

# 円形半導体ウェーハの抵抗率非接触測定法 (第3報 実験的研究)

後藤 みき・村上 一郎・三橋 廣二

On the Contactless Measurement of Electric Conductivity of Semiconductor Circular Wafer  
(3rd Report, Experimental Study)

Miki GOTO, Ichiro MURAKAMI and Hiroji MITSUHASHI

## Abstract

A new method of contactless measurement of electric conductivity of semiconductor circular wafer was described: A single coil was used for exciting and measuring electromagnetic waves and the input impedance was measured by a vector impedance meter. It was established that the experimental results agreed well with the theoretical relationships that had been formulated in our former studies. It was also described how to satisfy the conditions in the theoretical analysis considering the coil sizes and spacing of the coil from the wafer for the sake of accuracy of measurement.

## 1. ま え が き

円形半導体ウェーハの抵抗率非接触測定法を電磁理論より導き、その測定法について報告してきたが<sup>(1),(2)</sup>、ここでは従来の方法より簡単に測定できるベクトル・インピーダンス・メーターを用いて、1個のコイルを用いた測定を行ったので報告する。

Fig. 1 に示すように円形半導体ウェーハに自己インダクタンス  $L$  [H] のコイルを近づけたときの入力インピーダンスの変化は、

$$Z_{\sigma} = \frac{\pi^3}{8} f^2 \mu_0^2 \sigma a^4 n^2 t \frac{b^4}{d^2(d^2 + b^2)^2} \quad [\Omega] \quad (1)$$

で表わせる。この(1)式と実験結果とを照合し、それらが良く一致することを以下に述べる。

## 2. 円形半導体ウェーハによるコイルの入力インピーダンス

Fig. 1 に示すように半径  $b$  [m]、厚み  $t$  [m]、導電

率  $\sigma$  [ $\text{Sm}^{-1}$ ] のウェーハに、半径  $a$  [m]、巻数  $n$ 、長さ  $l$  [m] のコイルを距離  $d$  [m] の位置に置いたと

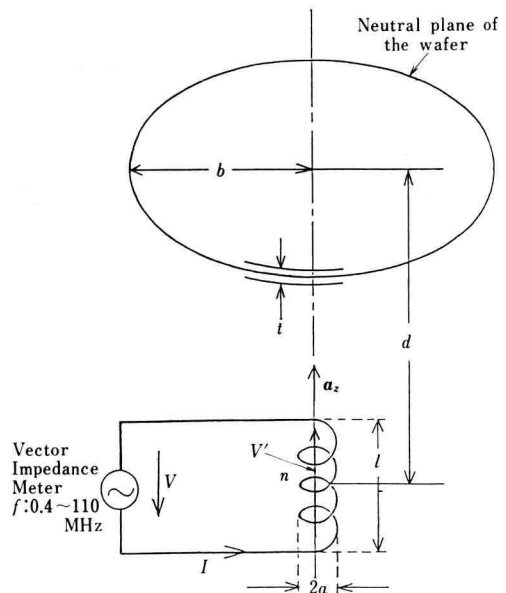


Fig. 1. Geometrical relation between the coil and the wafer.

き、ウェーハより誘導される起電力  $V'$  [V] は、先に報告したように

$$V' = -\frac{\pi^3}{8} f^2 \mu_0^2 \sigma a^4 n^2 I t \frac{b^4}{d^2(d^2+b^2)^2} \text{ [V]} \quad (2)$$

で表わされる<sup>1)</sup>。ここで  $f$  [Hz] は周波数,  $\mu_0$  [H/m] は真空透磁率,  $I$  [A] はコイルに流れる電流である。

そこで, その  $V'$  [V] を検出するコイルの等価回路を考えると,

$$j\omega LI = V + V' \text{ [V]}$$

と表わせる。それゆえ, コイルの入力インピーダンスは

$$Z = \frac{V}{I} = j\omega L + \frac{\pi^3}{8} f^2 \mu_0^2 \sigma a^4 n^2 t \frac{b^4}{d^2(d^2+b^2)^2} \text{ [\Omega]} \quad (3)$$

で与えられる。

### 3. ベクトル・インピーダンスメータによる測定値と理論値の比較

#### 3.1 抵抗率と測定周波数範囲

コイル自身のインピーダンス  $j\omega L$  [\Omega] と, ウェーハを置いたときのインピーダンス  $Z$  [\Omega] との変化量  $Z_\sigma$  [\Omega] を Fig. 2 に示す。実線が理論値であり,  $\triangle$  ( $\rho=0.01 \Omega \text{ cm}$ ),  $\times$  ( $\rho=0.03 \Omega \text{ cm}$ ),  $\circ$  ( $\rho=0.068 \Omega \text{ cm}$ ),  $\square$  ( $\rho=0.101 \Omega \text{ cm}$ ),  $\nabla$  ( $\rho=1 \Omega \text{ cm}$ ) は実測値である。抵抗率  $\rho$  の値によって周波数による測定範囲の異なることが分かる。

周波数の上限については, 表皮効果による電磁波の浸入深さ  $\delta (=1/\sqrt{\pi f \mu_0 \sigma})$  が関係してくる<sup>1)</sup>。当初  $t \ll \delta$  という条件で考えてきたが, Fig. 2 の結果より  $2t = \delta$  の周波数  $f (=1/\pi \mu_0 \sigma \delta^2)$  まで, 理論値 ( $f^2$  直線) にのっている。

周波数の下限について述べると, コイル自身のイン

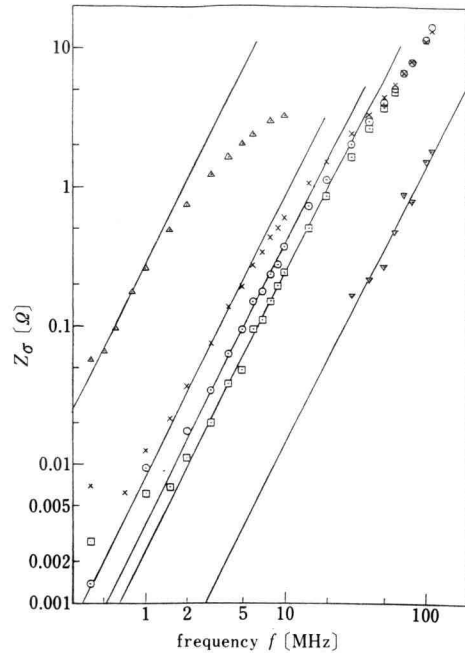


Fig. 2. Comparison between the calculated and the measured values of the change of input impedance  $Z_\sigma$  of the coil when semiconductor circular wafer of different resistivity  $\rho$  approached to the coil.

$\triangle$  wafer 1  $d=7.0 \text{ mm}$  coil 4  
 $\times$  " 2  $d=4.8 \text{ mm}$   
 $\circ$  " 3  $d=5.08 \text{ mm}$   
 $\square$  " 4  $d=5.01 \text{ mm}$   
 $\nabla$  " 5  $d=3.85 \text{ mm}$  coil 2

Cf. Table 1 and 2.

ピーダンス  $Z_L$  は実際には抵抗分  $r$  を持っているので  $Z_L = j\omega L + r$  となり,  $j\omega L$  を長岡氏の係数  $K$  を用いて表わすと (3) 式は

$$Z = Z_L + Z_\sigma$$

Table 1. Resistivity and sizes of wafers

Wafer No.	Resistivity $\rho$ [\Omega cm]	Thickness $t$ [mm]	Radius $b$ [mm]
1	0.0101	2.00	38.50
2	0.03	1.98	25.95
3	0.068	2.14	25.73
4	0.101	1.97	26.03
5	1.0	0.50	38.00

Table 2. Sizes of coils

Coil No.	Coil turn $n$ [turn]	Radius $a$ [mm]	Length $l$ [mm]
1	21	2.88	14.4
2	15	2.88	10.1
3	9	2.88	6.10
4	13	5.30	8.70

Thick of the leading wire of all coil are 0.6 mm.

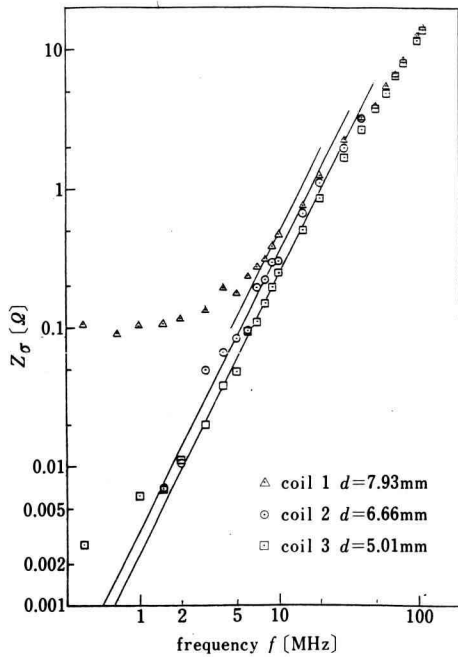


Fig. 3. Comparison between the calculated and measured values of  $Z_\sigma$  when different  $n$  and  $d$  on wafer 4 were used. Cf. Table 1 and 2.

$$\begin{aligned}
 &= j(2\pi f) \cdot \left( K\mu_0 \frac{\pi a^2}{l} n^2 \right) + r \\
 &\quad + \frac{\pi^3}{8} f^2 \mu_0^2 \sigma a^4 n^2 t \frac{b^4}{d^2(d^2 + b^2)^2} \\
 &= \pi^2 f \mu_0 a^2 n^2 \left\{ j2 \frac{K}{l} + \frac{\pi}{8} f \mu_0 \sigma a^2 t \frac{b^4}{d^2(d^2 + b^2)^2} \right\} \\
 &\quad + r [\Omega]
 \end{aligned} \tag{4}$$

となる。 $Z_L$  ( $f$  に比例) と  $Z_\sigma$  ( $f^2$  に比例) とは周波数が低くなることにより  $Z_L \gg Z_\sigma$  となれば、 $Z_\sigma$  は  $Z - Z_L$  で算出しているので当然測定値は不確実な値に

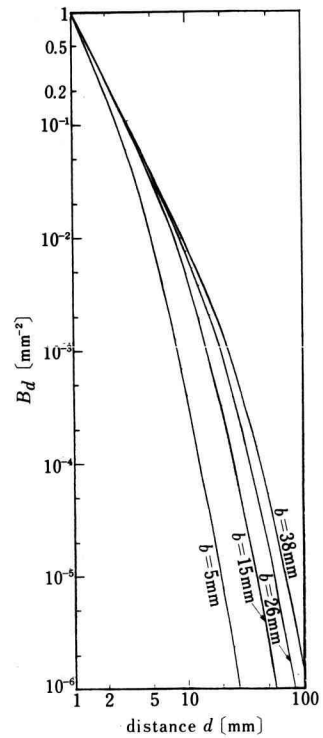


Fig. 4. Relation between distance and

$$B_d \left( = \frac{b^4}{d^2(d^2 + b^2)^2} \right).$$

なる。又、コイルの寸法のみ注目すると、(4)式の { } 内で [第一項] < [第二項] とするには、コイルの半径  $a$  を大きくして、 $K$  を小さくしなければならない。しかし理論解析の際、コイルを磁気双極子能率をもつ磁気双極子として考えてきたので、コイル半径  $a$  は、他の寸法に比べてそれ程大きくはできない (Fig. 2 においては  $b \geq 7.3a$ )。また  $Z_\sigma$  と同位相の  $r$  について考えれば、コイルの導線は短く ( $n$  は小さく (Fig. 3 参照)), 太いものを用いることになる。Fig. 2 で使用した

コイルの抵抗  $r=0.16\ \Omega$  より 1 桁低い範囲まで  $Z_\sigma$  は理論値にのっている。従って周波数の下限については  $r$  をいかに小さくするかによってある程度決まってくる。

### 3.2 インピーダンスの変化量 $Z_\sigma$ と距離 $d$ の関係

抵抗率  $\rho=0.101\ \Omega\ \text{cm}$  のウェーハについてコイルとウェーハの距離  $d$  とコイルの巻数  $n$  の異なるものについて行った実験結果を Fig. 3 に示した。距離  $d$  についてはベクトル・インピーダンス・メーターの出力が弱いので、余り大きくはできなかった。 $d$  の最小は Fig. 1 より  $l/2+t/2$  となり、コイルとウェーハの寸法に影響される。また (1) 式から分かるように  $d$  の 6 乗で  $Z_\sigma$  に関係するので、 $d$  の値の精確な測定及び一定の値に保持することは重要である。

Fig. 4 には  $Z_\sigma$  と  $d$  の関係を知るため、 $b^4/d^2(d^2+b^2)^2=B_d$  において  $B_d$  と  $d$  の関係を示した。Fig. 2 と Fig. 3 に示す測定においては、ウェーハ半径は一般的な  $b=38\ \text{mm}$  と  $b=26\ \text{mm}$  であり、距離  $d \leq 10\ \text{mm}$  の範囲で、近似式  $B_d \approx d^{-2}$  と  $d$  に対し  $B_d$  の変化の少ないところで実験を行なった。

## 4. むすび

従来我々が報告してきた理論が、実験結果と比較す

ることにより妥当であることを明らかにした。1 個のコイルとウェーハの寸法とそれらの距離が分かればウェーハの抵抗率測定が、従来の方法より簡単にベクトル・インピーダンス・メーターを用いて可能となる。

また理論解析に用いた条件の具体的検討を行った。更に、 $d$  の測定の重要性の指摘及び測定周波数範囲の検討からコイルの形状についても検討を加えた。

## 参 考 文 献

- 1) I. Murakami and M. Goto: "Theoretical Considerations on a Contactless Measuring Method of Electric Conductivity of Semiconductor Circular Wafer"; The Transactions of the IECE of Japan, Vol. E65, No. 8 August 1982.  
I. Murakami and M. Goto, "On the Contactless Measurement of Electric Conductivity of Semiconductor Circular Wafer I. Theoretical Consideration" Research Reports of Ikutoku Tech. Univ. B-6 (1981).
- 2) I. Murakami and M. Goto: "Theoretical Considerations on another Contactless Measuring Methods of Electrical Conductivity of Semiconductor Circular Wafer" Research Reports of Ikutoku Tech. Univ. B-7 (1982).