

半導体における電子正孔液体

講師 東大物性研 森垣和夫

半導体で低温において励起子が多く生成されると、その波動関数が空間的に広がっているため、空間的に凝縮が起こる。これは1968年 Keldysh によって存在の可能性が指摘された電子正孔液滴である。彼は Rogachev らの Ge 光伝導の実験—液体ヘリウム温度で光励起で電子正孔対をつくり、その濃度を増してゆくとある濃度以上で、光伝導度が急激に増加する—に基いて液滴の考えを提唱した。

液滴の安定性が Brinkman & Rice や Conbescot & Nozieres によって論じられ、Ge, Si に対して電子正孔密度 $1.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 結合エネルギー 19.7 K が得られている。

液滴は種々の方法によって観測可能である。例えば pn 接合での巨大揺動電流、光散乱、発光の観測があげられる。

光散乱の実験では散乱強度を角度の関数として表わすと理論と実験がよく一致している。

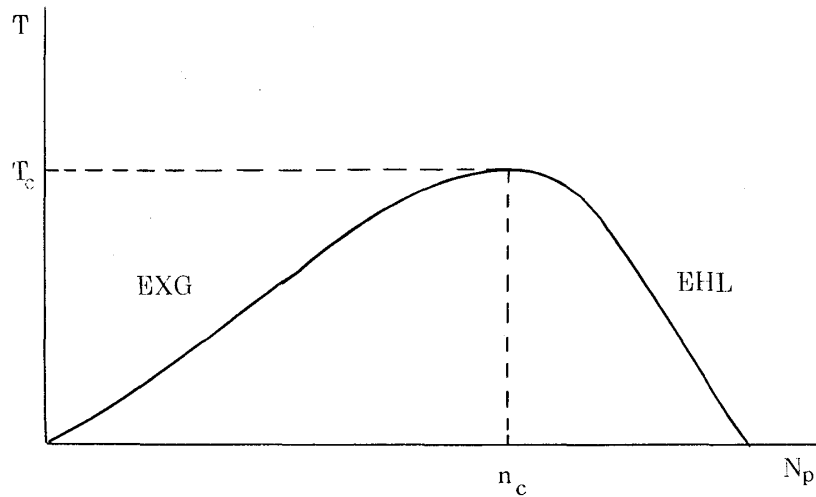
Teffries 等は Ge に stress をかけることによって大きな液滴を作り、それからの発光を赤外に感度のあるテレビカメラを用いて直接測定をした。

光励起した Ge からの発光を観測することによって、液滴のフェルミエネルギーを算出することができる。この結果は励起子の濃度が $2.3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ までは濃度依存性がないが、この濃度を越えると $E_F \propto n^{0.5}$ の依存性が出てくる。これは臨界濃度以上で試料全体が電子正孔液体になっていることを示している。化学ポテンシャルの濃度依存性より求めた、基底状態のエネルギーの濃度依存性は理論とよくあっている。

励起子ガス液体相転移の相図を実験的に求めようという試みがなされている。相図としては図に示されているようなものが考えられ、実験的にも確められているが、気相液相転移と金属非金属転移が別々に起こる可能性等の問題が残されている。

Rogachev の行なった実験を trangent に行なうことによって液滴の生成消滅を時間的に追うことが可能である。

液滴が負に帯電していることが光伝導の実験から確められた。



励起子系の相図

EXG 励起子ガス相
EHL 電子正孔液相
 N_p 平均の電子正孔対密度

また励起子の濃度を増加させる時と減少させる時で発光強度に違いがあり，過飽和状態が実現されている。

今後の問題として，さらに励起子を多く作った時，非平衡フォノンがどのように振舞うか，また不純物をドーピングした半導体で液滴がどのようになるかを研究するのは興味深い。

文責 阪大理 中田博保