fermi của kim loại đồng (Cu). Giả thiết mỗi nguyên tử Cu đóng góp một điện tử tham gia vào quá trình dẫn điện và coi tốc độ chuyển động trung bình của các điện tử ở nhiệt độ tuyệt đối T cỡ tốc độ Fermi V_F được tính theo

công thức $V_F = \sqrt{\frac{2E_F}{m}}$ với $m = 9,1.10^{-31}$ Kg là khối lượng điện tử. Quỹ đường chuyển động

tự do trung bình λ của điện tử trong quá trình dẫn điện ở nhiệt độ T phụ thuộc vào nhiệt độ dạng

$$\lambda = \frac{1}{a + 1,35 \cdot 10^5 T} \text{ với } a \text{ là hằng số. Độ dẫn điện của kim loại là } \sigma = \frac{ne^2}{m} \tau \text{ với } \tau \text{ là thời gian di}$$

chuyển giữa hai lần va chạm của điện tử với nút mạng (thời gian sống), n là mật độ điện tử trong một đơn vị thể tích, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C là độ lớn điện tích điện tử.

II. Dụng cụ thí nghiệm

- Hộp nguồn điện một chiều biến đổi
- 02 đồng hồ đo điện vạn năng; 01 nhiệt kế điện tử
- 04 dây nối và 01 bộ dây để nối linh kiện.
- 01 linh kiện dạng cuộn dây Cu; 01 linh kiện bán dẫn (linh kiện bé)
- 01 viên bi sắt, túi bóng, cốc; chun nịt, nước nóng.

III. Yêu cầu thí nghiệm

1. Xác định bề rộng vùng cấm ΔE_g của chất bán dẫn.

Điện trở của chất bán dẫn sẽ tăng khi nhiệt độ mẫu giảm. Để đo điện trở của mẫu bán dẫn hãy sử dụng đồng hồ vạn năng ở chế độ ôm kế. Yêu cầu:

- Tiến hành đo sự thay đổi điện trở R của mẫu bán dẫn theo nhiệt độ, ghi bảng số liệu.
- Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định ΔE_g .
- Lập bảng số liệu tính toán để xử lý số liệu bằng đồ thị, vẽ đồ thị liên quan trên giấy vẽ.
- Xác định giá trị ΔE_g theo đơn vị eV (*không yêu cầu tính sai số của giá trị ΔE_g*).

2. Xác định mức năng lượng Fermi E_F của kim loại.

Dây đồng (Cu) dùng trong thí nghiệm có chiều dài dây là $L = 5,2$ m và đường kính sợi dây $d = 0,28$ mm được cuốn quanh lõi làm bằng vật liệu truyền nhiệt tốt thành dạng linh kiện. Cho biết Cu có khối lượng riêng là $\rho = 8930$ kg/m³ và khối lượng mol của Cu là $\mu = 63,54$ g/mol, mỗi mol có $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ nguyên tử (số Avogadro). Hãy:

- Vẽ sơ đồ bố trí thí nghiệm để đo chính xác nhất sự thay đổi điện trở của dây Cu theo nhiệt độ.
- Tiến hành đo đạc để xác định sự thay đổi điện trở dây Cu theo nhiệt độ và viết bảng số liệu.
- Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định E_F ;
- Xử lý số liệu bằng phương pháp đồ thị và xác định giá trị E_F (*không yêu cầu tính sai số của giá trị E_F*).

IV. Lưu ý trong quá trình làm thí nghiệm

- Nên cho mẫu cần đo, đầu đo nhiệt độ và viên bi vào túi bóng, buộc và thả túi bóng vào cốc nước nóng hạn chế cho nước lọt vào túi. Để tiết kiệm thời gian đo ở vùng nhiệt độ thấp nhiệt độ giảm chậm, hãy đo điện trở R của mẫu khi nhiệt độ giảm từ khoảng 70^oC xuống khoảng 45^oC.

- Nguồn một chiều biến đổi có dòng cực đại là khoảng 200 mA nên thận trọng khi sử dụng phương án dùng đến nguồn và sẽ không có dụng cụ thay thế.

HƯỚNG DẪN CHẤM THÍ NGHIỆM

1. Xác định bề rộng vùng cấm của chất bán dẫn.

- Bảng số liệu

t°C	70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44
R (KΩ)	1.67	1.80	1.95	2.11	2.29	2.48	2.70	2.91	3.15	3.42	3.71	4.03	4.38	4.78

- Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định ΔE_g

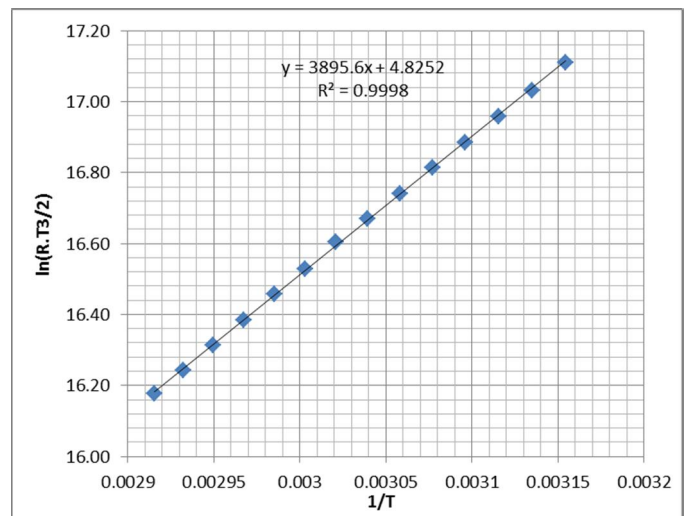
$$\text{Từ } R = C.T^{-\frac{3}{2}}.e^{\frac{\Delta E_g}{2k_B T}} \text{ ta có } R.T^{\frac{3}{2}} = C.e^{\frac{\Delta E_g}{2k_B T}} \Rightarrow \ln(R.T^{\frac{3}{2}}) = \ln C + \frac{\Delta E_g}{2k_B} \frac{1}{T}$$

$$\text{Đặt } X = \frac{1}{T}; Y = \ln(R.T^{\frac{3}{2}}); A = \ln C; B = \frac{\Delta E_g}{2k_B} \text{ ta có } Y = A + BX$$

Dựng đồ thị Y theo X ta có đồ thị dạng tuyến tính, xác định độ nghiêng ta tìm được B và xác định được $\Delta E_g = 2k_B B$

- Bảng xử lý số liệu để vẽ đồ thị

t (°C)	R (KΩ)	T (K)	X = 1/T (1/K)	Y = ln(R.T ^{3/2})
70	1.67	343	0.002915	16.18
68	1.80	341	0.002933	16.24
66	1.95	339	0.00295	16.31
64	2.11	337	0.002967	16.38
62	2.29	335	0.002985	16.46
60	2.48	333	0.003003	16.53
58	2.70	331	0.003021	16.60
56	2.91	329	0.003040	16.67
54	3.15	327	0.003058	16.74
52	3.42	325	0.003077	16.81
50	3.71	323	0.003096	16.89
48	4.03	321	0.003115	16.96
46	4.38	319	0.003135	17.03
44	4.78	317	0.003155	17.11



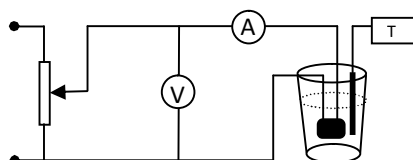
- Vẽ đồ thị để xử lý số liệu xác định độ nghiêng B = 3895.6

- Xử lý số liệu để nhận được giá trị ΔE_g

$$\Delta E_g = 2k_B B = 2.1,38.10^{-23}.3895,6 = 1,08.10^{-19} \text{ (J)} = 0,67 \text{ eV}$$

2. Xác định mức năng lượng Fermi của kim loại.

- Vẽ sơ đồ bố trí thí nghiệm



- Tiến hành đo đạc để xác định sự thay đổi R theo nhiệt độ

T (°C)	U (mV)	I (mA)	Y = R (Ω)
80	113.9	49.8	2.287
78	112.5	49.8	2.259
76	111.8	49.8	2.245
75	111.3	49.8	2.235
74	110.8	49.8	2.225
72	110.1	49.8	2.211
70	109.4	49.8	2.197
68	108.8	49.8	2.185
66	108.0	49.8	2.169
65	107.6	49.8	2.161
64	107.2	49.8	2.153

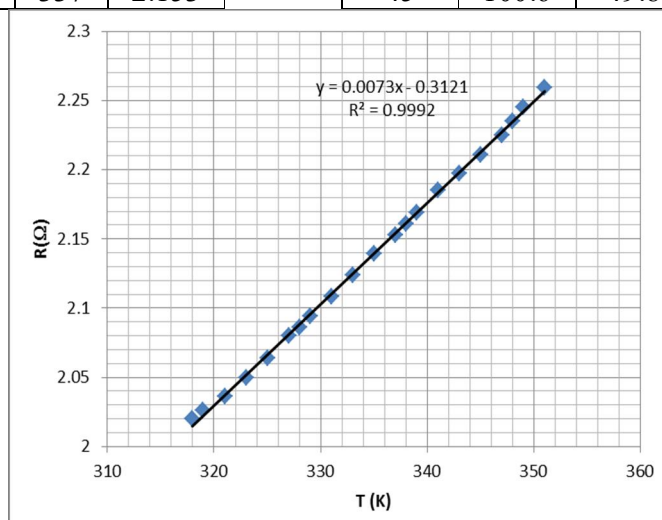
T (°C)	U (mV)	I (mA)	Y = R (Ω)
62	106.5	49.8	2.139
60	105.8	49.8	2.124
58	105.0	49.8	2.108
56	104.3	49.8	2.094
55	103.9	49.8	2.086
54	103.6	49.8	2.080
52	102.8	49.8	2.064
50	102.1	49.8	2.050
48	101.4	49.8	2.036
46	100.9	49.8	2.026
45	100.6	49.8	2.020

- Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định E_F

$$R = \frac{La\sqrt{2mE_F}}{ne^2\pi^2} + 1,35 \cdot 10^5 \cdot \frac{L\sqrt{2mE_F}}{ne^2\pi^2} T$$

T (°C)	U (mV)	I (mA)	X = T (K)	Y = R (Ω)
80	113.9	49.8	353	2.287
78	112.5	49.8	351	2.259
76	111.8	49.8	349	2.245
75	111.3	49.8	348	2.235
74	110.8	49.8	347	2.225
72	110.1	49.8	345	2.211
70	109.4	49.8	343	2.197
68	108.8	49.8	341	2.185
66	108.0	49.8	339	2.169
65	107.6	49.8	338	2.161
64	107.2	49.8	337	2.153

T (°C)	U (mV)	I (mA)	X = T (K)	Y = R (Ω)
62	106.5	49.8	335	2.139
60	105.8	49.8	333	2.124
58	105.0	49.8	331	2.108
56	104.3	49.8	329	2.094
55	103.9	49.8	328	2.086
54	103.6	49.8	327	2.080
52	102.8	49.8	325	2.064
50	102.1	49.8	323	2.050
48	101.4	49.8	321	2.036
46	100.9	49.8	319	2.026
45	100.6	49.8	318	2.020



* Xác định giá trị E_F

- Xác định được độ nghiêng bằng phương pháp bình phương tối thiểu

$$R = \frac{La\sqrt{2mE_F}}{ne^2\pi r^2} + 1,35 \cdot 10^5 \cdot \frac{L\sqrt{2mE_F}}{ne^2\pi r^2} T \Rightarrow E_F = \left[\frac{ne^2\pi r^2}{L\sqrt{2m}} \right]^2 \left[\frac{0,0073}{1,35 \cdot 10^5} \right]^2 = 1,1 \cdot 10^{-19} \text{ (J) Vậy ta có}$$

mức Fermi của Cu là $E_F = 6,7 \text{ eV}$