

サブゼミ後半 (7/28,29)

磁性

低温

物性基礎論第1

誘電体

講師、 福井大工 網代芳民

講師、 東工大理 榎 敏明

発表者、若林知成 (都立大理)

講師、 東大教養 戎崎俊一

発表者、泰地真弘人 (東大理)

講師、 関西学院大理 寺内

発表者、守友 浩 (東大理)

熱心に講義していただいた講師の皆様には感謝いたします。

尚この講義ノートは、講義を聴講した学生によりまとめられたものです。

講義前半 (7/25,26)

励起子の光物性と量子サイズ効果

東北大学理学部 伊藤 正

本講義は、主に CuCl の Z_3 励起子に関する実験結果を示しながら、

1. 励起子の光物性は原子・分子のような局在系の光物性とどのように異なるか。
 2. 両者の中間的な状態ともいえる、超薄膜や超微粒子等のメソスコピック系の励起子の光物性はそのような特徴を持つか。
- を軸として行われた。

半導体では禁制帯をはさんだ電子遷移により、伝導帯と価電子帯に各々電子と正孔が励起されるが、この電子と正孔がクーロン相互作用により水素類似の束縛状態を形成したものが励起子である。励起子は内部運動 (電子と正孔の相対運動) の他に並進運動を持ち、結晶中を伝播するため、その光物性は原子・分子のような局在化した励起状態とは異なる性質を持つ。その様子は CuCl では、励起子と光とを一体として取り扱った励起子ポラリトンのコヒーレントな伝播として記述される。

まず励起子ポラリトンの分散曲線について、上枝・下枝の2種のポラリトンの存在とそれに伴う付加的境界条件 (ABC) 問題等について解説があり、その後実験結果をまじえつつ発光や緩和のダイナミクスに移った。励起子ポラリトンの共鳴発光は、結晶中をコヒーレントに伝播する励起子ポラリトンが結晶表面に到達した時に、その一部が光に変換されることによって起こるため、試料形状の影響を強く受ける。また、吸収もポラリトンが散乱を受けることによって初めて起こる。これらは、二準位系で定義される通常の光遷移の振動子強度とは直接結び付かない振舞である。AO フォノンによる散乱とボトルネック効果、マルチ LO フォノンサイドバンド等についても解説があった。

次に、NaCl マトリクス中の CuCl 超微粒子を例として、メソスコピック系の励起子に話題を移した。このような系では励起子は超微粒子中に閉じ込められ、その結果エネルギー準位の離散化と最低エネルギーの高エネルギーシフトが起きる (量子サイズ効果)。微粒子サイズがバルク結晶中の励起子の電子・正孔間の平均距離よりも大きい場合は励起子の並進運動の閉じ込めとして、逆に小さい場合は電子・正孔個別閉じ込めとして理解されるが、NaCl マトリクス中の CuCl 超微粒子は前者にあたる。

微粒子に特徴的ではないが、微粒子になることによって観測可能になった性質もある。エネルギー準位が離散的であることを利用すると、励起子を最低エネルギー状態に集中的に作る事が出来る。さらに微粒子サイズを散乱によって決まる励起子のコヒーレンス長よりも小さくすれば、励起子は微粒子全体にわたるコヒーレントな状態として存在し、微粒子サイズに比例する巨大振動子効果が現れる。理想的なバルク結晶中の励起子は本来、この効果を持っているが、現実にはコヒーレンス体積によって制限されてしまうため、バルク結晶では観測が困難であった。

この他、励起子が高い効率で発光・再吸収・再発光を繰り返すことによって微粒子間を伝播していく効果や、励起子状態幅のサイズ依存性等について解説があり、最後に将来の研究への展望を示して講義は終了した。

(文責 宮本 洋子)

一次相転移とパターンダイナミクス

お茶の水女子大理 太田隆夫

界面のダイナミクスの理論は、一方では一次相転移の観点から、他方では結晶成長等、非平衡系という観点から注目をあつめている。太田氏は一次相転移のモデルの理論的解析を通して、パターン形成における自己相似則、高分子系におけるパターン形成、非平衡・開放系における安定構造の存在等といったトピックスについてのレビューを行われた。以下、その内容を簡潔に記述する。

1 一次相転移を記述するモデル

一次相転移に特徴的なことは、例えば水→氷の転移や NaCl 水溶液中の塩の析出などのようにその転移点において二相共存の状態が存在することである。このような状態は、その秩序変数の対称性によっていくつかのモデル化が可能である。例えば磁化のように保存されない秩序変数 $C(\mathbf{r}, t)$ を持つ系を記述する時間に依存するギンツブルグ・ランダウ方程式 (TDGL) (モデル A と呼ぶ。)

$$\frac{\partial C(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = D\nabla^2 C(\mathbf{r}, t) + f\{C(\mathbf{r}, t)\} \quad (1)$$

溶液中の食塩の濃度のように保存される秩序変数 ($\frac{\partial}{\partial t} \int d\mathbf{r} C(\mathbf{r}, t) = 0$) を持つ系を記述する方程式 (モデル B と呼ぶ。)

$$\frac{\partial C(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = -LV^2 [D\nabla^2 C(\mathbf{r}, t) + f\{C(\mathbf{r}, t)\}] \quad (2)$$

等である。ここで $f\{C\} = C(1-C)(C-a)$ であり、方程式は $C=0$ と $C=1$ に安定な解を持ち系が二つの安定な相を持つことを表している。これらの系は高温の状態から、上の方程式が記述する転移温度以下の温度領域へと急速に冷却すると系の中にできた小さな安定領域が次第に大きくなるという発展過程をたどって秩序状態へと転移する。このような一次相転移のダイナミクス (時間発展) を追うことは、系の中に析出してくる安定領域 (ドメイン) の時間発展、すなわちその界面のダイナミクスを追う問題に帰着する。最近、特に注目されている事は、これらの発展過程において各時間毎にドメインのパターンの間に相似則が確認されている事で、これについて理論的な研究がなされている。

2 界面のダイナミクス

界面のダイナミクスの簡単な例として、方程式(1)で記述される系 (モデル A) の $C=0$ の領域中にできた $C=1$ の球状のドメインの時間発展を見てみる。方程式(1)の解析からドメインの半径 $R(t)$ の時間発展は次の方程式で記述されることが分かる。

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\frac{D(d-1)}{R} + c(a) \quad (3)$$