

はじめにお読みください

この文章は、研究室に所属する学生が研究活動の一環として作成してくれたものです。研究室セミナーの時間に輪番で発表してもらい、研究に関連した事項の基礎知識の向上をはかりました。内容・文章ともに未だ不完全なものもありますが、2018 年度に調査してくれたものを公開いたします。

※学生の作成してくれたファイルをそのまま公開しております。ところどころ誤った記述もあるため、内容については保証いたしかねます。ご注意ください。
(2019 年度以降、少しずつ改訂していく予定です。)

2018 年 3 月 名古屋工業大学 川崎・石井研究室
<http://kawasaki.web.nitech.ac.jp/jp/tips/index.shtml>

【執筆者一覧】

・ 卒研究生

伊達 怜実、堀之内 理紗、山田 えみり、吉谷 駿、渡邊 裕介

・ M1

浅井 七海、亀岡 真祐子、近藤 航平、長谷川 毅、横井 和真、高橋 実夏子

・ M2

石亀 弘基、久野 潤也、中村 元海、林 遼治、松下 一樹、眞鍋 駿

・ D3

李 蒼昊

【半導体物理】

電気抵抗の測定値から、表面低効率や体積抵抗率を算出する方法について教えてください。

作成日： 2018 年 5 月 18 日

担当者： 眞鍋 駿

電気抵抗・・・電流の流れにくさのこと。単位は $[\Omega]$

体積抵抗率・・・試料の単位体積 (1cm^3) あたりの抵抗のこと。体積固有抵抗、比抵抗、抵抗率と呼ばれることもある。単位は $[\Omega \cdot \text{cm}]$

表面抵抗率・・・試料の単位表面積 (1cm^2) あたりの抵抗のこと。シート抵抗と呼ばれることもある。単位は $[\Omega/\square]$ あるいは $[\Omega/\text{sq.}]$

Fig.1 のように、抵抗値 $[\Omega]$ は材料の形状、サイズ、測定位置で変化するが、体積抵抗率 $[\Omega \cdot \text{cm}]$ と表面抵抗率 $[\Omega/\square]$ は材料固有の値をとる。そのため、抵抗値 $[\Omega]$ よりも、抵抗率 $[\Omega \cdot \text{cm}]$ 、 $[\Omega/\square]$ を使う動きが高まっている。

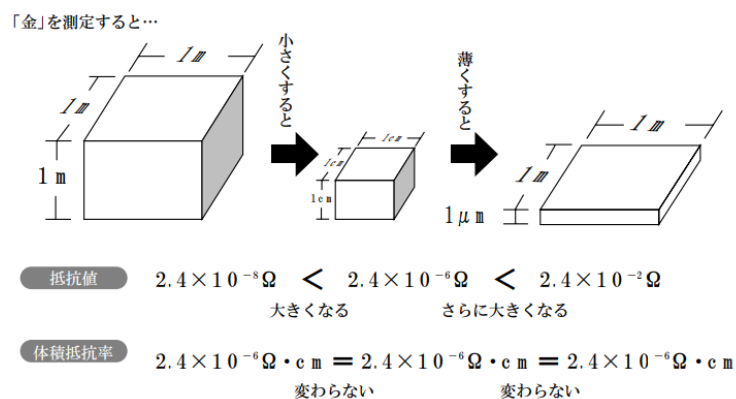


Fig.1 金における抵抗値と抵抗率の違い [1]

一般的な計算方法

体積抵抗率

測定試料の電気抵抗を $R [\Omega]$ 、厚みを $t [\text{cm}]$ 、幅を $w [\text{cm}]$ 、長さを $l [\text{cm}]$ 、断面積を $S [\text{cm}^2]$ とすると

$$\text{体積抵抗率 } \rho_V [\Omega \cdot \text{cm}] = R \times \frac{w}{l} \times t = R \times \frac{S}{l}$$

$$\text{表面抵抗率 } \rho_s [\Omega/\square] = R \times \frac{w}{l}$$

で求めることができる。

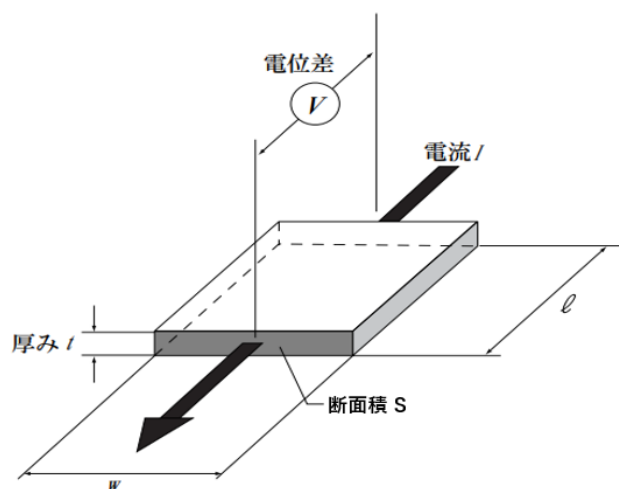


Fig.2 測定試料の概略図

体積抵抗率の測定

体積抵抗率の測定によく用いられるリング電極プローブの模式図を Fig.3 に示す。具体的には、下側の主電極に直流電圧 V を引加し、そのとき上側と下側の主電極の間に流れた電流 I を測定することによって、電気抵抗 R を

$$R = \frac{V}{I}$$

から算出している。使用していない外側の電極はガード電極と呼ばれ、主電極より外側を通過した電流をグラウンドに流す役割がある。ここで、電極の断面積 S は

$$S = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

で表される。また、この場合の試料の長さ l は、

$$l = t$$

となる。よって、体積抵抗率 ρV は、

$$\rho V = R \times \frac{S}{l} = R \times \frac{\pi}{4t} d^2$$

から求めることが出来る。

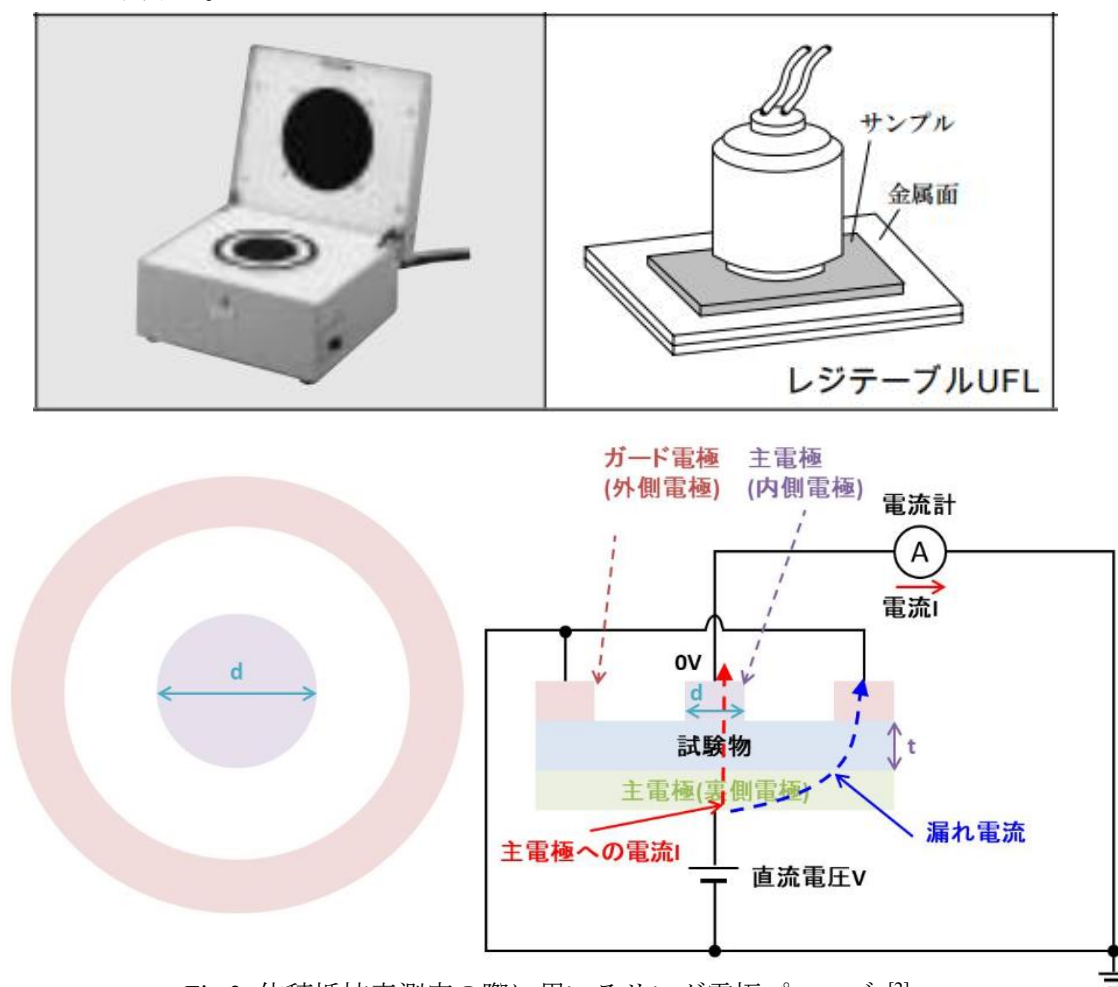


Fig.3 体積抵抗率測定の際に用いるリング電極プローブ [2]

左上：実際の写真 右上：サンプルのセット方法 下側：電極の模式図と測定回路

表面抵抗率の測定

表面抵抗率の測定によく用いられるリング電極プローブの模式図を Fig.4 に示す。具体的には、リング電極に直流電圧 V を印加し、そのときリング電極から主電極に向かって流れる電流 I を測定することによって、電気抵抗 R を

$$R = \frac{V}{I}$$

から算出している。このとき、ガード電極は試料の下側に置かれており、厚み方向に回り込んだ電流をグラウンドに流すことで、試験物の表面に流れる電流のみを測定できるようにしてある。

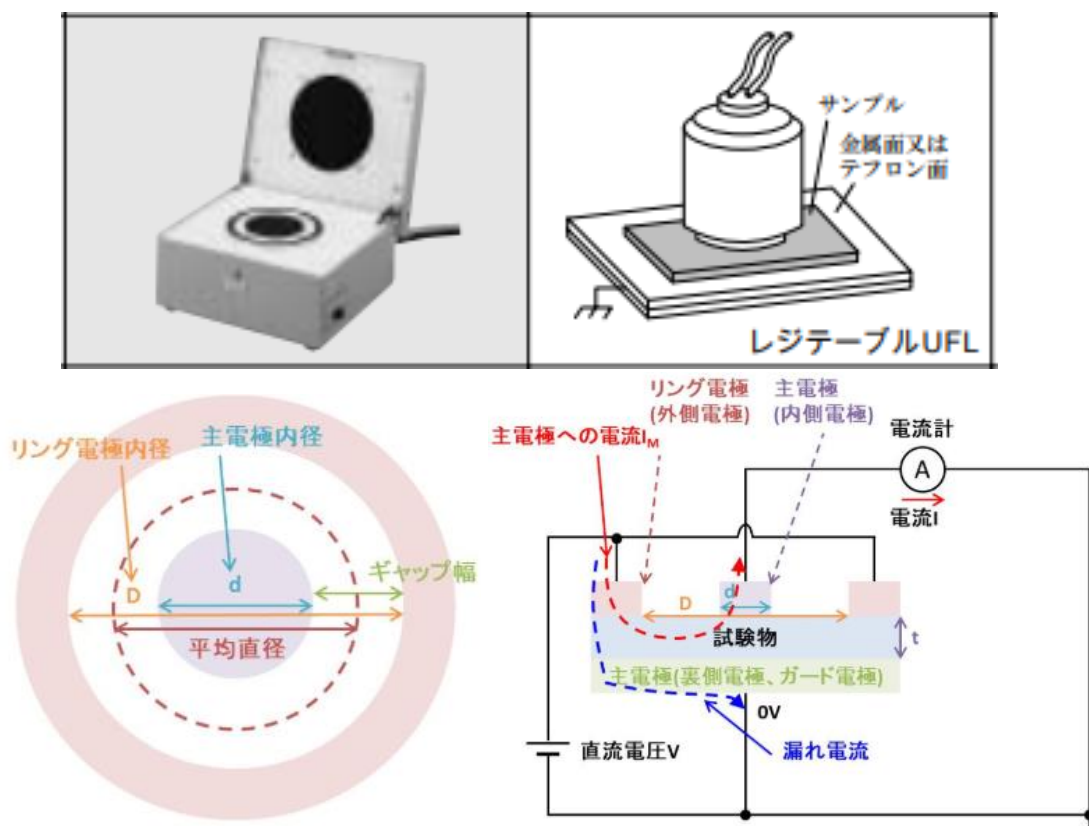


Fig.4 表面抵抗率測定の際に用いるリング電極プローブ [3]

左上：実際の写真 右上：サンプルのセット方法 下側：電極の模式図と測定回路

ここで、電流が流れるのは、リング電極と主電極の間のドーナツ型の部分である。このドーナツを展開し、平均直径で近似すると、Fig.5 のように直方体として考えることができる。

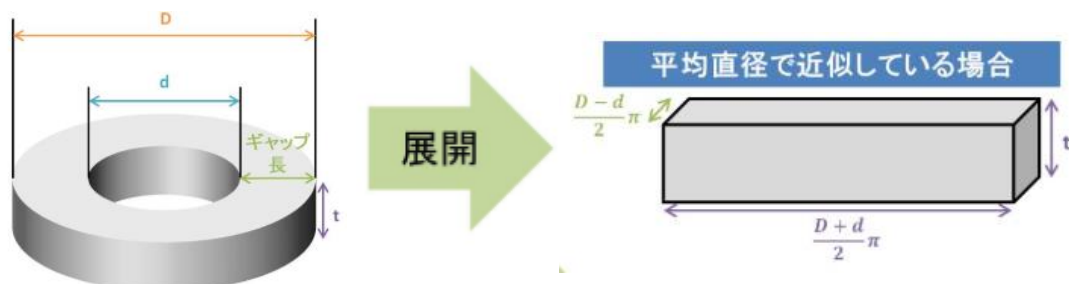


Fig.5 試料上の抵抗測定部位

この時試料の幅 w と長さ l は

$$w = \frac{\pi(D+d)}{2}, \quad l = \frac{D-d}{2}$$

で表すことができる。よって、表面抵抗率 ρ_s は、

$$\rho_s = R \times \frac{w}{l} = R \times \frac{\pi(D+d)}{D-d}$$

から求めることができる。

四探針法による測定の場合

四探針法によって電気抵抗を測定した場合、測定位置や試料サイズが任意のため、試料内部に広がった電界エネルギーの値が測定状況により変化し、抵抗値も変わってくる。例えば試料サイズが小さい時や測定位置が試料の端の場合、電界エネルギーの密度が高くなり、抵抗値は高くなる。これは、電界エネルギーが試料の外に出られないためである。この電界エネルギーの密度の変化分を見越して正しい体積抵抗率、表面抵抗率を導くために、抵抗率補正係数 (Resistivity Correction Factor: RCF) が用いられている。この係数はポアソンの式というものを厳密に解くことによって導くことが出来る。式を Fig.6 に示す。

ポアソン (Poisson) の式

$$\nabla^2 \phi(r) = 2\rho_p [\delta(r - r_a) - \delta(r - r_b)]$$

$$\begin{aligned} RCF^{-1} = & \frac{y_a - y_c}{a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{a\xi \sinh(b\xi)} \left\{ \cos(\xi x_a) \cosh \left[\xi \left(y_a + \frac{b}{2} \right) \right] - \cos(\xi x_c) \cosh \left[\xi \left(y_c + \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cos(\xi x_a) \cosh \left[\xi \left(y_a - \frac{b}{2} \right) \right] \\ & - \left\{ \cos(\xi x_a) \cosh \left[\xi \left(y_a - \frac{b}{2} \right) \right] - \cos(\xi x_c) \cosh \left[\xi \left(y_c - \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cos(\xi x_b) \cosh \left[\xi \left(y_b + \frac{b}{2} \right) \right] \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{a\eta \sinh(b\eta)} \times \left\{ \cosh \left[\eta \left(y_a + \frac{b}{2} \right) \right] - \cosh \left[\eta \left(y_c + \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cosh \left[\eta \left(y_a - \frac{b}{2} \right) \right] \\ & - \left\{ \cosh \left[\eta \left(y_a - \frac{b}{2} \right) \right] - \cosh \left[\eta \left(y_c - \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cosh \left[\eta \left(y_b + \frac{b}{2} \right) \right] \\ & + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{a\xi \sinh(b\xi)} \times \left\{ \cos(\xi x_a) \cosh \left[\zeta \left(y_a + \frac{b}{2} \right) \right] - \cos(\xi x_c) \cosh \left[\zeta \left(y_c + \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cos(\xi x_a) \cosh \left[\zeta \left(y_a - \frac{b}{2} \right) \right] \\ & - \left\{ \cos(\xi x_a) \cosh \left[\zeta \left(y_a - \frac{b}{2} \right) \right] - \cos(\xi x_c) \cosh \left[\zeta \left(y_c - \frac{b}{2} \right) \right] \right\} \times \cos(\xi x_b) \cosh \left[\zeta \left(y_b + \frac{b}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

r : 試料内の任意の点を表すベクトル (x, y, z)
 $\phi(r)$: 試料内の任意の電位 $\phi(x, y, z)$

(x_a, y_a) : 電流深針Aの x, y 座標 (cm)
 (x_b, y_b) : 電流深針Bの x, y 座標 (cm)
 (x_c, y_c) : 電流深針Cの x, y 座標 (cm)
 (x_d, y_d) : 電流深針Dの x, y 座標 (cm)

$$\xi = \frac{m\pi}{a} \quad (m \text{ は整数}), \quad \eta = \frac{n\pi}{t} \quad (n \text{ は整数}) \text{ 及び } \zeta = (\xi^2 + \eta^2)^{1/2}$$

Fig.6 ポアソンの式

このとき、体積抵抗率 ρ_V 、表面抵抗率 ρ_s は

$$\rho_V = R \times RCF \times t \quad \rho_s = R \times RCF$$

から求めることができる。

[1] http://www.keisokuki-world.jp/user_data/files/MCP.pdf

[2] <https://detail-infomation.com/volume-resistivity/>

[3] <https://detail-infomation.com/surface-resistivity/>