

응집물질물리실험 예비보고서

실험주제 : Four point probe resistivity measurement

HuiJae-Lee¹

¹Physics Department, Inha University*

(Dated: November 27, 2022)

이번 실험을 통해 Four point probe 방법으로 비저항을 측정하는 과정을 익히고 시료에 따른 비저항의 차이와 시료의 온도와 비저항 사이 관계를 알아본다.

I. INTRODUCTION

4 point probe 방식은 전류와 저항을 측정하는 방법으로써 전류와 저항이 옴의 법칙을 따르는 관계에 있기 때문에 전류에 따른 저항의 특성을 알아볼 수 있다. 저항이 있는 물질에 전류가 흐르는 경우, 물질에 가해진 전류에 따라 물질에 일정하게 전압이 가해지고 물질의 저항에 따라서 이러한 전압이 달라진다. 전류의 세기가 더 커질수록 저항에 가해진 전압이 더 커진다. 저항에 가해진 전압의 크기에 따라서 저항의 크기가 어떤 값으로 계산되는지 알고 있다면 저항의 크기를 알 수 있다. 이러한 크기를 측정하기 위해서는 4 point probe 방식이 이용된다.

우리는 4 point probe 방식의 저항 측정을 이용해 물질의 저항을 측정하고 이를 이용해 물질의 비저항을 구할 것이다. 또한 물질의 온도가 비저항에 어떤 영향을 미치는지 실험을 통해 알아보는 것을 목표로 한다.

II. EXPERIMENT

A. Theory

1. 옴의 법칙과 비저항

자유전자의 운동량과 파동벡터는 다음의 관계에 있다.

$$m\vec{v} = \hbar\vec{k}. \quad (1)$$

이 전자가 전자기장 내에서 운동하고 있다면 이 전자는 다음과 같은 로렌츠 힘 \vec{F} 를 받는다.

$$\vec{F} = \hbar \frac{d\vec{k}}{dt} = -e \left(\vec{E} + \frac{\vec{v}}{c} \times \vec{B} \right). \quad (2)$$

자기장 \vec{B} 가 0이고 전자가 일정한 속력으로 움직인다고 하면

$$\vec{k} = -e \frac{\vec{E}t}{\hbar} \Rightarrow \vec{v} = \frac{\hbar}{m} \vec{k} = -e \frac{\vec{E}t}{m} \quad (3)$$

이고 전자가 단위 부피 당 n 개 존재한다면 전류밀도 \vec{j} 를 구할 수 있다.

$$\vec{j} = nq\vec{v} = \frac{ne^2t}{m} \vec{E}. \quad (4)$$

이를 옴의 법칙이라 부른다. 비저항 ρ 는 전기장과 전류밀도의 비로 정의되므로

$$\rho = \frac{m}{ne^2t} \quad (5)$$

으로 쓸 수 있다.

2. 4 point probe measurement

4 point probe measurement는 임의의 반도체성 물질의 저항 측정을 목표로 한다. 두꺼운 시료와 얇은 시료에 대한 저항 측정의 이론이 다르며 이번 실험에서는 얇은 시료에 대한 측정을 시도한다. 우선 미소거리 dx 에 대한 저항값 ΔR 은 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta R = \rho \frac{dx}{A} \quad (6)$$

ρ , A 는 각각 비저항, 면적이다.

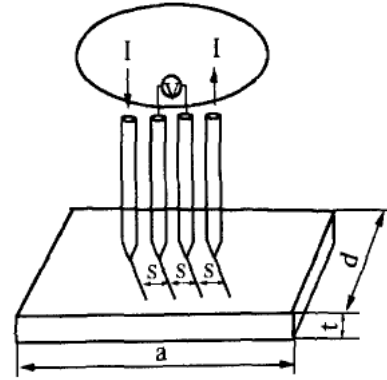


FIG. 1. 4 point probe measurement 모식도

시료가 얇은 경우(두께 \ll 탐침 사이 간격), 시료의 두께를 t 라 하면 면적 A 는

$$A = 2\pi xt \quad (7)$$

이고 저항 R 은

$$R = \int_s^{2s} \rho \frac{1}{2\pi t x} dx = \frac{\rho}{2\pi t} \ln 2 \quad (8)$$

이다. 옴의 법칙 $V = IR$ 에 의해 비저항 ρ 는

$$\rho = \frac{\pi t V}{\ln 2 I} \quad (9)$$

로 구할 수 있다.

* hjlee6674@inha.edu

B. Experimental Methods

1. For matter

1. 4 point probe 장비와 Voltage meter, Current source를 연결선을 통해 연결한다.
2. 4 point probe 장비와 Oven을 연결한다.
3. 4 point probe의 샘플 스테이지에 시료를 놓는다. 이때, 4 point probe 장비에 적절한 압력을 주어 탐침과 시료가 닿도록 만들고, 나사를 조여 고정한다.
4. Oven의 스위치를 set으로 올려주고 다이얼을 돌려 25°C로 설정해준다.
5. Current source와 Voltage meter의 스케일을 적절히 설정하고, 영점을 맞춘다.
6. Current source의 다이얼을 돌려 4 point probe의 전류를 증가시키며, 이에 따른 전압을 Voltage meter로 측정한다.
7. 측정한 전압과 전류 사이의 관계식을 사용하여 시

료의 종류에 따른 비저항과 면저항을 계산한다.

$$\rho = \frac{\pi TV}{\ln 2I} \approx 4.532 \frac{TV}{I}, \quad \rho_s = \frac{\rho}{T} \approx 4.532 \frac{V}{I} \quad (10)$$

2. For temperature

1. Oven의 스위치를 set으로 올려주고 다이얼을 돌려 원하는 값을 설정해준다.
2. 설정한 값이 일정하게 유지되고 있는 지를 Display를 통해 확인한다.
3. Current source의 다이얼을 조금씩 돌려가며 전류가 증가함에 따라 변화하는 전압을 Voltage meter로 측정한다.
4. Oven의 다이얼을 돌려 기존의 값과 다른 온도를 설정해준다.
5. 2 3번을 반복한다.
6. 전류와 전압 사이의 관계를 이용하여 온도에 따른 비저항을 구하고, 온도와 비저항이 어떤 관계를 가지는 지 분석한다.