

ニッケル薄膜の雑音特性

MASUI, Shigehiro / 増井, 重弘

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

11

(開始ページ / Start Page)

73

(終了ページ / End Page)

79

(発行年 / Year)

1975-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004210>

ニッケル薄膜の雑音特性

増井重弘*

Characteristics of Current Noise of Nickel Thin Film

Shigehiro MASUI

Abstract

After a vacuum tube has been used for a long time, nickel atoms from the sleeve attach, as a thin film, on the surface of solid parts between electrodes of the vacuum tube and induce the leakage current noise essentially the noise of a thin film, and perhaps one of the main components of noise of vacuum tube.

The experimental results suggest that an interesting correlation exists between the current noise and the conduction mechanism of thin film. This current noise of thin film is inversely proportional to frequency of the noise spectrum.

This characteristic is the same as the well known characteristic flicker noise. As is known, the relation between the current noise \bar{i}^2 and leakage current I is given by the following equation, $\bar{i}^2 = AI^n$. Our experiments show that the quantity n is equal to 1 for very thin film and goes up to 2 as the thickness of the film increases. But this is different from the behaviour of the flicker noise where n is commonly known to be 2.

§1. 緒 論

金属原子の吸着により電極間に漏洩を生じると著しい雑音を伴い、真空管雑音の一因となることが明らかとなった。

この事実は、酸化物陰極雑音に対する電子衝撃効果の実験中において、電子衝撃（衝撃電圧 300V，衝撃電流 2mA[17mA/cm²]，衝撃65時間）を与えた後雑音測定を行なったところ、雑音量が極めて大きく、かつプレート、カソード間に漏洩が生じていて、この異常雑音が漏洩電流に基づいていることにより判明した。

この漏洩電流による雑音は真空管の実用上にも問題であるとともに、超薄膜の電導にも関係するものと考えられたので、とくに薄膜の雑音測定用の真空管を設計し、高真空中においてガラス基板にニッケルを極めて遅く蒸着し、その過程における雑音変化の測定を行った。

雑音測定は抵抗変化に伴う雑音変化、雑音周波数スペクトル、雑音の電流依存性など種々の角

* 電気工学科計測制御

度より測定を行なった。

その結果、薄膜雑音は測定全領域において $1/f$ 特性を示し、フリッカ雑音に共通な性質を示した。しかし、その電流依存性はフリッカ雑音について一般に認められるような I^2 に比例する特性を必ずしも示さず、蒸着の進行につれて雑音の電流依存性は変化した。

すなわち、ある一定周波数における雑音電流自乗平均値は $i^2 = aI^n$ (I は漏洩電流, a は定数)の形となり、 n は1~2にわたり変化した。このような変化は非常に興味ある問題であり薄膜の電導機構と関連あるものと考えられる。

§2. 実験方法

雑音の測定は波形分析器を用いる方法によった。

以下実験用資料、実験装置について説明する。

2.1 実験用資料

資料である薄膜は薄膜雑音測定用に適するよう工夫し試作した実験用真空管を用いて形成した。Fig. 1 に実験用真空管の構造と寸法を示す。薄膜はこの真空管内の硝子基板の端子電極間に形成する。

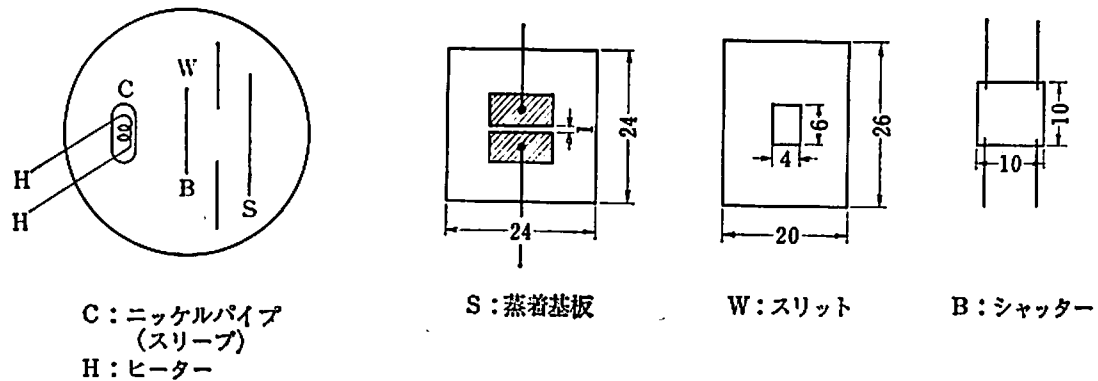


Fig. 1 実験用真空管の構造

硝子基板の端子電極として金を蒸着し、対向面が滑かな平行直線状となるように注意した。

ヒーターの加熱で Ni スリーブより Ni 原子が蒸発し、スリットの窓を通してガラス基板に吸着し薄膜が形成される。このようにしてできた薄膜の両電極間に電圧を加えると漏洩電流が流れる。なおこの真空管の Ni 蒸着中および雑音測定中の真空度は 10^{-4} mmHg 程度である。

2.2 測定装置

測定装置のブロックダイアグラムを Fig. 2 に示す。

前置増幅器は低雑音増幅器となるよう製作したものをを用いた。

波形分析器は周波数帯域幅 6 Hz で $10 \sim 1,000$ Hz まで分析できる。

波形分析器出力が熱電対 (5 mA, 10mV) を動作させるに不十分であるため熱電対の前に増幅器を入れた。この増幅器出力を熱電対を用いて自乗検波し、雑音電力を直読できるようにし

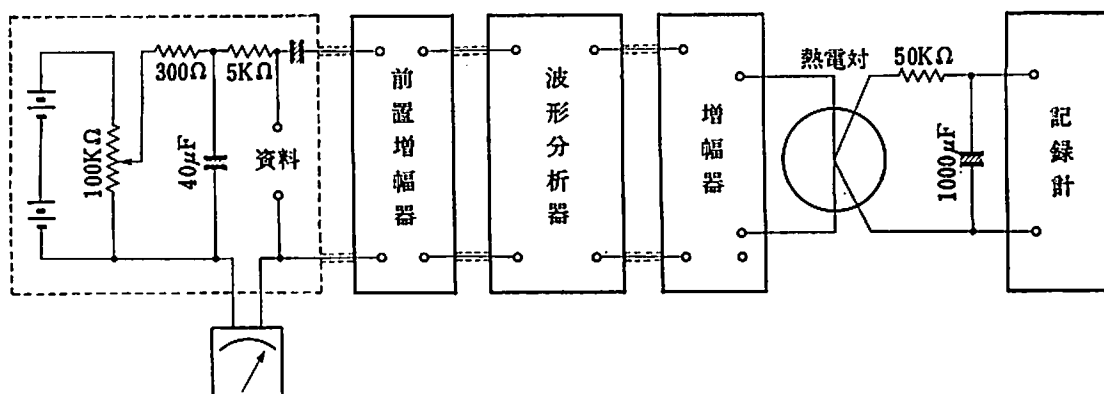


Fig. 2 測定装置

た。そしてこの熱電対出力を $50\text{ k}\Omega \times 1000\text{ }\mu\text{F}$ の時定数で平均化して記録した。

2.3 装置の較正

前置増幅器と熱電対前の増幅器は周波数特性を持っているので予め較正しておく必要がある。そこで、低周波信号発生器の出力を可変抵抗減衰器を通して前置増幅器入力と記録計指示との関係を求めて周波数較正を行ない。

次に、自乗平均雑音電流 \bar{i}^2 と記録計指示との関係を雑音二極管 (LD-326, NEC) を用いて求めた。すなわち、雑音二極管の自乗平均電流 \bar{i}^2 と陽極電流 I_a とは次の関係にある。

$$\bar{i}^2 = 2eI_a\Delta f$$

Δf はこの場合、波形分析器の周波数帯域幅で 6 Hz である。この関係により陽極電流 I_a から \bar{i}^2 を知ることができる。

以上の較正を用いると記録計の平均指示値を読み取ることにより薄膜資料の雑音自乗平均電流を求めることができる。

2.4 測定上の注意

測定に関して重要な問題点は外部からの振動による microphonic noise の混入することを極力避ける事であり、今一つは、外部からの電氣的な雑音、とくに電源からの誘導による 50 Hz の成分に充分注意する必要がある。

microphonic noise を除去する方法として、音による影響を防止するため鉄製密閉槽 (恒温恒湿槽を用いた) に実験用真空管を入れた。振動防止のために槽の足に発泡スチロール、モールドブレン、ゴムによる三重構造のクッションをほどこし、槽内にモールドブレンと綿を載せその上に実験用真空管を設置した。また、測定台 (波形分析器、増幅器、電池等が載せてある) の足もクッションをほどこした。

電氣的な雑音に対しては実験用真空管は鉄板で遮蔽した。しかし、なお 50 Hz の電源の誘導は避け得ないので 50 Hz 成分の雑音測定を避けた。

§3. 測定結果

膜厚と蒸着時間の関係を Fig. 3 に示す。薄膜の厚さは繰返し干渉顕微鏡にて測定した。個々の測定真空管によって膜厚と蒸着時間との関係にかなり差を生ずるが、この誤差は蒸発源温度のわずかな差と真空度の差によるものと考えられる。なお蒸着源の温度測定は光高温計により行なったために $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の誤差を生ずるものと思われる。

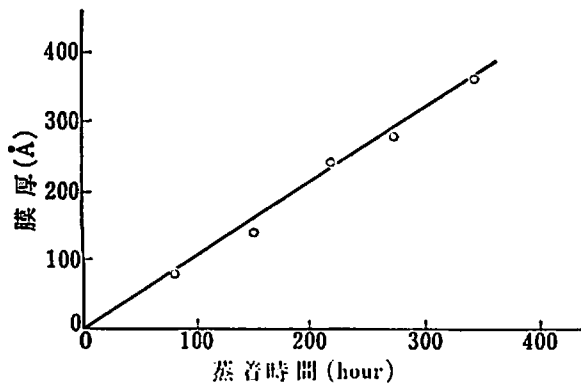


Fig. 3 膜厚と蒸着時間の関係

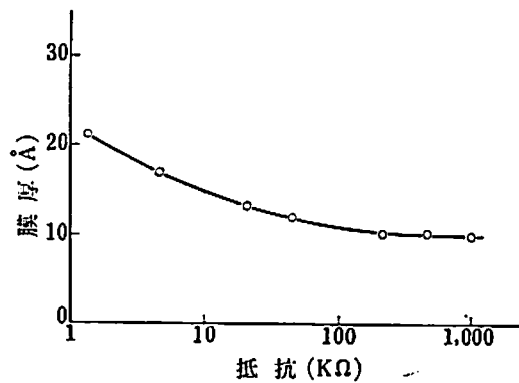


Fig. 4 抵抗と膜厚の関係

蒸着時間と薄膜抵抗を測定し、Fig. 3の結果を用いて膜厚と抵抗の関係を求めると Fig. 4 になる。抵抗値が厚さ反比例してないことに注意されたい。この薄膜抵抗の電流電圧関係を Fig. 5 に示す。ここでも電流電圧関係が直線的でないことに注意されたい。

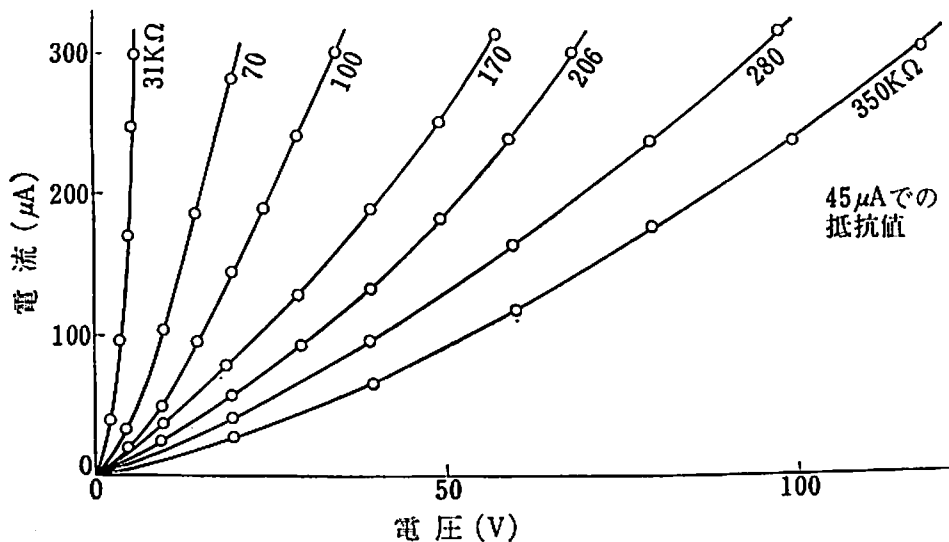


Fig. 5 薄膜の電流電圧特性

これ等の事については後の考察で述べる。

Fig. 6 は膜厚と雑音自乗平均電流の関係であり、薄膜電流を一定にしたとき ($100\ \mu\text{A}$) の同一周波数 ($100\ \text{Hz}$) における特性である。膜厚が薄いときは雑音量はあまり変化しないが、一定の厚さまで達すると、その後は厚さの増加とともに急激に雑音量は減少する。

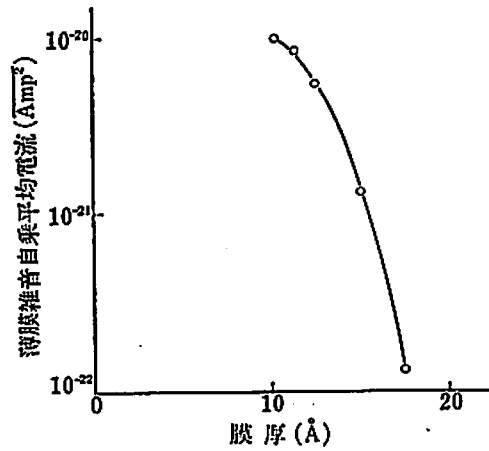


Fig. 6 膜厚と雑音量との関係

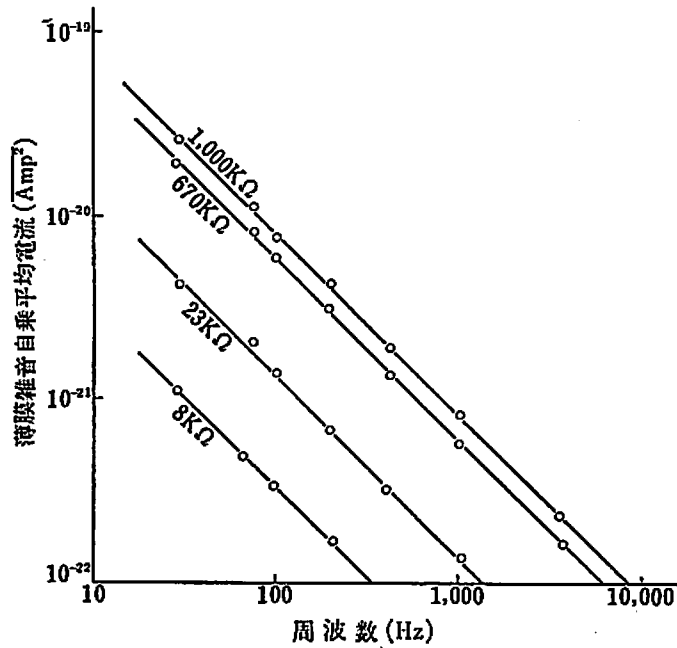


Fig. 7 薄膜雑音の周波数特性 (薄膜電流100μA)

Fig. 7 に各薄膜抵抗値における雑音スペクトルを示した。測定全領域で f^{-1} 特性を示している。

Fig. 8 は同一周波数 (100 Hz) のときの各薄膜抵抗値における雑音量の電流依存性を示した。この電流依存性はフリッカ雑音として一般に知られている I^2 に比例せず $\bar{i}^2 = aI^n$ という関係で現われ、薄膜抵抗の高い部分、すなわち蒸着量の少ないときは $n=1$ であり、その後は膜厚が厚くなるにしたがい n が増加し、やがて $n=2$ となって一定となる。

§ 4. 測定結果に対する考察

一般に蒸着膜の生成過程においては核生成、島構造、網目構造、連続膜という各段階があることはよく知られている。最初の3段階では薄膜が不連続状態であるから抵抗率も著しく増大する。また連続膜でも膜厚が薄くて金属内自由電子の平均自由行程と比較しうる程度になると自由

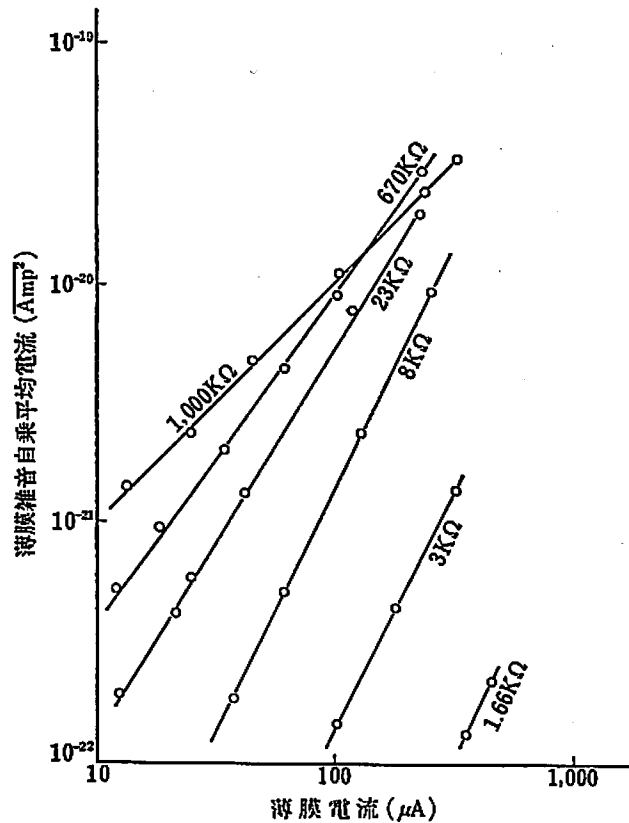


Fig. 8 薄膜雑音の電流依存性 (測定周波数 100Hz, 帯域幅 6 Hz)

電子が表面に衝突して散乱を受ける効果が目だってくるため抵抗が増大するとされている。

Fig. 4の抵抗値が膜厚に反比例せず、かつ抵抗率が非常に大きい理由は薄膜の不連続状態に基づくものと考えられる。Fig. 5の電圧電流特性の非オーム性についても蒸着膜が不連続状態のときは電流と電圧がわずかに比例しないとされていることと一致する。

これらのことから実験に用いられた薄膜が凝集効果による島構造であると考えられる。

この不連続状態の電気伝導および電圧電流間の非オーム性の理由は明確でなく、結晶粒子間の熱電子放出説、結晶粒子間の冷電子放出説(トンネル効果説)、結晶粒子間の静電ポテンシャル障壁説等がある。

次に、薄膜雑音の特性について述べる。

炭素薄膜抵抗または金属薄膜抵抗は緩かな接触をしている多数の微小な導電性粒子の集合からできている。従って、これらの抵抗に直流電圧を加え電流 I を流したとき発生する過剰雑音は接触雑音と考えられている。そして、この直流電流 I と雑音自乗平均電流 \bar{i}^2 との関係は

$$\bar{i}^2 = k \frac{I^n}{f^b} \quad (1)$$

であらわされる。 n は普通2に近く、 b は1に近い値である。

(1)式は一般に低い周波数で真空管が発生するフリッカ雑音として知られているものである。本実験も式(1)を満足し Fig. 7によると $b=1$ となる。しかし、Fig. 8においては $n=2$ とな

る場合は薄膜の膜厚が厚いとき、すなわち抵抗が減少したときであり、膜厚が薄いとき、すなわち高抵抗のときは $n=1\sim 2$ まで抵抗の減少とともに変化している。このことは電気伝導機構、雑音発生機構が一般の薄膜抵抗の場合と異なる事を示していると考えられ、 $n=1\sim 2$ の変化は薄膜の状態が核生成から島構造さらに網目構造へ推移していく過程において生ずるものと思われる。残念なことにこの島構造や電気伝導に関する理論は現在のところ一般にあまり明確にされておらず本実験においてもこの現象を理論づける段階まで致っていない。推察できることは $n=1\sim 2$ の部分は薄膜が核生成および島構造段階であり電気伝導機構が粒子間の電子放射であることを示し、これがゆるやかな微粒子の接触へ推移していき $n=2$ になったとき完全に粒子状接触となり、以後膜厚が厚くなるに従い金属性電導へ変化していくものと考えられる。

§5. 結 び

薄膜雑音の周波数スペクトル、抵抗値と雑音の関係、雑音の電流依存性についての実験結果を記述した。膜厚のデータが繰返し干渉顕微鏡で測定したが、良い結果が得られず厚さと雑音の関係は充分論ずる事ができなかった。また本実験の薄膜雑音が真空管の漏洩電流により見出されたものであることにより蒸着速度を非常に遅くしたが、もう少し蒸着速度を早めて実験を行ない膜厚と雑音の関係を論ずる必要があろう。

薄膜雑音の電流依存性については、従来の電流自乗の依存性と異なる領域が有ることが示されたが、これは超薄膜の状態の解明に何らかの手懸を与えるものと思う。

文 献

- 1) 日本学術振興会「薄膜工学ハンドブック」
- 2) A. van der Ziel「雑音」近代科学社