

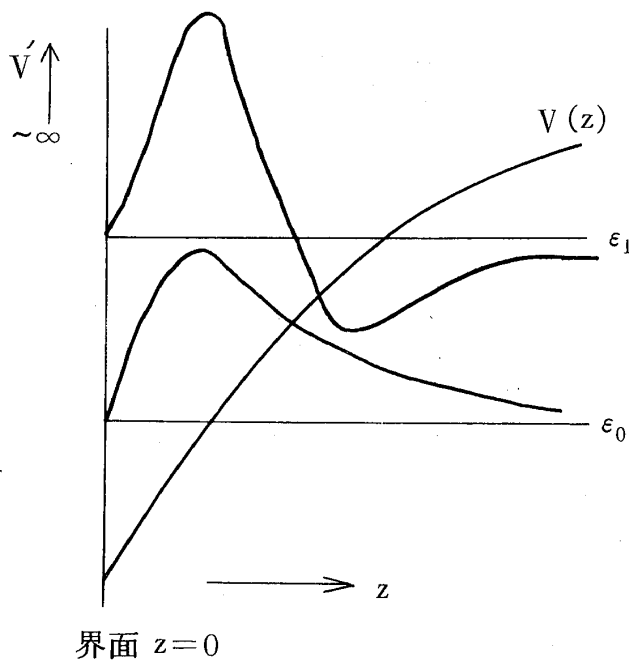
Introductory Talk

—M. O. S. 反転層と液体ヘリウム表面の電子—

東大理 植村泰忠

§ 1. まえおき

表題の系は現在二次元電子系の研究にとって重要な役割を果たしつつある。本研究会の第1日はその討論にあてられているので、それぞれの報告者の Original reports に先立って、前回の研究会以降とくに最近の研究について簡単な紹介を行ない、討論の一助としたい。



注目する二次元電子系は界面に垂直な2方向に存在する非対称な位置エネルギーの箱にとちこめられ、2方向の運動が量子化されることで与えられる。V(z)の原因は、Heの場合表面外部の電子がうける鏡像力であり、M. O. S.の場合は界面附近の荷電不純物及びとらえられた電子の密度分布が作る空間電荷である。二次元的 sub-band 間のエネルギー差 $\epsilon_1 - \epsilon_0$ の程度は前者の場合数度 K の程度、後者

の場合は $10 \sim 40 \text{ meV}$ の程度であり、二次元電子系の濃度は通常の実験条件では前者が $10^{5 \sim 6} \text{ cm}^{-2}$ の程度、後者が $10^{11 \sim 12} \text{ cm}^{-2}$ 程度であり、いずれも実験的に制御可能な点の特徴である。この濃度からわかるように、前者はヘリウム温度でも古典分布則がよく成立し、後者はむしろ完全に近い縮退電子ガスを形成する。

§ 2. 二次元的移動度の研究

上述の電子系の界面に沿った方向の移動度については、特に M. O. S. については工業的な品質向上とも深い関連があるので、多数の実験的研究がなされ、何が散乱体として移動度の決定に寄与するかが調べられつつある。ヘリウムの場合は界面で蒸発し、蒸気圧の原因となるヘリウム原子による電子の散乱が主役であることが確定されているが、M. O. S. の場合は表面の凸凹や、荷電不純物その他の格子不整が共存するので原因の確定が困難である。常温附近では音波とくにサーフオンによる散乱が重要である。

電子が二つ以上の sub-bands にわたって存在するときには、inter-sub-band の散乱が注目され、これが最近の研究の一つの関心事である。この研究会における江沢の報告は、サーフオンによる M. O. S. 反転層電子の inter sub-band 散乱を扱った理論的正政法による研究の結果であって、電子の散乱確率が、そのエネルギーとともに、どのような変化を示すか、が注目される。

§ 3. 静的電流磁気効果の研究

磁場が界面に垂直に印加された場合には、散乱体のない理想系では、完全に離散的なランダウ準位が得られるので、その強磁場中の電流磁気効果は、ランダム系の理論、量子伝導の理論にとってまことに興味深い研究対象である。Transverse magnetic conductivity $\sigma_{xn}(H)$ の理論的研究は、前回の研究会後もひきつづいて安藤を中心に詳しい研究が進展し、その成果は最近の J. Phys. Soc. Japan に逐次発表されつつある。その最も簡単な近似によれば、ランダウ準位の short ranged scatterer による broadening の巾 Γ は

$$\Gamma \sim \sqrt{\frac{2}{\pi} \hbar \omega_c \cdot \frac{\hbar}{\tau}} \propto \sqrt{H/\mu}$$

で与えられる。 ω_c はサイクロトロン振動数、 τ_0 は磁場のない条件下での電子の散乱による緩和時間である。この Γ を直接実験により検証することが現在の課題の一つであり、その目的で $\sigma_{xy}(H)$ 、換言すれば Hall 効果の理論が展開されつつあり、川路は M. O. S. による σ_{xx} , σ_{xy} の強磁場下の詳しい測定ととりくみつつある。

ヘリウムの電子系については、その電流磁気効果の研究が未開拓である。最近日本で

植村泰忠

も東大佐々木研の梶田により、この系の実験が開始され、この研究会にも予備的報告が予定されているので今後の進展に期待したい。

§ 4. サイクロトロン共鳴の研究

サイクロトロン共鳴吸収の実験的研究は、ヘリウム表面の電子の場合が、M. O. S.の場合に先行し、マイクロ波吸収として、 ω_c が磁場の界面に垂直な方向の成分によってのみ得られることが実証され二次元系のよい証拠となった。

M. O. S. のランダウ準位間隔はこれより大きいので、レーザーによる実験が必要となる。この実験的ならびに理論的研究は、前回の研究会以後の進展のなかで最も著しいものの一つであった。実験的研究は M^unchen T. U. の Koch のグループにより、理論的研究は安藤により推進された。 $\Gamma \propto \sqrt{H/\mu}$ の間接的実証や、carrier 濃度の比較的高い場合にみられる、吸収曲線(磁場を sweep)の振動的構造等、実験と理論がよく一致するようになった反面、低濃度におけるサイクロトロン質量の構造敏感な減少など、残された問題も存在する。これらについては第1日の討論で安藤の報告を中心にとりあげられよう。

§ 5. Si の P-channel のサブバンドとサブバンド間光遷移の研究

そもそも sub-band のエネルギー分散をいかにして求めるかは、M. O. S. 反転層の電子論にとって出発点の重要課題であるが、その正改法による理論的計算は、Stern による Si の n-channel に対するもののみが従来なされて来た研究である。その立場は Hartree 近似であり、最近さらに交換相互作用や鏡像力の影響がとりあげられるに至った。p-channel に対する同様な研究が今年に入ってから大川により勢力的に進められているが、その結果がこの研究会で報告される。ここでは縮重した価電子帯を反映して、その界面電界による分裂、再混合が主たる関心事となる。

一方 sub-band のエネルギー分散を実験的に直接検証するにはレーザー光による分光測定が有効である。Koch, Kamgar 等は Si の p-channel について始めてレーザー光共鳴吸収の実験を行なった。彼等はさらにゲート電圧を逆むきに sweep して、carrier 濃度の少ない n-accumulation layer の形成する sub-band 間遷移の分光学的実験も行なった。後者については特に外部静磁場を面に平行にかけた場合の line shape の変

Introductory Talk — M. O. S. 反転層と液体ヘリウム表面の電子一化や、吸収線に現れる構造を観測している。これらの事実に関連する理論的研究も大川や安藤の報告に含まれるであろう。

§ 6. 多体効果

上述したように、sub-bandにある電子系のエネルギーは、定量的にみると電子間相互作用の影響をつよくうけている。鏡像力、交換相互作用、相関エネルギー等を二次元電子系について理論的に考察するとともに、これを実証するこゝろみは今後の興味深い研究課題である。すでに離散的ランダウ準位にある電子群の交換相互作用による g 因子の増大については前回の研究会でもふれられ、その後詳しい解析が安藤等によりJ.

Phys. Soc. Japanに発表された。今回の研究会では大川が一体のvalley orbit分裂(界面ポテンシャルによる)のみつもりが報告されるが、その値は観測から予想されるより小さく、実際には同様の多体効果による増大があることを予想させる。

相関エネルギーについては、いわゆる低濃度の場合のWigner crystalizationの可能性に興味をもたれている。福山等はベル電話研究所にあって簡単な模型でこの問題を理論的に扱いWigner crystal出現の相図を求めた。この実証は未開拓で、今後の実験的研究の課題のひとつであろう。

M. O. S.の場合、電子濃度が低くなると、界面附近の電子の位置エネルギーが格子不整のゆらぎの影響を強くうけるようになるので、果して理想化されたWigner latticeが出現可能か否か問題である。現在の実験事実、この領域での諸特性は構造敏感であって、いわゆる不純物伝導の様相を呈するかにみえる。最近ベルのAllenによって報告された極低温での移動度が、二次元のvariable range hoppingでより理解できる事実などはそのよい一例であろう。

§ 7. むすび

以上述べたように表題の系については、この二三年の間に急速な研究の進展がみられているが、本研究会の課題であるこれら電子系の素励起の研究はむしろ今後のことに属している。現在までに積み上げられた成果を背景に本研究会での討論をふまえて、この分野の研究の展望がひらけることを切望する。