

無定形セレン薄膜の電子伝導現象に関する一考察*

北 川 啓

(昭和 45 年 4 月 28 日受理)

A Study for Electron Conduction through Thin Amorphous Selenium

by Hiraku KITAGAWA

Abstract

The determination of the I_s-V , $\log I_s-1/T$, $\log I_s-\sqrt{V}$, $\log I_s/T^2-1/T$ was performed on the thin film of amorphous selenium.

On the basis of the results obtained it suggests that electron conduction through thin insulator due to the theory of Shottky Current at the temperature range above 273°K. The value of potential barrier between selenium and aluminum film also was estimated at 0.71 eV.

薄膜能動素子の基礎研究として絶縁物薄膜を通しての電子伝導現象が研究^{1~11)}されており、その電子伝導には四つの異なる理論、(1) トンネル電流説。(2) ショットキー電流説。(3) ピンホール電流説。(4) 不純物伝導説などが提案されている^{1~4)}。

著者は先に Al-Se^{**}-Bi の組み合わせ¹⁰⁾の電子伝導現象がショットキー電流に基づくものであることを報告したが、今回は Al-Se-Ag の組み合わせの試料を用いて、273°K 付近より高い温度における電子伝導現象が主にショットキー電流に基づくことを明らかにし、また Al-Se 間の電位障壁は 0.71 eV であることを算出した。

試 料 の 作 成

試料作成材料——セレンは三菱金属工業の 99.999% 純度の無定形セレンを、アルミニウム (99%) と銀 (一級) は和光純薬 KK の化学用試薬を、顕微鏡用スライドガラスは松並ガラス工業のミクロスライドガラス JIS R 3703 1 級品 76mm×26 mm, 厚さ No. 2, 50 Pes. を使用した。

蒸着装置——日本真空技術 KK, EBH-6 型 (真空度 1×10^{-6} Torr)

試料薄膜の作成——クロム酸混液であらかじめ十分洗浄したスライドガラス基板に、Fig. 1 に示すとおり、まずアルミニウムを蒸着し、ついでセレンを、その上にさらに最上層として

* 電気四学会北海道支部大会講演、札幌、8/X/1969、絶縁物薄膜を通しての電子伝導現象第 2 報とする。

** 無定形セレンは固有抵抗 $10^{12} \Omega \text{ cm}$ 程で絶縁物である^{12~14)}。

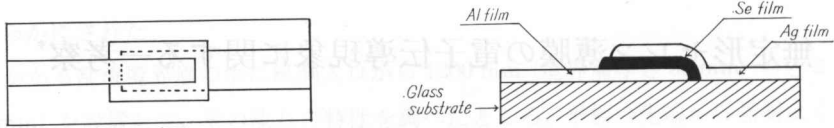


Fig. 1. The thin film of Al-Se-Ag, prepared.

銀を蒸着した。三つの金属の蒸着条件は、真空度 1×10^{-5} Torr, アルミニウム, セレン, 銀を蒸着したときの基板の温度はそれぞれ 41°C , 25°C , 32°C , セレンの膜厚は 4100 \AA , 5500 \AA , 7300 \AA , 9700 \AA である。なお試料の作成にあたりピンホールができないよう, 不純物伝導がおこらないよう注意したことはいうまでもない。

電子伝導実験とその結果

化学的に純粋な試料を用い, ピンホールのないようにうまく蒸着された絶縁層の電子伝導は, 常温下において厚さ数十 \AA 程度の場合にはトンネル電流が主であり, 膜厚数百 \AA をこえる薄膜の場合には主にショットキー電流によるものといわれている^{8,9)}。

試料作成の項で述べたように, 作製された試料の絶縁薄膜は $4100 \text{ \AA} \sim 9700 \text{ \AA}$ の膜厚である故, 当然ショットキー電流として説明されるはずであるが, 電子伝導の膜厚依存性, 温度依存性を調べることにより電子伝導現象をさらに詳しく理論づけられるものと考えて, 以下に示すような実験を行なった。

Fig. 1 の素子を Fig. 2 の測定回路に接続し, 両電極に電圧を加えた場合の電流—電圧 (I-V) 特性に対する膜

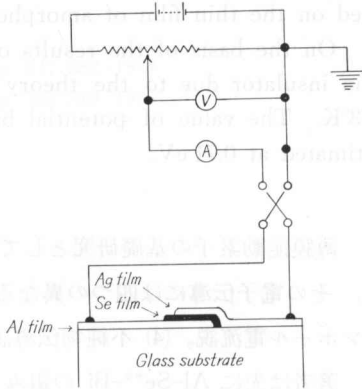


Fig. 2. The circuit diagram of experimental set-up.

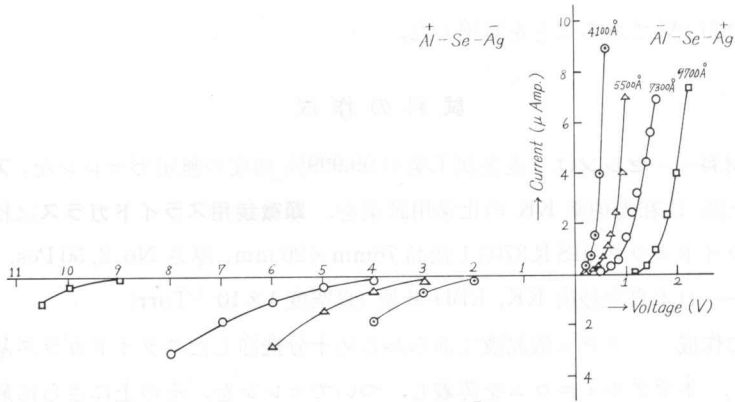


Fig. 3. I-V characteristics of the films for various thickness of the Selenium. (measured after standing the films at room temperature for 24 hrs.).

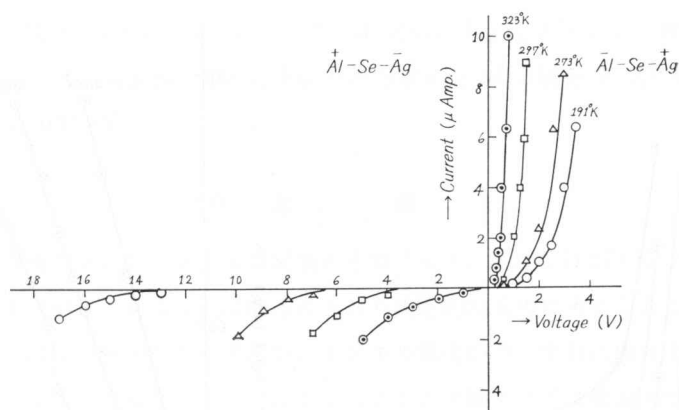


Fig. 4. I-V characteristics at various temperature.
(measured after standing the film for 24 hrs.,
film; 7300 Å in thickness).

厚依存性の関係は Fig. 3 に、温度依存性を Fig. 4 に示した。Fig. 3~4 から、試料、Al-Se-Ag の I-V 特性は膜厚および温度の影響を受けることがわかる。

薄い絶縁層を通して流れるショットキー電流およびトンネル電流はそれぞれ (1), (2) 式で与えられる⁹⁾。

$$I_s = 120 T^2 S \times \exp \left\{ \left(3.8 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{V}{\epsilon d}} - \phi \right) / 8.69 \times 10^{-5} T \right\} \quad (1)$$

$$I_t = S \frac{1.54 \times 10^{-6}}{\phi} F^2 \exp \left\{ -6.83 \times 10^7 \frac{\phi^{3/2}}{F} v(y) \right\} \quad (2)$$

ここで T は絶対温度, S は電極の面積 (cm^2), V は印加電圧 (Volt), ϵ は誘電率, d は絶縁層の厚さ (cm), ϕ は金属—絶縁層間の電位障壁の高さ (eV) であり, $F = V/d$, $v(y) = 3.79 \times 10^{-4} \cdot F^{1/2} / \phi$ の関数である。(2) 式は $T=0$ のときの式であるが, T の影響を考慮にいれても I_t に対する温度効果は非常に小さい。

(1) 式の両辺の対数をとって変形すれば (3), (4), (5) 式が得られる。

$$\ln I_s = \frac{3.8 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{V}{\epsilon d}} - \phi}{8.69 \times 10^{-5}} \cdot \frac{1}{T} + \ln 120 T^2 S \quad (3)$$

$$\ln \frac{I_s}{T^2} = \frac{3.8 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{V}{\epsilon d}} - \phi}{8.69 \times 10^{-5}} \cdot \frac{1}{T} + \ln 120 S \quad (4)$$

$$\phi = 3.8 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{V}{\epsilon d}} - 8.69 \times 10^{-5} T \cdot \frac{1}{\log e} \cdot \log \frac{I_s}{120 T^2 S} \quad (5)$$

(3) 式から 試料 Al-Se-Ag (膜厚 7300 Å) の銀に正電圧を印加した場合、測定値の $\log I_s - 1/T$ の関係を Fig. 5 に示した。その図からわかるように、273°K 付近以上では、温度の上昇にともない電流の変化が著しく、ショットキー電流が主であることが推論される。

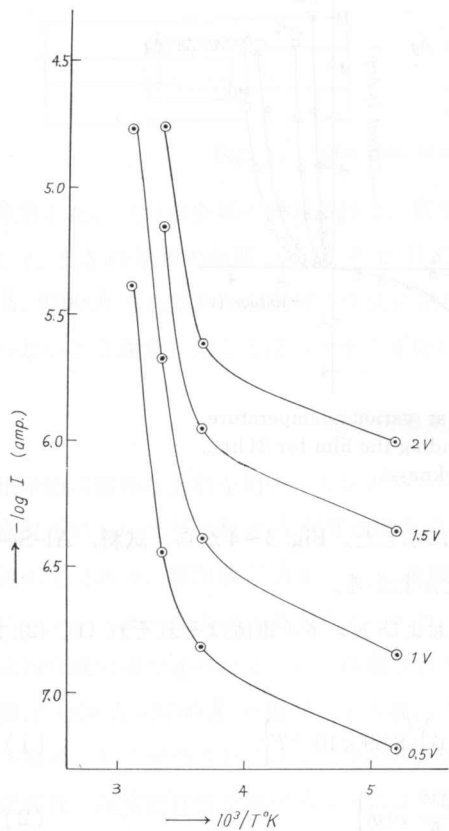


Fig. 5. Log I vs. 1/T plot at various voltage, film: 7300 Å in thickness.

Table 1. Specification of the samples

Thickness of insulator films (Å)	$\epsilon d \times 10^{-6}$ (cm)	Temperature (°K)
4100	3.041	297
5500	4.273	297
7300	4.976	297
9700	4.861	297

つぎに電位障壁の高さを求めるべく、膜厚 4100 Å, 5500 Å, 7300 Å, 9700 Å の試料について 温度一定の条件で、(3) 式にもとづく $\log I_s - \sqrt{V}$ の関係を測定値から求めたところ、Fig. 6 の結果 が得られた。この図の直線の傾斜より ϵd が求め られ、Table 1 に示すとおりになる。

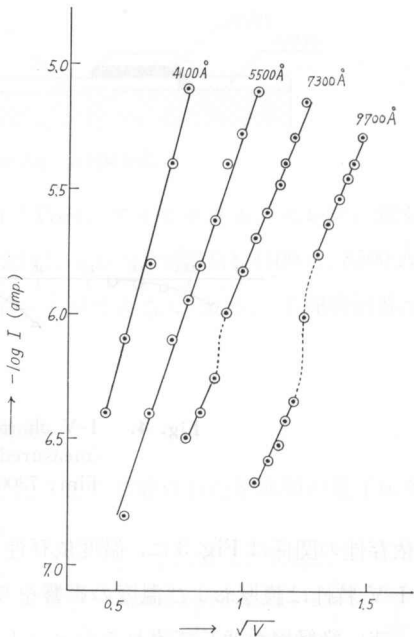


Fig. 6. Log I vs. \sqrt{V} plot for various thickness at 297°K.

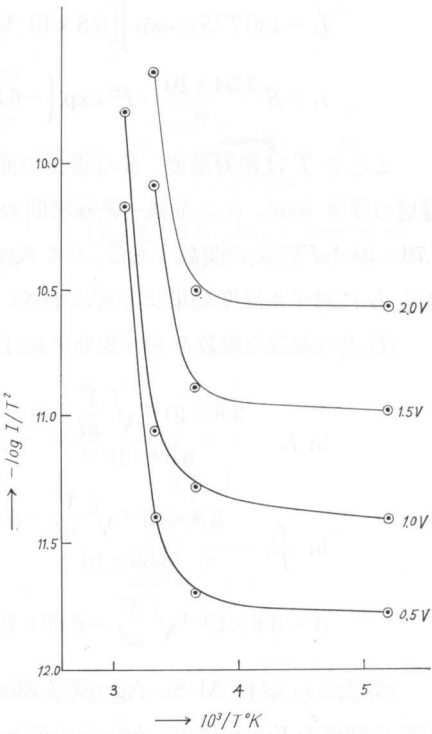


Fig. 7. Log I/T^2 vs. $1/T$ plot at various voltage, film: 7300 Å in thickness.

一例として、膜厚 7300 \AA のものについて、(4) 式から $\log I_s/T^2 - 1/T$ の関係を求めたのが Fig. 7 である。この図の高温側の傾斜と Fig. 6 から求めた ϵd の値を (5) 式に代入して ϕ を計算したところ、 $\phi = 0.71 \text{ eV}$ が得られた。

考 察

Al-Se-Ag 薄膜を例として電子伝導現象を考察すると、おおむね 273°K より高温の場合にはショットキー電流が主であることは前述のとおり決定的なものと考えられる。なお 273°K 付近より低温の場合にはショットキー電流か、トンネル電流かのいずれに依存するのか、あるいは両電流に基づくものか結論を下すことはここに示した実験だけでは推論困難である。

Al-Se-Ag 薄膜の ϵd は Table 1 の通り非常に小さく、これは Ta-Ta₂O₅-Al⁹⁾ の場合に類似している。薄膜絶縁物を通しての電子伝導現象を取り扱う場合バルクの誘電率 ϵ がそのまま使えるかどうか疑問であるが、これに関する理論的考察はまだされていないようであり⁹⁾、今後の課題として述べておいた。

文 献

- 1) J. C. Fisher and I. Giaever: J. Appl. Phys., **32-2**, 172 (1961).
- 2) P. R. Emtage and W. Tantroporn: Phys. Rev., Letter, **8-7**, 267 (1962).
- 3) R. F. Schwarz and J. P. Spratt: Proc. IRE, **50**, 467 (1962).
- 4) C. A. Mead: Phys. Rev., **128**, 2088 (1962).
- 5) C. A. Neugebauer and M. B. Webb: Journal of Applied Physics, **33-1**, 74 (1962).
- 6) А. Г. Ждан, М. Е. Чугуноба, М. И. Елинсон: РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА, **13-2**, 305 (1968).
- 7) В. Ф. Корзо, и П. С. Киреев: РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА, **12-12**, 2273 (1967).
- 8) 中井・宮崎: 応用物理学会誌, **32-8**, 558 (1968).
- 9) 難波・中嶋・石田: 応用物理学会誌, **32-8**, 562 (1963).
- 10) 北川 啓: 北見工大研報, **2-3**, 457 (1969).
- 11) 中尾・金原: 応用物理学会誌, **32-11**, 869 (1963).
- 12) 川口: 新金属ハンドブック, **11-8** (1967), 化学工業社 (東京).
- 13) 薄膜工学ハンドブック, **II-187** (1964), オーム社 (東京).
- 14) 電気材料便覧, p. 86 (1951), オーム社 (東京).