

2. 強磁場中 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}-\text{GaAs}$ 二次元電子の電気伝導

梅 田 俊 之

GaAs と不純物をドーピングした $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ は電子親和力およびエネルギーギャップが異なり、この両者を接合させた $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}-\text{GaAs}-\text{Si}$ 選択ドーピング単一ヘテロ構造の接合界面には、三角状のポテンシャル障壁が生じ、伝導電子はこのポテンシャル障壁内に閉じ込められ、界面垂直方向の電子の運動は量子化され、電子の波動関数は1つに決まる。一方、界面内での電子の運動はなんら制約を受けないので、ここに二次元電子ガスが形成される。界面に垂直に磁場を加えることにより、界面内での電子の運動は量子化され、エネルギーはランダウ準位に縮退する。従って、電子は空間的自由度を完全に失い、状態密度はランダウ準位に δ 関数的になる。実際の電子系には不純物等の散乱体が存在しており、散乱の効果を検討すると、ランダウ準位に縮退していた状態密度はガウス分布的な広がりを持ち、状態密度のピーク付近の電子の波動関数は系全体に広がっており、テール付近の電子は局在する。(図.1) この系に電場を加え磁場を変化させると、電場方向の電気伝導度 σ_{xx} はフェルミ準位付近の電子のサイクロトロン軌道のホッピングにより生じるため、フェルミ準位とランダウ準位が相次いで交差することにより、状態密度の形状を反映するシュブニコフ・ハース効果が観測される。また、フェルミ準位が状態密度のテールの部分にあるときは、電子の局在のため、 $\sigma_{xx} \sim 0$ となり、電場直角方向のホール電気伝導度 σ_{xy} は $\sigma_{xx} \sim 0$ の領域で物質定数を含まない一定値 $-ie^2/h$ ($i=1, 2, \dots$) をとり続ける量子ホール効果が観測される。⁽¹⁾ (図.2)

電子の局在による $\sigma_{xx} \sim 0$ の現象は、格子温度 T_L や電流密度 J_x に大きく依存している。特に J_x に対しては、ある電流密度で急峻な電場の変化が起こる。⁽²⁾ (図.3) この現象は、電子温度の急激な上昇のため σ_{xx} の不安定性が生じるために起こるという説が最も定量的に説明されている。しかし、このとき電子温度がいかなる変化をするかは明らかでない。⁽³⁾ これを調べるため、フェルミ準位がランダウ準位 $N=1$ と $N=2$ の間の中心(filling factor $i=4$)に位置するように磁場を固定して、電気伝導度 σ_{xx} の格子温度 T_L 変化の測定および電流密度 J_x 変化の測定をおこなった。 $\sigma_{xx}-T_L$ の測定は有限電流でおこなったが、電流密度が小さいときは J_x によらず同一の振舞いを示す。(図.4) したがって、系の電子温度は $T_e \sim T_L$ とみなすことができる。また、図.3の E_x-J_x の測定結果より、1電子当りのジュール熱によるパワー P_e ($P_e = J_x \cdot E_x / N_s$) に対する σ_{xx} の依存性を求め、電子の持つパワーの増加により電子系の温度が上昇すると仮定して、両者の σ_{xx} は同一の振舞いを示すと考え P_e と T_e の関係を決定した。(図.5) また、温度 T のときの電子1個当りのもつ平均エネルギーを $\bar{\epsilon}(T)$ とするとエネルギー $\bar{\epsilon}$ が格子との非弾性散乱によって失う率と、電場によって得られるエネルギーの率 P_e とのエネルギーバランスの式よりエネルギー緩和時間 τ_E を求めることができる。 P_e は電子温度と対応しているので $\bar{\epsilon}(T)$ の値を見積り τ_E を決定した。 $\bar{\epsilon}(T)$ は電子間の相互作用が大きく、電子系で熱平衡状態になっているとして数値計算によって求めた。この結果、 τ_E は T_L および T_e に大きく依存する曲線になった。(図.6) これはエネルギー緩和時間が T_e によらない一定値をとるという説⁽⁴⁾と異なり散乱機構の変化あるいは電子状態の変化がエネルギー緩和時間に影響を与えていると思われる。

REFERENCES

- (1) K.v.Klitzing Physica 126B 242 (1984)
- (2) G.Ebert, K.v.Klitzing, K.Ploog and G.Waimann J. Phys. 16 5441 (1983)
- (3) S.Komiyama, T.Takamasu, S.Hiyamizu and S.Sasa Solid State Commun. 54 479 (1985)
- (4) K.Hirakawa and Sakaki Appl. Phys. Lett. 49 889 (1986)

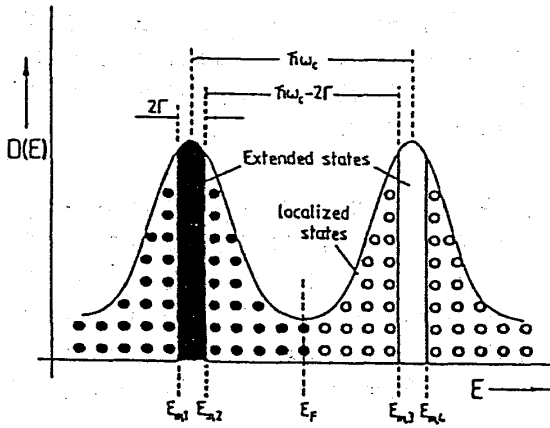


図. 1

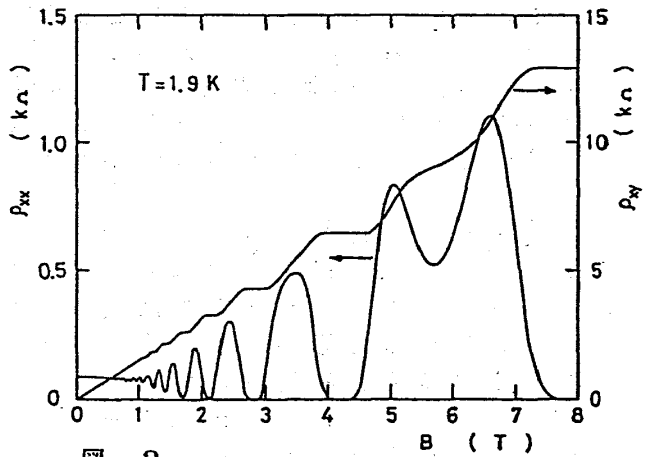


図. 2

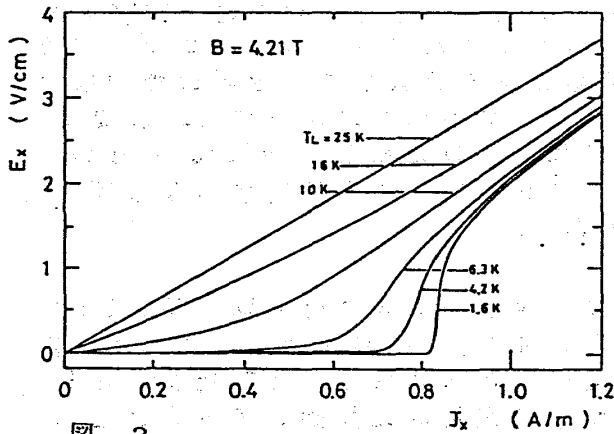


図. 3

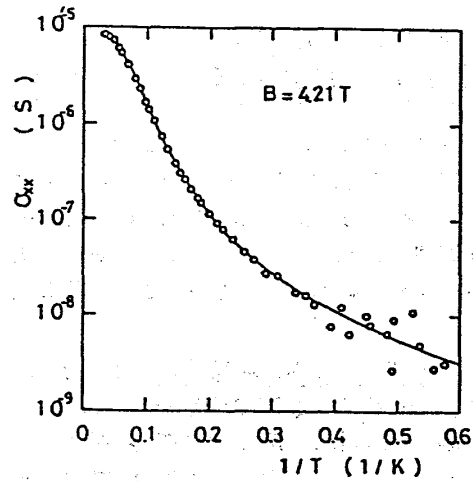


図. 4

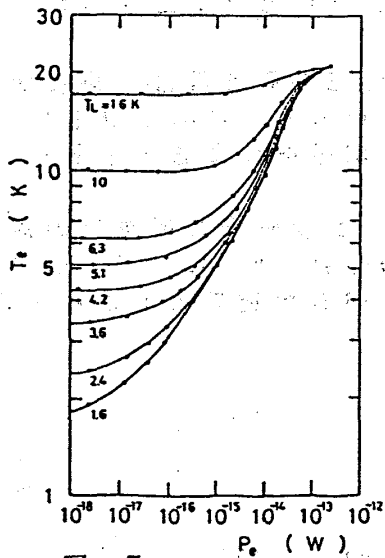


図. 5

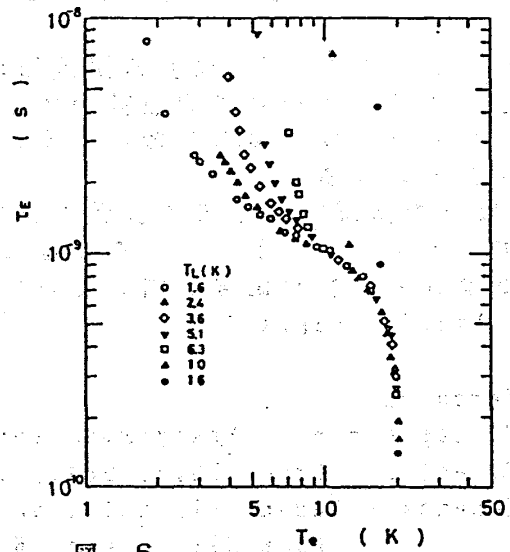


図. 6