

26. 電荷密度波状態の多重安定性とダイナミクス

— 不純物との非線形結合 —

電総研 阿 部 修 治

NbSe_3 , TaS_3 , $\text{K}_{0.3}\text{MoO}_3$ などの無機半導体においては、低温で、閾電場を伴う強い非線形伝導現象が見出され、また準安定状態の存在を示すヒステリシスやスイッチング現象も見つかっている。これらの物質ではパイエルス転移を起こして不整合電荷密度波 (CDW) 状態が形成されていることが知られており、種々の非線形現象は CDW が運動すること (パイエルス・フレーリッヒの伝導機構) によるものと考えられている。

非線形伝導に閾電場が存在することは CDW が何らかの原因でピン止めされていることを意味する。この状況を表すのに通常、周期ポテンシャル中を摩擦を受けながら運動する古典的粒子の描像が用いられ、AC 伝導度などの実験をもよく説明できる。この現象論的方程式はジョセフソン結合の振動電流を記述する方程式と同一であり、カオスをも含む非線形現象の説明に用いられる。しかしながらこの現象論の基礎づけは未だにはっきりしておらず、また当然のことながら準安定状態の存在などは議論の外にある。

ピン止めの原因としてはいくつかのものが考えられるが、ここでは不純物によるピン止めの立場を採る。この場合 CDW の内部変形を考慮することが本質的に重要である。これまでに、CDW の不純物によるピン止めには強いピン止めと弱いピン止めとの 2 種類あること、また実際の物質では一次元鎖どうしの間の相互作用による CDW の 3 次元的秩序が不純物によるピン止めに大きな影響を与えることが知られている。そこで我々は、CDW の位相の 3 次元的空間変化と不純物ポテンシャルを取入れた微視的ハミルトニアンから出発し、エネルギー極小となるような位相変形を求めてみた。このとき CDW の重心位相 (これは CDW の位置に対応する) をパラメタとして残しておくとし断熱ポテンシャルが CDW の位置の関数として求まる。

まず、不純物濃度が低い状況を考え、各不純物のまわりのひずみはたがいに独立であるとして、1 個の不純物に対する断熱ポテンシャルを計算すると、不純物ポテンシャルの強さがある一定値以下では一価関数であるのに対し、その一定値を超えると三価関数になることがわかる。このうち 1 つの分枝は不安定であり他の 2 つの分枝が局所的に安定であることが示される。この 2 つの分枝は不純物位置での位相がたがいにほぼ 2π だけ異った状態に対応し

ており、逆に言えば、CDW 全体の位相が 2π だけずれても局所的位相は同一値付近にとどまったまま準安定状態として存在できることを示す。このとき各不純物からの寄与を総和した全系のエネルギーは CDW の位置変化に対して必ず上昇する。すなわち自発的対称性の破れが起って CDW は局在化することになる。これは強いピン止めに対応する。

このようにしてピン止めされた安定配位のまわりでの CDW の微小振動を考え、単一サイト近似で周波数に依存する電気伝導度を計算してみると、従来の一次元モデルでは伝導度にギャップが生じることになっていたのに対し、三次元モデルではギャップは生じず、現象論で仮定される減衰調和振動子型である。こうしてこのモデルは実験事実を自然に説明できるばかりでなく、現象論で仮定されるパラメタ (CDW の減衰時間など) に対し微視的な表現を与えることができる。

また、有限の電場を加えたときの断熱ポテンシャルの構造から、CDW 全体としてピン止めのはずれる閾電場の値も求まり、これも現象論とよい一致を示している。このようにしてこのモデルは現象論を基礎づける微視的モデルの条件を満足していることがわかった。ただ、問題もあり、不純物濃度の低いとき CDW の減衰は比較的弱いという計算結果に対し、実験では減衰が強いことから、不純物濃度が低いという近似は必ずしも十分ではないということである。不純物間の相関を取入れて弱いピン止めの状況を考えると、このときも周波数に依存する伝導度は減衰振動子型になることは変りない。減衰の強弱が不純物ポテンシャルの強さや濃度にどのように依存するかが今後の検討課題である。

このようにして系の静的な性質がほぼ明らかになったので今後はピン止めのはずれるときダイナミクスを調べてゆきたい。このとき、不純物間の相互作用は重要な役割を果すはずであり、核生成-成長過程のようなものが関係してくるものと思われる。

27. 生物における電氣的散逸構造

九大・工 都 甲 潔 山 藤 馨

1. 序

車軸藻 (Chara, Nitella) は金魚藻によく似た淡水藻であり、その節間細胞は直径約 1 mm, 長さ 3~8 cm にも及ぶ巨大細胞である。細胞に光を照射すると、表面に沿って酸性とアルカ