

強磁場下のMOS反転層(多体効果による Spin, valley 分離の enhancement の可能性)

東大理 安藤 恒也

半導体表面に作られたMOS反転層の電子は面に垂直方向の運動がゲート電圧で量子化され二次元電子と考えられる。そこで更に表面垂直方向に磁場を加えると、面に沿った自由な運動も各ランダウ準位に量子化されるため、軌道運動が完全に量子化されてしまう。その結果、エネルギースペクトルは完全離散的となる。このような系における伝導現象・多体効果などは非常に興味ある問題である。特に、MOS反転層内の電子数はゲート電圧を変える事により自由に変えられるので、電子数に強く依存した多体効果等を観測する上で恰好な系と考えられる。

このような特異な系の物理的性質を理論的に調べるには、散乱体による状態幅の効果をセルフコンシステントに取入れなければならない。その様な計算の結果、状態幅、伝導現象等の特徴が明らかになった。¹⁾ここではその詳細には立入らず、Siの(100)面に作られたMOS反転層にあてはまる場合の結果だけを書く。この場合には散乱体の濃度が濃く、しかも、その有効距離がサイクロトロン軌道半径に比して十分短いと考えられる。その時、それぞれのLandau準位の幅は磁場の平方根に比例し又その時の $H=0$ での移動度の平方根に逆比例する。又、各ランダウ準位に付随した横磁気伝導度 σ_{xx} のピーク値が $\sigma_{xx} = e^2(N + \frac{1}{2})/\pi^2 h$ とあらわせる。これは電子の質量、磁場の強度、更には散乱体の強度及び濃度に依存せずランダウ量子数 N と自然定数にのみ依存する。

上に述べた様な伝導度の特徴は小林、小松原のSi(100)面で、各準位のspin, valley縮退の様子を考慮に入れて検証された。²⁾しかしながら実験のde Haas-Schubnikov振動にみられる低いランダウ準位でのspin, valley分離などを説明する事は、そのままでは出来ない。すなわち g -因子をSiの伝導帯での値(~ 2)だとすると、 $H=0$ での実験から得られた移動度を用いて理論的に求めた状態幅に比べてspin分離が小さ過ぎる。実験で見られている様なspin, valleyの4つの分離⁴⁾などは理論的には期待され得ない。又、これらの分離はランダウ準位が高くなるにつれて急激に見

られなくなっている。この事も、実験で得られた移動度からは説明がつかない。

このような困難は多体効果を考える事により克服されると考えられる。特に、強磁場下における二次元系の様な場合には、spin, valleyの異った電子のそれぞれの総数が各ランダウ準位の縮退度 $1/2\pi\ell^2$ のオーダー程度違い得る。その結果、それぞれの電子の Coulomb 反発によるエネルギーが異なり、準位が shift するはずである。次の様な簡単な考察をすれば、その効果が十分観測され得る程度であることがわかる。ある一種類の spin, valley の電子（それを $\uparrow$ spin, valley 1 とする）だけが考えているランダウ準位につまっている場合を考える。その為に受ける他の spin, valley の電子の反発エネルギー（言いかえると、 $\uparrow$ spin, valley 1 の電子の exchange によるエネルギーのさがり）は大体 $e^2/k\ell(2N+1)^{1/2}$ のオーダーである。ここで、 ℓ は ground Landau level の半径、 k は Si の電媒定数 (~ 10) の程度である。界面による image potential の影響を入れれば k は effective にもう少し小さくとらねばならない。これは 100 kOe の磁場の時、スピン分離、valley 分離 ($\sim 1\text{meV}$) よりも十分大きい ($\sim$ 数 meV)。もちろん、この値は Landau 準位内、準位間の screening あるいは correlation、又、それぞれの準位にある tailing の為に一種の電子だけがつかまっているという理想的な場合とは異っている、などの色々の理由で、もっと小さくなるはずであるが、詳しい計算の結果も十分観測し得る程度である事がわかっている。^{3, 4)} この様な多体効果を取入れる事で、実験で見られる de Haas-Schubnikov の振動の扱いを説明するには、困難なセルフコンシステントな計算が必要であるが、現在進行中である。もちろん、このような系における多体効果という問題も、理論的立場からは非常に興味のある、しかし困難な問題である。

- 1) T. Ando: Doctor Thesis (University of Tokyo Jan 1973)
- 2) T. Ando et al: J. Phys. Soc. Japan 32(1972)859
- 3) T. Ando et al: Proc. 11 - Int. Conf. on the Phys. of Semicond. Warsaw (1972) p. 294
- 4) The g-shift in weak magnetic fields was observed by Fang and Stiles. Phys. Rev. 174(1966)823