

斜方蒸着した Mn の電気抵抗について*

北川 啓

(昭和42年10月27日受理)

Resistance of Evaporated Manganese Film Deposited by Oblique Incidence

by Hiraku KITAGAWA

Manganese metal was evaporated on a glass plate under the following conditions:—
evaporation velocity; $70 \text{ \AA}/\text{sec.} \sim 150 \text{ \AA}/\text{sec.}$,
film thickness; $160 \text{ \AA} \sim 1,290 \text{ \AA}$,
and the resistance of the film was measured.

The results of the experiment showed that the anisotropy and anomaly of the resistance appeared on the manganese film which was evaporated at 0° to 20° of incident angle and the phenomena showed some differences according to the condition of evaporation.

1. 緒 言

斜方蒸着した薄膜は、その物質の物理的性質にいろいろな異常性や異方性を示すことはゲルマニウム、銀、シリコン、パーマロイなどを例として研究が行なわれている^{1),9)}。

薄膜の電気伝導の理論は Sommerfeld の修正された金属の電子論^{2),4),6)} をもとにして一応完成され、膜厚の領域に応じておのおの近似式が導びきだされている^{2)~4)}。このような理論が実際の薄膜の電気伝導についてなり立つかどうかの研究は周期律表第一族の金属薄膜について多数行なわれている⁴⁾。

また斜方蒸着の理論は Smith⁵⁾ らの自己陰影効果のモデルで説明され、確かめられてきている⁹⁾。

著者は周期律表第七族の金属 Mn を斜方蒸着して電気抵抗の異常性と異方性を認めた。その実験結果は銀やゲルマニウムに比較して異常性は蒸着角 $0^\circ \sim 20^\circ$ において似た現象を示し、異方性は蒸着角が 15° 近辺を境として反転するなどの異なった現象を示した。

本報告は Mn の蒸着膜の結果をのべるとともに、その異常性と異方性に考察を加えたものである。

2. 実 験

2-1. 装置および試料、蒸着条件

蒸着装置; 電子ビーム式多段型 (真空度 1×10^{-6} Torr.), 製作所 JAPAN VACUUM

* 電気四学会北海道支部大会において口答発表, 札幌, 昭42. 10. 3.

ENGINEERING CO., LTD.

試料； マンガン，ウロコ印 99.9% を使用。

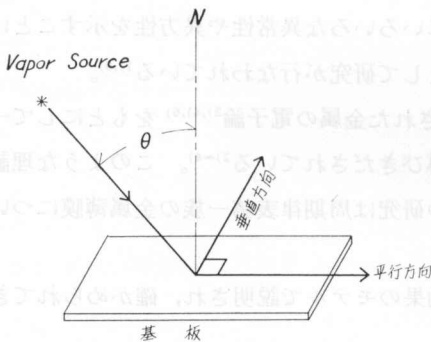
蒸着条件； 蒸着膜は蒸着時の条件によりその特性が鋭敏に影響されるので^{8),10)}，次に本実験で行なった蒸着条件を一応のべておく。

蒸着速度 $70 \text{ \AA}/\text{秒} \sim 150 \text{ \AA}/\text{秒}$ 。基板と蒸着源との距離は 12 cm。基板はガラスを用いた。また薄膜としての特性が明らかになるのは膜厚がミクロンの order，あるいはそれ以下でなければならず⁷⁾，本実験では $160 \text{ \AA} \sim 1,300 \text{ \AA}$ の範囲で行なった。なお電気抵抗は蒸着直後探針法で測定した。

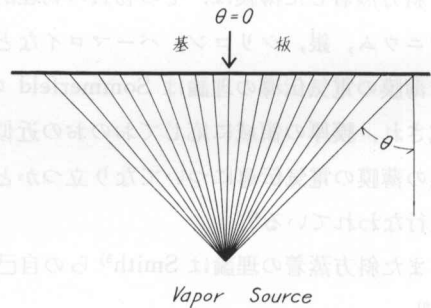
2-2. 実験方法

2-1 の装置を使用し第 1 図のように基板に蒸気流を斜めにあてる。入射角を θ としてそれぞれ蒸着方向に対して平行，垂直をきめ，その方向に測った抵抗をそれぞれ R_{\parallel} ， R_{\perp} と定義する。つぎに第 2 図のように入射角 0° を基点として両側にきりとり，おのおのの蒸着角度に応じた電気抵抗を測りそれぞれ平均をとる。 $\theta=0^{\circ}$ のときの抵抗を R_0 としその角度をかえたときの抵抗をそれぞれ $(R_{\theta 1})_{\parallel}$ ， $(R_{\theta 2})_{\parallel}$ ， \dots ， $(R_{\theta n})_{\parallel}$ 及び $(R_{\theta 1})_{\perp}$ ， $(R_{\theta 2})_{\perp}$ ， \dots ， $(R_{\theta n})_{\perp}$ とさだめ，蒸着角との関係を調べ，又 $(R_{\theta n})_{\parallel}/R_0$ なども調べる。(以下 $(R_{\theta n})_{\parallel}$ を $R_{\theta n}$ とかく)

次に上述の試料の R_{\parallel} と R_{\perp} との関係を求め異方性を調べる。



第 1 図 基板と蒸着方向との関係



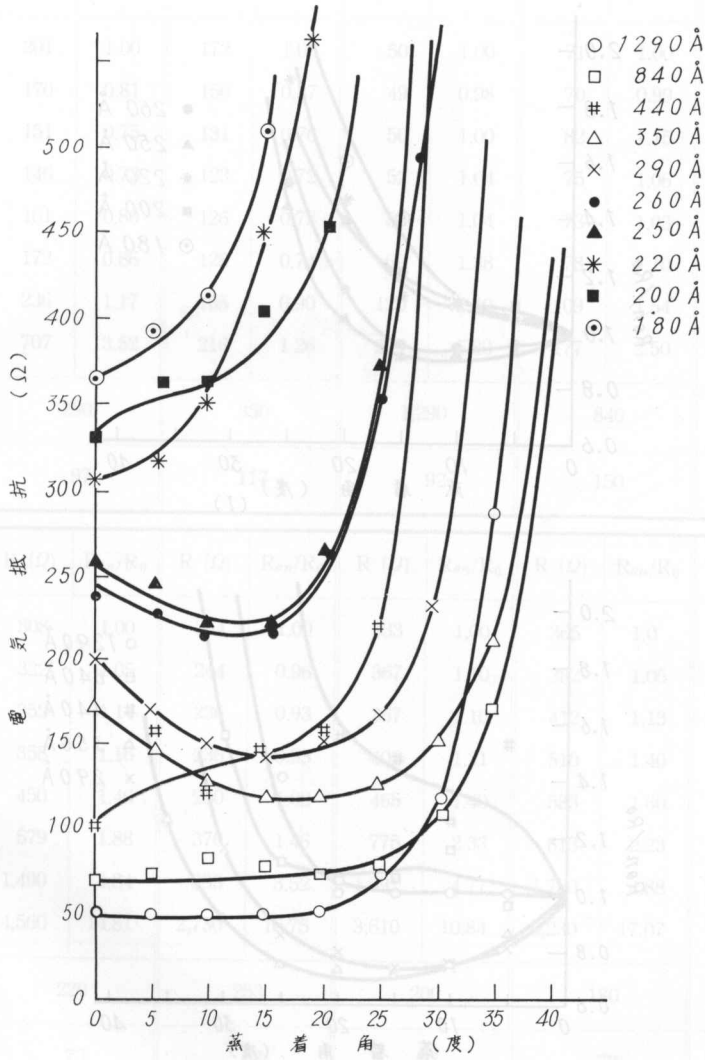
第 2 図 基板と蒸着角

2-3. 実験結果

(I) 蒸着角が大になると単位面積あたりの蒸気流が小となり，また自己陰影効果などにより蒸着角に対する $R_{\theta n}$ ， $(R_{\theta n})_{\perp}$ および $R_{\theta n}/R_0$ ， $(R_{\theta n})_{\perp}/R_0$ は単調増加するはずであるが， $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ に一時抵抗が減少する異常性があらわれる。第 3 図および第 4 図 I，II はそれぞれ異常性を示している。

膜厚がおおむね $1,300 \text{ \AA}$ 以上，および 220 \AA 以下ではこの異常性がはっきりしない(膜厚はすべて $\theta=0^{\circ}$ のときの値である)。

(II) R_{\parallel} ， R_{\perp} を測定した結果 $R_{\parallel} < R_{\perp}$ ， $R_{\parallel} = R_{\perp}$ ， $R_{\parallel} > R_{\perp}$ の傾向がうかがわれる。



第3図 蒸着角と電気抵抗との関係

ENGINEERING CO., LTD.

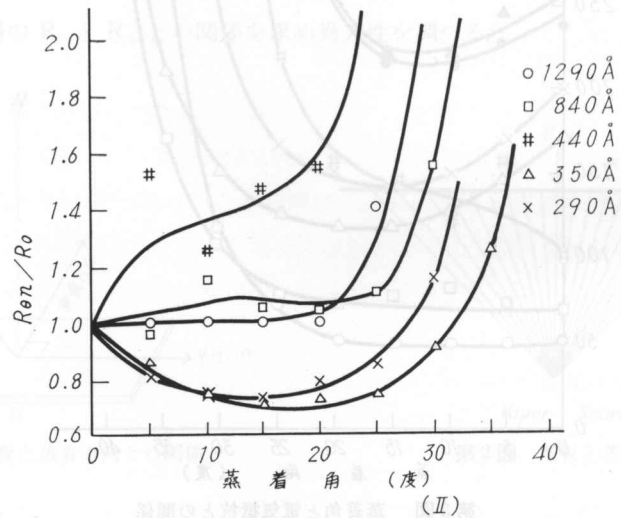
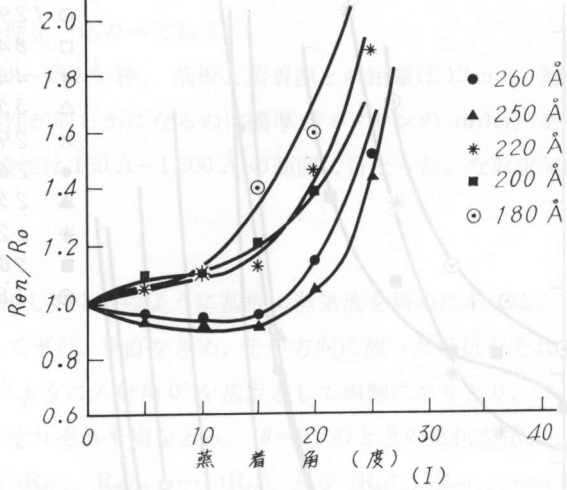
試料: マツカン、ワック引線等を使用

蒸着条件: 蒸着速度、蒸着時間、蒸着圧力よりその特性を比較、影響されるものであり、次に本実験で行った蒸着条件を記す。

蒸着速度: 蒸着速度が異なる場合、蒸着速度が速いほど蒸着膜の厚さが薄くなる。

蒸着時間: 蒸着時間が長いほど蒸着膜の厚さが厚くなる。

蒸着圧力: 蒸着圧力が低いほど蒸着膜の厚さが薄くなる。



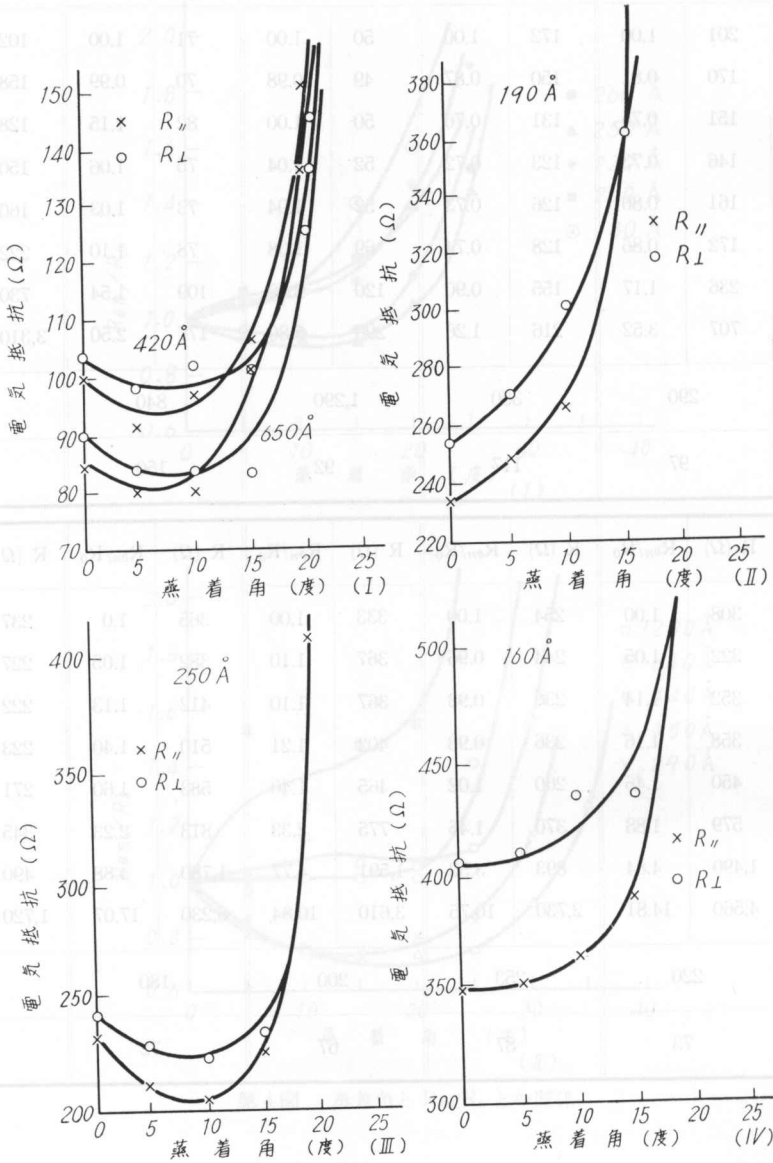
第4図 蒸着角と R_{en}/R_0 との関係

第 1 表

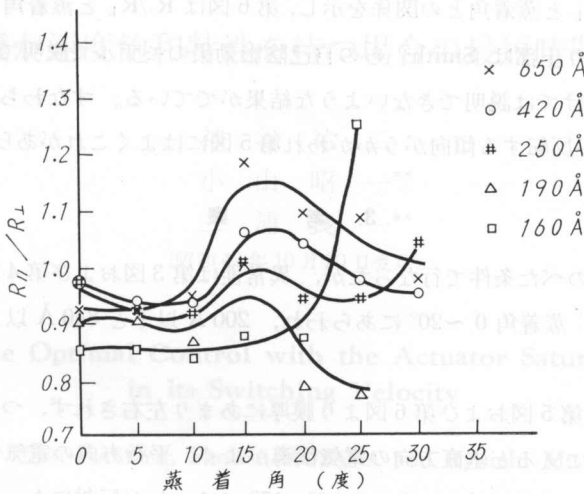
θ (deg)	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$
0	201	1.00	172	1.00	50	1.00	71	1.00	102	1.00
5	170	0.81	150	0.87	49	0.98	70	0.99	158	1.55
10	151	0.75	131	0.76	50	1.00	82	1.15	128	1.25
15	146	0.73	123	0.72	52	1.04	75	1.06	150	1.47
20	161	0.80	126	0.73	52	1.04	73	1.03	160	1.57
25	172	0.86	128	0.74	69	1.38	78	1.10	222	2.18
30	236	1.17	155	0.90	120	2.40	109	1.54	730	7.16
35	707	3.52	216	1.26	290	5.80	177	2.50	3,310	32.5
膜厚 (\AA)	290		350		1,290		840		440	
蒸着速度 ($\text{\AA}/\text{秒}$)	97		117		92		150		147	

θ (deg)	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$	R (Ω)	$R_{\theta n}/R_0$
0	308	1.00	254	1.00	333	1.00	365	1.0	237	1.00
5	322	1.05	244	0.96	367	1.10	382	1.05	227	0.96
10	352	1.14	236	0.93	367	1.10	412	1.13	222	0.94
15	358	1.16	236	0.93	402	1.21	510	1.40	223	0.94
20	450	1.46	260	1.02	465	1.40	583	1.60	271	1.14
25	579	1.88	370	1.46	775	2.33	813	2.23	345	1.46
30	1,490	4.84	893	3.52	1,591	4.77	1,780	4.88	490	2.07
35	4,560	14.81	2,730	10.75	3,610	10.84	6,230	17.07	1,720	7.26
膜厚 (\AA)	220		253		200		180		260	
蒸着速度 ($\text{\AA}/\text{秒}$)	73		87		67		72		87	

表 1 続



第5図 蒸着角と R_{\parallel} , R_{\perp} との関係



第 6 図 蒸着角と $R_{//}/R_{\perp}$ との関係

第 2 表

θ (deg)	$R_{//}$ (Ω)	R_{\perp} (Ω)	$R_{//}/R_{\perp}$	θ (deg)	$R_{//}$ (Ω)	R_{\perp} (Ω)	$R_{//}/R_{\perp}$	θ (deg)	$R_{//}$ (Ω)	R_{\perp} (Ω)	$R_{//}/R_{\perp}$
0	84	90	0.93	0	350	410	0.85	0	101	103	0.98
5	80	86	0.93	5	351	415	0.85	5	93	99	0.94
10	80	84	0.95	10	361	435	0.83	10	98	104	0.94
15	100	84	1.19	15	381	436	0.87	15	106	100	1.06
20	136	124	1.10	20	756	879	0.86	20	152	146	1.04
25	178	164	1.09	25	2,710	2,152	1.26	25	190	194	0.98
30	276	282	0.98	30	8,125	6,500	1.25	30	360	380	0.95
膜 厚 (650 Å) 蒸着速度 (130 Å/秒)				膜 厚 (160 Å) 蒸着速度 (80 Å/秒)				膜 厚 (420 Å) 蒸着速度 (105 Å/秒)			

θ (deg)	$R_{//}$ (Ω)	R_{\perp} (Ω)	$R_{//}/R_{\perp}$	θ (deg)	$R_{//}$ (Ω)	R_{\perp} (Ω)	$R_{//}/R_{\perp}$
0	237	243	0.98	0	315	345	0.91
5	210	228	0.92	5	336	365	0.92
10	207	225	0.92	10	344	400	0.86
15	225	225	1.00	15	470	470	1.00
20	411	450	0.91	20	570	750	0.76
25	651	717	0.91	25	1,731	2,366	0.73
30	1,804	1,737	1.04	30	4,662	6,300	0.74
膜 厚 (250 Å) 蒸着速度 (83 Å/秒)				膜 厚 (190 Å) 蒸着速度 (95 Å/秒)			

第5図は R , R_L と蒸着角との関係を示し, 第6図は R_p/R_L と蒸着角との関係を示す。第6図の $R_p/R_L=1$ より上部は, Smith⁵⁾ らの自己陰影効果のモデルで説明でき, $R_p/R_L=1$ より下部はこのモデルだけでは説明できないような結果がでてゐる。すなわち蒸着角が 15° 近辺で R_p と R_L との関係が反転する傾向がうかがわれ第5図にはよくこれがあらわれている。

3. 考 察

蒸着は, 2-1 でのべた条件で行なつたが, 異常性は第3図および第4図にみられるように膜厚 $250 \text{ \AA} \sim 800 \text{ \AA}$, 蒸着角 $0^\circ \sim 20^\circ$ にあらわれ, 200 \AA 以下と 840 \AA 以上の部分ではあらわれない。

異方性の場合には第5図および第6図より膜厚にあまり左右されず, つぎのことがいえる。

蒸着角が 15° をこえると垂直方向の電気伝導がよく, 平行方向の電気伝導が悪い。これは自己陰影効果による異方性と考えられる。 $0^\circ \sim 15^\circ$ ではこれが反対になっているが, これは自己陰影効果では説明できない異方性と考えられる。

異常性と異方性が同時にでてゐる蒸着角 $0^\circ \sim 15^\circ$ では, 蒸着角が小さいため自己陰影効果が小さくなり, 蒸着膜形成過程における他の効果が比較的大きく効いてくるためと考えられる。その効果として,

- (1) 蒸着角 15° 近辺では結晶成長が比較的よい。
 - (2) 蒸着角 $0^\circ \sim 15^\circ$ では蒸着角に平行な方向に結晶を構成する。
- などの事が考えられ, 今後, 電子顕微鏡解析による研究がまたれる。

本研究に際し, 御指導御討論下さった北大応用電気研究所, 梅沢助教授ならびに北見工大石坂助教授, 実験の一部に御協力下さった本学工業化学科阿部助手に深甚の謝意を表す。

文 献

- 1) 原木: 応用物理学会誌, **32**, 88 (1963).
- 2) 銅沼: 物生物理学講座, **10**, p. 142, 共立出版 (昭38).
- 3) 水島: 薄膜工学ハンドブック, p. II 32, オーム社 (昭39).
- 4) 沢木: 真空技術講座, **10**, p. 194, 日刊工業新聞社 (昭40).
- 5) D. O. Smith, M. S. Cohen and G. P. Weiss: J. Appl. Phys. **31**, 1755 (1960).
- 6) 橋口・神山: デッカー固体物理, p. 308, コロナ社 (昭37).
- 7) 桑原: 日本物理学会誌, **17**, 640 (1962).
- 8) 貴田・難波: 薄膜工学ハンドブック, I 114, オーム社 (昭39).
- 9) 中井: 応用物理学会誌, **32**, 91 (1963).
- 10) 難波・中嶋・石田: 応用物理学会誌, **32**, 567 (1963).