

金属薄膜抵抗に対する γ 線照射の影響

伊 藤 正 俊*

Influence of γ -Irradiation on Thin Metal Film Resistors

Masatosi ITO*

The vacuum evaporated films of the alloy nickrom with a bulk composition; Ni80%-Cr20%, and those of the nickel were exposed to γ -rays emitted from Co^{60} at an ambient temperature. These films were deposited on to glass substrate at temperature 350°C, and in a vacuum of 1×10^{-5} Torr. The dependence on temperature of resistance of these films was measured as a function of temperature, pre- and post-irradiation. The range of temperature measurement was from -20°C to $+80^\circ\text{C}$ on the nickrom films, and from -10°C to $+80^\circ\text{C}$ on the nickel films. The dependence on temperature of resistance after irradiation agreed closely to that of post-irradiation. The film's resistance increased with the temperature, including pre- and post-irradiation. The increase in resistance after irradiation was below 0.1%, except for a small number of sampls. Difference in the resistance changes between 10^6 r and 10^7 r was very small.

It is concloded from the experiment described above that metal film's resistance has little change, that is to say, is of no material effect in practical use, when the radiated dose is below 10^7 r .

1. 緒 言

金属に放射線を照射すると、電気抵抗や硬度は増し、延展性は減少して脆くなること、また Ge などでは、電気伝導度が複雑な変化をすることなどが知られている。金属に対して損傷を与える放射線は、電子、中性子、陽子、重陽子、 α 粒子などの粒子線である。 γ 線は、本質が電磁波であるので、直接物質原子を電離する作用は、粒子線に比べて小さいが、物質原子との相互作用で、その量子エネルギーを失う際、光電効果、コンプトン効果、電子対生成などの現象が生じ、これらが原因となって、放射線損傷が発生することが考えられる³⁾。

ところで、原子力関係の実用化の発展に伴って、それらに使用される電子機器部品や、宇宙開発に伴って、人工衛星などに積み込まれる電子装置部品などに対しては、放射線照射の影響が問題となる。例えば、中性子線を照射したコンデンサでは、容量が増減し耐圧が劣化するなどが知られている。実用抵抗器に対する γ 線の影響

については、金属巻線抵抗器では非常に少ないと報告されているが、具体的な数値は記されていない¹⁾。また中井氏等は、炭素被膜抵抗器、特にレジシン系コンポジション抵抗器ではその影響が大きく、数%以上であると報告しているが²⁾、これらの報告以後、実用抵抗器に対する放射線の影響、例えばどの程度までの照射線量なら、実用

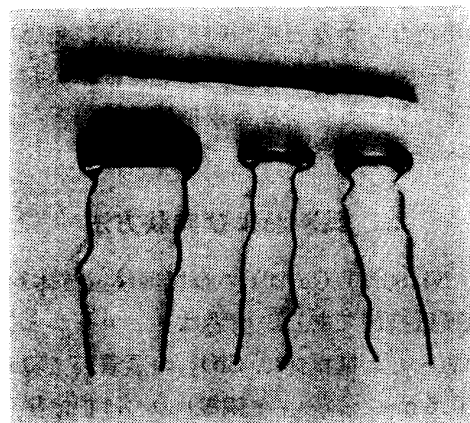


写真 1 Ni-Cr 金属薄膜抵抗
(左から 100 Ω , 1 k Ω , 9.1 k Ω)

* 助教授 電気工学科 1976 年 9 月 30 日受理

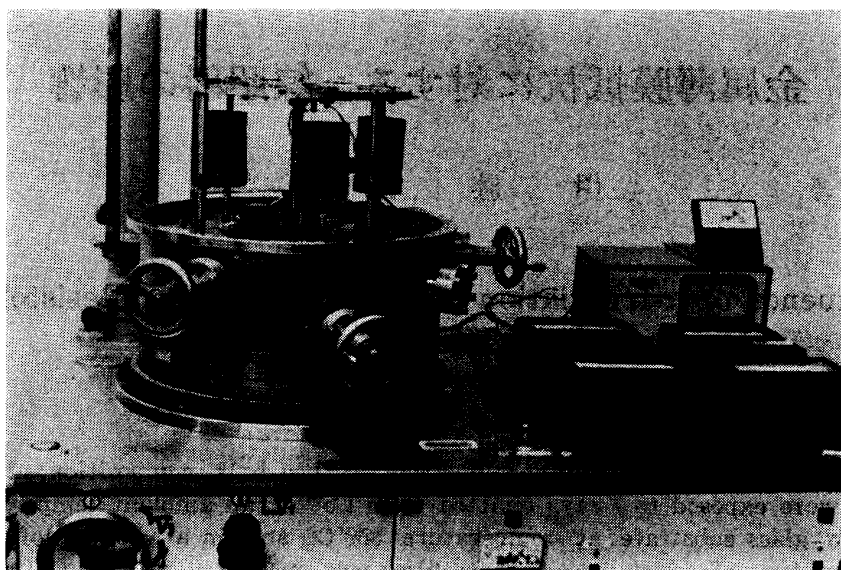


写真 2 ターレット式薄膜抵抗製作装置

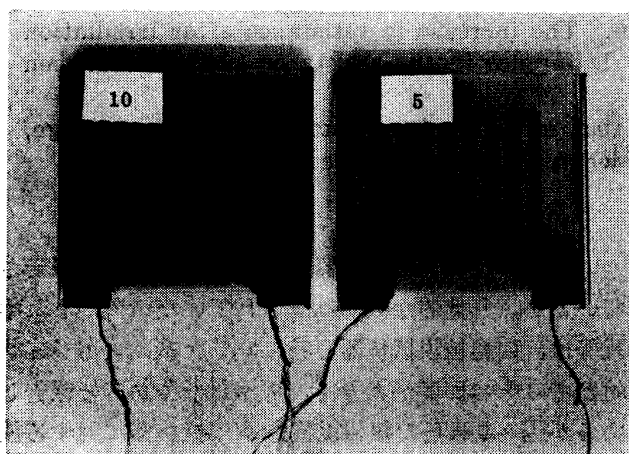


写真 3 Ni 薄膜抵抗 (5~18 kΩ)

上さしつかえないかなどについての報告は見当らない。そこで、メーカーから提供された金属薄膜抵抗および、筆者の研究室で製作した金属薄膜抵抗について、放射線の影響を調べたので報告する。

2. 試料および実験方法

試料は Ni(80%)-Cr(20) の金属薄膜抵抗体および Ni の金属薄膜抵抗体である。前者はメーカーから提供されたものであって、抵抗体は SiO_2 の蒸着膜で覆われ、リード線 (0.5 mmφ, 錫メッキ銅線) のつけ根は黒色の塗料で保護されている。(写真 1) これらの試料は、室温における抵抗値が 100 Ω 前後 (95.6~103.5 Ω) のものが

19 個, 1 kΩ 前後 (960.04~1035.4 Ω) のものが 20 個, 9.1 kΩ 前後 (8.730~9.373 kΩ) のものが 20 個, の 3 種類で合計 59 個である。100 Ω のものは, 長さ, 幅, 厚さがそれぞれ 17 mm, 4.4 mm, 4.4 mm, また 1 kΩ および 9.1 kΩ のものは 10 mm, 1.7 mm, 1.7 mm の大きさの硬質ガラスを基板として, その上に Ni(80%)-Cr(20%) の合金を, 真空度 1×10^{-6} Torr, 基板温度約 350°C の条件で真空蒸着したものである。これら 59 個の試料について, -20~+80°C の温度範囲で, 10°C ごとに抵抗値を測定した。また 20°C における抵抗温度係数を求めた。その後 3 種類の抵抗体のそれぞれを, 10 個ずつ (100 Ω は 10 個と 9 個) の 2 組に分けて, Co^{60} からの γ 線を, 前者の 10 個 (試料 No. 1~No. 10) については 10^6 r (照射線量率 $1 \times 10^6 \text{ r/h}$) を, また残りの 10 個 (試料 No. 11~No. 20) については, 10^7 r (照射線量率 $6.25 \times 10^6 \text{ r/h}$) を, それぞれ照射した。その後再び同じ温度範囲で抵抗値を測定し, 抵抗温度係数を求めた。また, それぞれの照射量において, 照射後における抵抗値の, 照射前のそれに対する変化率を, 各温度について求めた。20°C における温度係数の変化率も求めた。

Ni の金属薄膜抵抗体は, 筆者の研究室で, 写真 2 に示したターレット式薄膜抵抗製作装置で作ったものである。基板は, 大きさ $40 \text{ mm}^2 \times 3.0 \text{ mm}$ のソーダーガラスを使用した。その上に写真 3 に示すような形に Ni を蒸着して抵抗体とした。この形に蒸着するために, 大き

金属薄膜抵抗に対する γ 線照射の影響 (伊藤正俊)

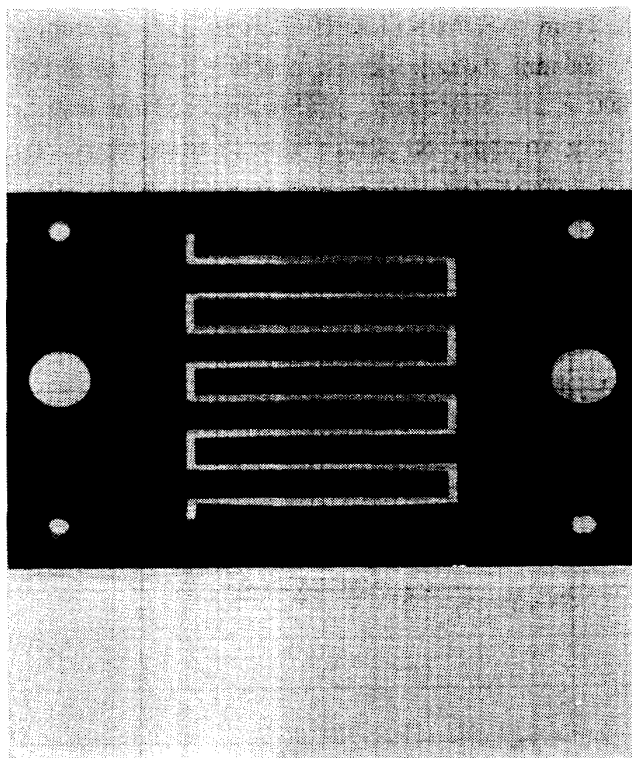


写真 4 Ni 薄膜抵抗製作用蒸着マスク
(SUS-527CP)

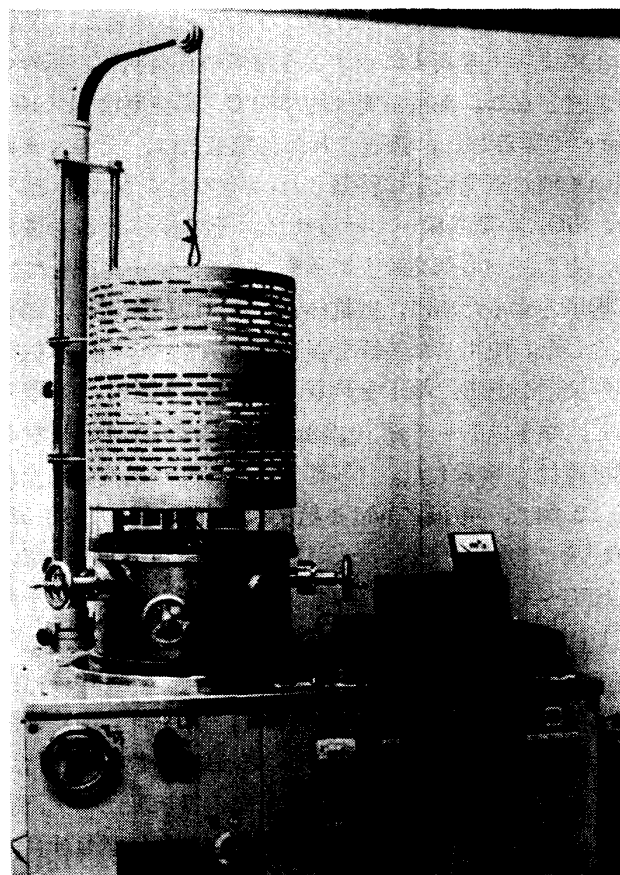


写真 5 真空蒸着装置

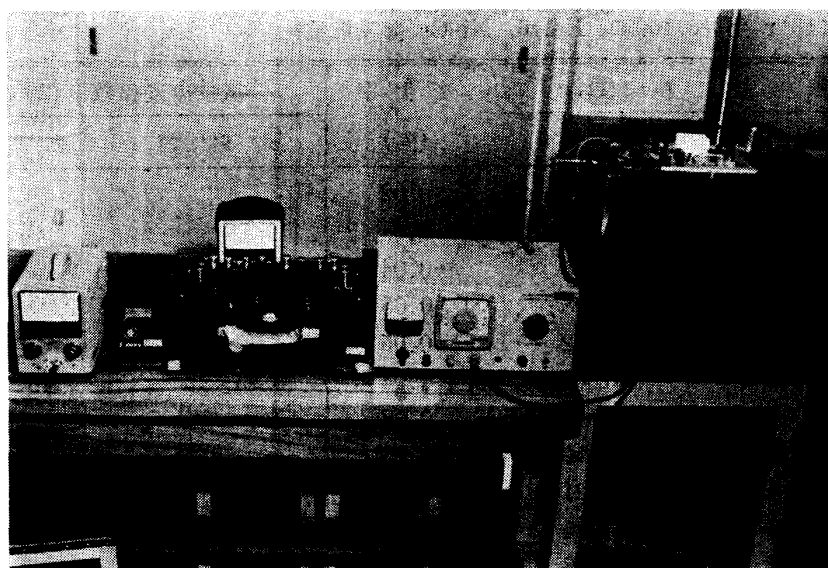
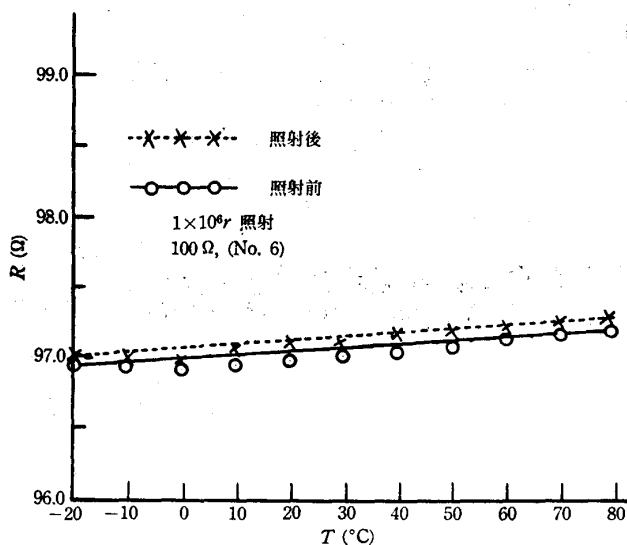


写真 6 測定装置 (左から検流計, ブリッジ, 恒温槽電源, 恒温槽)

さ 40 mm×60 mm×0.2 mm のステンレス板に、放電加工によって写真 4 に示すような形の孔を明て、蒸着のマスキングとした。基板温度は約 350°C、真空度は 1×10^{-5} Torr で蒸着した。蒸着された薄膜抵抗は、そのまま真空中で別の蒸発源上に移動され、その上に保護膜として、 SiO_2 の蒸着膜がつけられた。その後、それをさらに、もう一つの蒸発源上に移動させて、リード線をつける端子とするために、抵抗体となる薄膜の両端に、銅を蒸着した。使用した装置を写真 5 に示す。この中に抵抗製作装置がある。端子を蒸着してから、真空中から取りだし、端子にリード線 (0.2 mmφ の銅線 5 本より) を導電接着材で接着した。(写真 3) 作られた抵抗体は全部で 12 個で、室温における抵抗値は 5.394 kΩ~18.524 kΩ までの範囲であった。これらの試料について、 $-10^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$ の温度範囲で、 10°C ごとに抵抗値を測定し、さらに 20°C における抵抗温度係数を求めた。その後これらの抵抗体に、 Co^{60} からの γ 線を、 10^7 r (照射線量率 $6.25 \times 10^5 \text{ r/h}$) 照射して、再び同じ温度範囲で抵抗値を測定し、 20°C における温度係数を求めた。それから、照射前の抵抗値に対する抵抗変化率を、各温度について求め、また抵抗温度係数の変化率も計算した。

抵抗値の測定には、すべてホイットストンブリッジを用い、恒温槽は、電子冷却素子を利用したサーモボックス

を使った。使用した測定装置を写真 6 に示す。 γ 線照射は、日本原子力研究所の高崎研究所における、 Co^{60} - γ 線照射施設を利用した。 Co^{60} の線源は、直径 10 mm、厚さ 2 mm の貨幣状のもので、これを、直径 12 mm、長さ 300 mm の棒状に組立てて線源とした。線量は約 1800 キュリーである。照射時間は、Ni-Cr 薄膜については 10 時間、Ni 薄膜については 16 時間であった。なお装置の都合で、 10^7 r までしか照射できなかった。



第 1 図 γ 線照射前と照射後における温度に対する抵抗値の変化 (Ni-Cr 薄膜抵抗)

第 1 表 各温度における γ 線照射による抵抗変化率、およびそれらの平均値と温度係数の変化率 ($1 \times 10^6 \text{ r}$ 照射, 100 Ω, No. 6, Ni-Cr 薄膜抵抗)

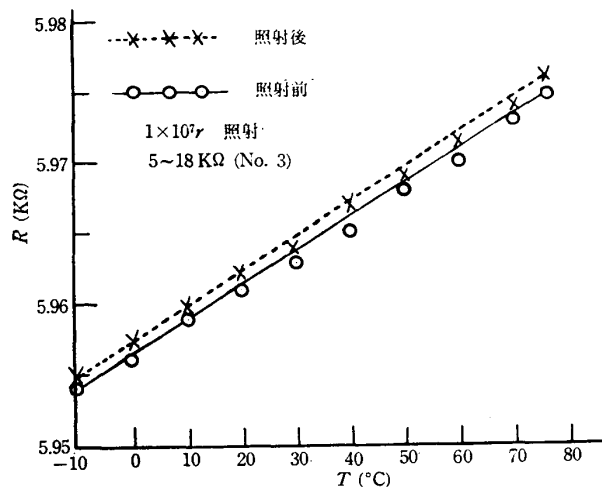
温 度 (°C)	抵 抗 値 (Ω)		変 化 率 (%)	抵抗温度係数 (20°C)		変 化 率 (%)
	照 射 前	照 射 後		照 射 前	照 射 後	
-20	96.97	96.96	0.02	3.95×10^{-5}	4.46×10^{-5}	13
-10	96.97	96.97	0.0			
0	96.92	96.96	0.04			
+10	96.93	96.98	0.05			
+20	96.97	97.02	0.05			
+30	97.02	97.06	0.04			
+40	97.05	97.13	0.08			
+50	97.08	97.16	0.08			
+60	97.13	97.21	0.08			
+70	97.16	97.25	0.09			
+80	97.26	97.28	0.08			
平 均 値			0.06			

金属薄膜抵抗に対する γ 線照射の影響 (伊藤正俊)第2表 Ni-Cr 薄膜抵抗の各温度についての γ 線照射による抵抗変化率の平均値と温度係数 (20°C) の変化率

照射量	試料 No.	100 Ω		1 k Ω		9.1 k Ω	
		抵抗値 変化率	温度係数 変化率	抵抗値 変化率	温度係数 変化率	抵抗値 変化率	温度係数 変化率
10^6 (r)		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	1	0.27	+14.0	0.02	+ 0.36	0.03	+16.0
	2	0.11	-15.3	0.02	+17.4	0.04	- 7.6
	3	0.04	+14.0	0.02	- 4.4	0.03	0.0
	4	0.13	+18.0	0.01	- 0.4	0.03	+ 2.3
	5	0.32	+ 3.2	0.06	- 2.6	0.03	+ 2.8
	6	0.06	+13.0	0.03	+ 8.7	0.02	0.0
	7	0.07	- 3.0	0.03	- 0.5	0.03	+19.0
	8	0.09	- 5.0	0.07	+ 2.3	0.02	+ 0.5
	9	0.08	- 1.8	0.02	- 0.2	0.01	+ 6.8
	10	0.10	- 4.6	0.03	+16.6	0.01	+ 6.5
	平均値	0.127	+0.32	0.031	+ 3.72	0.025	+ 4.63
10^7 (r)	11	0.12	+ 5.8	0.02	+ 0.12	0.06	- 5.5
	12	0.28	+ 9.1	0.05	- 8.1	0.07	- 1.9
	13	0.09	+ 7.5	0.02	-12.0	0.02	+ 5.9
	14	0.08	+11.3	0.02	- 2.8	0.01	0.0
	15	0.15	+ 1.9	0.04	- 3.4	0.12	+17.7
	16	0.08	+13.2	0.02	-16.0	0.08	+ 0.3
	17	0.19	+ 8.5	0.01	+ 6.2	0.01	0.0
	18	0.09	+16.0	0.03	- 8.8	0.01	0.0
	19	0.07	+ 7.2	0.02	+ 2.1	0.29	-14.5
	20	—	—	0.15	- 5.1	0.09	+ 8.3
	平均値	0.115	+ 8.94	0.037	- 4.17	0.076	+1.14

3. 実験結果

まずメーカーから提供された Ni-Cr 薄膜の試料について述べる。全試料について、温度変化に対する抵抗値の変化を、 γ 線照射前と照射後とにおいて測定した。第1図はその一例を示している。温度とともに抵抗値が増加しているのがわかる。第1表には、各温度においての、 γ 線照射による抵抗変化率、およびそれらの平均値と、照射後における温度係数の、照射前のそれに対する変化率とを求めた代表例を示してある。抵抗変化率の平均は 0.06% で、照射後における抵抗増加は非常に少ない。20°C における抵抗温度係数は、この試料では 13% 増加している。第2表は、抵抗変化率の、全測定温度範囲にわたる平均値が、Ni-Cr 薄膜抵抗一つ一つについてまとめている。さらにこの表には、抵抗体の種類ごと

第2図 γ 線照射前と後における温度に対する抵抗値の変化 (Ni 薄膜抵抗)

第 3 表 各温度における γ 線照射による抵抗変化率およびそれらの平均値と温度係数の変化率
(1×10^7 r 照射, 5~18 k Ω , No. 3, Ni 薄膜抵抗)

温 度 (°C)	抵 抗 值 (kΩ)		变 化 率 (%)	抵抗温度係数 (20°C)		变 化 率 (%)
	照 射 前	照 射 後		照 射 前	照 射 後	
-10	5.954	5.955	0.02	3.91×10 ⁻⁵	3.91×10 ⁻⁵	0
0	5.956	5.958	"			
+10	5.959	5.960	"			
+20	5.961	5.962	"			
+30	5.963	5.964	"			
+40	5.965	5.966	"			
+50	5.968	5.969	"			
+60	5.970	5.971	"			
+70	5.973	5.974	"			
+80	5.975	5.976	"			
平 均 值			0.02			

に、照射量別に、この平均値に対する平均も求めてある。また、各試料についての、20°C における温度係数の変化率についても、抵抗体の種類ごとに、照射量別にこれらの平均値が示されている。抵抗変化率の平均値をみると、 10^7 r 照射と 10^6 r 照射とを比較した場合、 10^7 r の方が特に変化率が大いといことはできないが、9.1 k Ω については、 10^7 r 照射の方がわずかに大きくなっている。1 k Ω および 9.1 k Ω では、変化率の平均値は、100 Ω のそれにくらべて、小さくなっている。温度係数の変化率は、負になっているのもあるが、全体としては正のことが多い。

第 2 図および第 3 表は、研究室で作った Ni 薄膜についての測定の一例を示したものである。作った 12 個の試料一つ一つについて、平均の抵抗変化率、およびそれらの全試料についての平均値、また 20°C における温度係数変化率の全試料についての平均値を求めたのが第 4 表である。全試料についての抵抗変化率の平均値は 0.022% である。この数値は、第 2 表における 9.1 k Ω のそれと比較すると、 10^6 r 照射の結果とほとんど同じであることがわかる。したがって、第 2 表で、 10^7 r 照射の場合、9.1 k Ω だけが抵抗変化率の平均値がわずかに大きくなっていたが、この第 4 表の結果とくらべると、9.1 k Ω だけが、 10^7 r 照射で、変化率が特に大きいといことはできない。温度係数の変化率は、第 4 表では、正および負もあるが平均として正となっている。

第 4 表 Ni 薄膜抵抗体の各試料についての
 γ 線照射による抵抗変化率の平均値
と温度係数の平均値

照射量	試 料 No.	5 ~ 18 k Ω	
		抵抗値変化率 (%)	温度係数変化率 (%)
10^7 (r)	1	0.06	0.00
	2	0.02	"
	3	0.02	"
	4	0.03	"
	5	0.01	"
	6	0.01	- 4.00
	7	0.01	+10.00
	8	0.02	0.00
	9	0.02	"
	10	0.02	+10.00
	11	0.01	+ 6.5
	12	0.02	- 7.0
平均値		0.022	+15.5

第 2 表、第 4 表をみると、この実験においては、 γ 線照射による抵抗の変化率は、少数の試料を除いては 0.1% 以下であって、抵抗値によっても、また照射線量によっても系統的な差異は認められない。100 Ω の場合に変化率が他に比して大きいのは測定精度によるものである。

金属薄膜抵抗に対する γ 線照射の影響 (伊藤正俊)

4. 考 察

金属の抵抗 ρ は $\rho = \rho_t + \rho_0$ によって表わされる。 ρ_t は温度に依存する部分であり、格子の熱振動によるものである。 ρ_0 は温度に依らない部分で、格子欠陥にもとづくものであり、欠陥の数が温度に依存しないならば、一定不変であると考えられる。本実験の試料は、いずれも金属であるので、温度増加に対する抵抗値の増加は自然である。

放射線照射によって、抵抗値が増えたとすれば ρ_0 が増加することになる。 ρ_0 に影響を与える典型的な例は、不純物原子、空格子点と格子間原子、転位などが考えられる。しかしこの実験では、照射による抵抗の増加は、 ρ_t による影響と ρ_0 による影響とを含めて測定していることになるので、 $\rho_t = 0$ となるような極低温で実験するのでなければ、はたして欠陥が生じたのかどうか、生じたとするとどのような種類のものであるかなどについては、推論を下すことはできない。したがって、この実験における抵抗変化率の増加、温度係数の変化などについても、薄膜自身の欠陥によるものなのかどうかは断定できない。さらに金属に対する γ 線照射の場合は、Compton 効果などによる 2 次効果として、原子変位などの欠陥が生ずることなど考えると、 γ 線照射による抵抗の変化

が極めて小さいことからして、 10^7 r 程度の照射では金属薄膜抵抗に対しては、2 次効果が極めて小さいのではないかと考えられる。

中井氏等²⁾の論文によると、照射による抵抗の変化率は炭素被膜抵抗体では、照射線量 $7.5 \times 10^7 \text{ r}$ で 0.84% ~ 7.5%、コンポジション型では、 10^7 r 程度の照射で、4% ~ 8% 変化すると報告されている。これらにくらべると本実験では、 10^7 r で 0.1% 以下の変化率であるので、 10^7 r 程度までの照射線量ならば、実用上問題とならないものと判断される。

5. 結 論

Ni-Cr および Ni の金属薄膜抵抗体について、 Co^{60} からの γ 線を 10^6 r および 10^7 r それぞれ照射したが、この程度の線量では、抵抗の変化率は 0.1% 以下と小さくて、放射線の影響は実用上問題とならない。

文 献

- 1) 杉原寛治, 城阪俊吉: 電子機器部品, 1961, p. 203, 電気書院.
- 2) 中井達人, 榊原 剛: 電気学会誌, 79-854, 1959, p. 142.
- 3) 藤田英一: 応用物理, 34-1, 1964, p. 11.