

1. まえがき

反応性直流マグネトロン型スパッタリング法によってガラス基板上に作製したスズ添加酸化インジウム (Indium Tin Oxide, In 90 % Wt, Sn 10 % Wt) 薄膜の電気抵抗とホール係数の測定を温度域 1.5 - 300 K 及び磁場 100 G までの条件下で行った。この物質は液晶や太陽電池等の透明電極としてすでに実用化されていて、厚さが均一で安定な試料作製の技術が確立されているため膜厚に敏感な諸々の物性を研究するには好都合である。実験に使用した試料の厚さと室温における特性を表 1 に示す。

Sample	Thickness (Å)	Sheet resistance (Ω)	Mobility (cm ² /Vs)	Electron density (cm ⁻³)
ITO-100	75	1720	22	2.3 × 10 ²⁰
ITO-200	130	594	20	3.8
ITO-500	445	155	26	3.4
ITO-1000	870	66	23	4.7

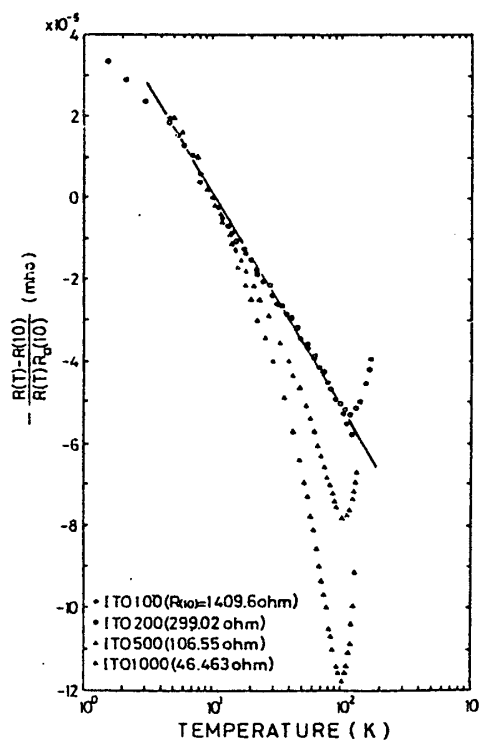
(表 1)

2. 電気抵抗の温度依存性

電気抵抗の温度変化から、測定した全ての試料は抵抗の極小値を持ち、極小を示す温度は膜厚が薄いほど高温側に移動することが分かった。図 1 は 10 K を基準とした場合の 2 次元伝導度の変化を $\ln T$ に対して表したものである。膜厚の薄い ITO-100 及び ITO-200 では 100 K 以下で $\ln T$ に対して直線的な変化を示している。一方厚い試料ではかなり低温でないとこの傾向は見られない。この振舞いは典型的な 2 次元電子のアンダーソン局在現象として理解される。福山¹⁾の表式によると伝導度への量子補正 σ' は α_T をパラメータとして

$$\sigma' = (\alpha_T e^2 / 2 \pi^2 \hbar) \ln T \quad (1)$$

で与えられる。我々の実験結果では $\alpha_T = 1.9 \pm 0.1$ が得られている。厚い試料における高温域での振舞いは非弾性散乱による拡散距離が膜厚より短くなることによって生ずる 2 次元-3 次元転移として理解できる。

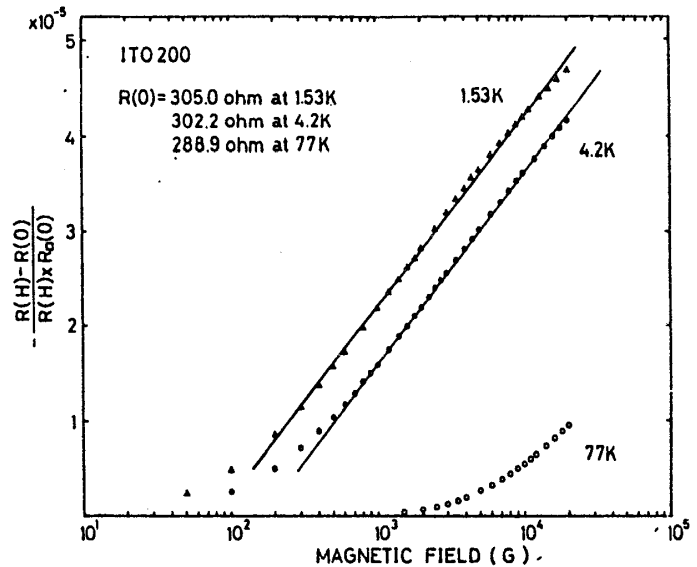


(図 1)

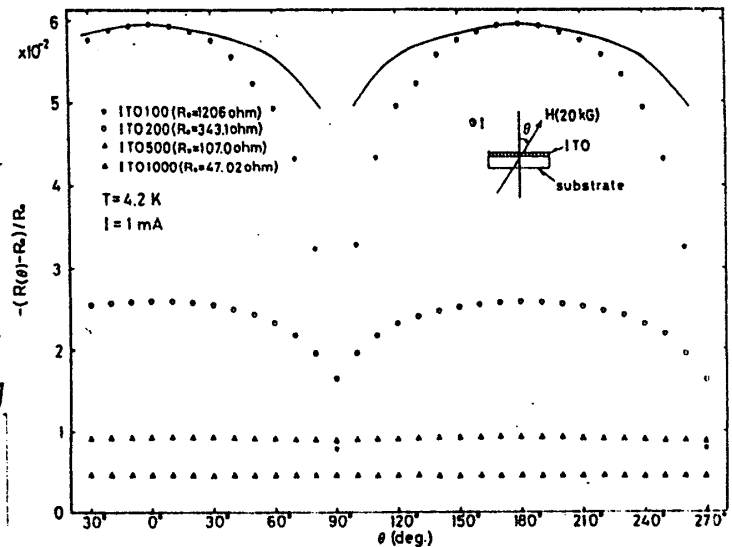
3. 磁気抵抗と非弾性散乱確率

磁場を加えるといずれの場合にも抵抗値は減少し、いわゆる負の磁気抵抗が観測される。図2にITO-200の抵抗の磁場依存性を示す。その特徴は低磁場領域では H^2 、高磁場側では $\ln H$ で変化する。更にその変化の度合いは試料面に対する磁場の方向に強く依存し、膜厚が薄い程異方性が大きい。図3に20 kGでの各試料に対する異方性を示す。このことから負の磁気抵抗は電子の軌道運動と密接な関係があることが分かる。

図4に永上²⁾の理論に基づき磁気抵抗の磁場依存性を解析した例を示す。点が実験値、実線は系の特徴を表す2個のパラメーター T_E と α_H を用いて適合させた理論曲線である。解析に用いた非弾性散乱確率の逆数 T_E と α_H の温度変化を図5に示す。 T_E は $T^{-1.25}$ に比例しAbrahamsやLee等³⁾による擬2次元系での電子-電子散乱効果で定性的



(図2)



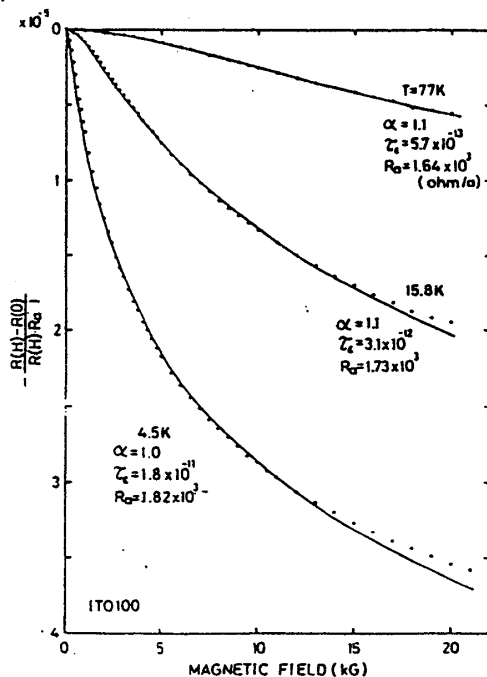
(図3)

に説明される。一方 α_H はほぼ一定で $\alpha_H = 1.1 \pm 0.2$ となる。前述の福山の計算によるとアンダーソン局在と電子間相互作用両効果を含む表式として

$$\alpha_T = P + 1 - 3F/2 \quad (2)$$

$$\alpha_H = 1 - F/2$$

が与えられている。ここで P は T_E の T 依存性を示す定数で F は電子間相互作用の大きさを特徴づけるパラメーターである。我々の実験結果から $F \sim 0.2$, $P \sim 1.2$ が導出され、 $T_E \propto T^{-1.25}$ の結果と大きな矛盾はない。また $F \sim 0.2$ はITOの2次元電子系において電子間相互作用も重要な役割を果たしているこ



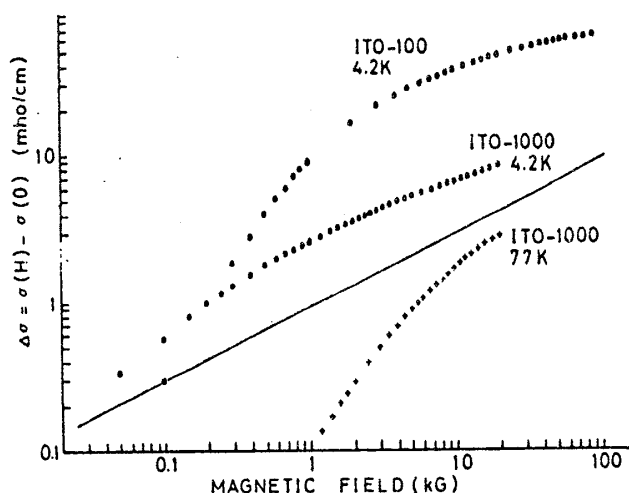
(図4)

とを示唆する。

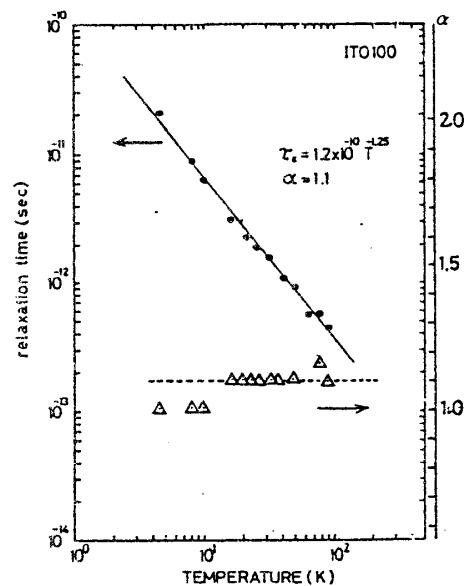
4. 磁場による2次元-3次元転移

磁気抵抗の異方性が試料の膜厚に強く依存することは既に述べたが、異方性が磁場の強さに対してどのように変化するかを示したのが図6である。ITO-100では100 kGでも膜面に垂直な場合と平行な場合の値が一致しない。それに対してITO-1000では3 kG以上の磁場で異方性が殆ど消失している。異方性の消失する磁場値は膜厚が薄くなる程高磁場側へ移動する。この現象は次の様に理解される。磁場が強くなり電子のサイクロトロン半径が膜厚と同程度になると最早電子の2次元性は失われ3次元電子の挙動を示す。同図にサイクロトロン半径 l_c の磁場変化を示すが、いずれの試料でも膜厚が l_c の2,3倍になる磁場領域で2次元性が消失していることが明瞭である。この効果に対する詳細な計算が今研究会で川畑によって報告されている。図7はITO-1000について3次元局在電子系での磁気伝導を調べたもので、4.2 K及び77 Kいずれの場合でも磁場の強い領域では川畑⁴⁾の理論式 $\Delta\sigma \propto \sqrt{H}$ に近づく3次元電子の特徴を示している。

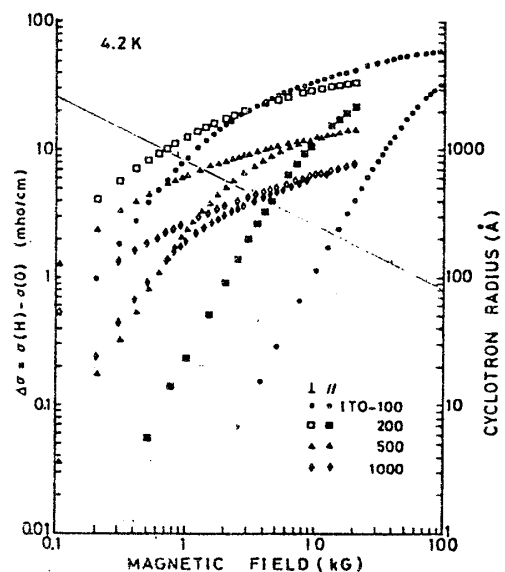
今後局在化に対するスズの及ぼす影響や光学的な特性を研究するつもりである。最後に各種試料を作製して頂きました日本板硝子研究所の皆様へ感謝の意を表します。



(図 7)



(図 5)



(図 6)

参考文献

- 1) H. Fukuyama: Taniguchi Symposium on Anderson Localization (Springer-Verlag, 1981)
- 2) S. Hikami, A. I. Larkin and Y. Nagaoka: Prog. Theor. Phys., 63, 607 (1980)
- 3) P. A. Lee 1) に同じ。
- 4) A. Kawabata 1) に同じ。