橋爪夏樹

文献；

P. Glansdorff and I. Prigogine : Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations, *Wiley-Interscience,* 1971.

半導体の不安定現象

中大理工　黒　沢　達　美

半導体にある程度強い電場をかけると，時として種々の不安定性が発生する。その結果空間的な一様性が破れたり，ある種の発振（時間的な非一様性）がおこったりする。このような現象は10年ほど前から注意されるようになり，その当時の半導体分科会では半日程度もこの種の現象の発表で埋められ盛況を極めた。その後少くとも日本ではブームが去り下火になったが，本質的な意味での重要な問題がまだ残されているように思う。

この種の不安定性をひき起す原因としては，大きく分けて３つある。すなわち

(1)　いわゆる負性抵抗によるもの。

(2)　超音波（または phonon ）の増巾に起因するもの。

(3)　電子－正孔　プラズマの不安定性によるもの。

であるが，この研究会では主として(1)の負性抵抗に関連した不安定性について話しをした。

負性抵抗といわれるものの中でよく知られているのは，電流密度Ｊと電場Ｅとの間の関係が図１のようになっている場合で，それぞれＮ型負抵抗，Ｓ型負抵抗などと呼ばれている[1]。Ｎ型の場合には E_1と E_2の間で一様な電場分布の状態が不安定となり，例えば E_3に相当する電圧を試料に加えると，空間電荷が発生し電場 E_h に対応する高電場領域と E_l に対応する低電場領域とに分離する。すなわち長さ l の試料に $V = E_3 l$ の電圧を加えると，

$$V = E_h l_b + E_l (l - l_h) \tag{1}$$

を満すような長さ l_h の高電場領域と，$l-l_h$ の低電場領域に分離する。なお定常状態では

$$J(E_l)=J(E_h) \tag{2}$$

が成立っている。一方S型の場合には J_1 と J_2 の間で一様な電流分布の状態が不安定となり，例えば電流密度 J_h に相当するフィラメント状の高電流領域 J_l に対応する低電流領域とに分離する。

このような高電場領域又は高電流領域の出現は，ファン・デル・ワールス気体での液相の出現を連想させて理解し易いが，その存在は実験的にも確かめられている。特にN型の場合には実用的な重要性からもかなり多くの研究が行なわれている。しかしもう一歩つゝこんで，特に多少とも一般的な議論をしょうとすると，意外に難しく面倒な問題がやたらに出てくる。

例えばN型で高電場領域とに分離する時，(1)と(2)は満たさるべき必要条件ではあるが，これだけでは印加電圧Vの下での状態を定めることはできない。(1)と(2)を満す E_h，E_l，l_h の組は無数に可能である。Ridley[1]はエントロピー生成極小原理などというのを持ちこんで議論したが，その結論は現在では信じられていない。一方定常的な高電場領域が存在するとして，具体的な半ミクロ的モデルにもどずいて計算した例がいくつかあり[2]，それからどのような構造の高電領域が安定か，ある程度の議論ができる。しかしそのような計算によっても高電場領域がいくつ発生するかを定めることはできない（普通の実験条件では一つしか発生しないようである。）このような場合解はユニークではなく，初期条件とか一寸した熱揺動の影響で全く別の解がでてくるのかも知れない。

更にS型の場合，電流分布が一様でなくなる一般的な理由が余りはっきりしない。S型負抵抗を示す個々の具体的なメカニズムについて実際に調べて見ると，J_1 と J_2 の間が不安定になっていることを確めることはできる。そして多分例外はないと思われる。しかしこのよぅな目立った現象に対しては，もう少しはっきりした一般的議論ができてもよさそうに思う。

これら2種類の負性抵抗はどちらも電流と電場とが平行である場合に関するものであった。しかし例えば磁場の下でのようにそれらが互いに平行でない場合について，負性抵抗と不安定性の関係を調べて見ると，上のような普通に知られている不安定性の場合

とは，様子が大分違って来る。[3] もちろん電流と電場との間の角度を小さくして行くと，その極限として上のN型又はS型の不安定性につながる。

まず，N型とかS型の負性抵抗は，いわゆる非線形伝導現象の中でもどちらかといえば特異な現象である。稀なという程ではないにしても，ありふれた現象というわけにはいかない。これに対して電流と電場が平行でない場合には，ずっと容易に不安定性が生じ得る。特に強い磁場のため電流と電場との角度が直角に近いような場合には，ほんの僅かな非線形伝導が不安定の原因となり得る。ふつうのN型負抵抗の場合，実際に観測される電流－電圧特性は図２のｂのようになる。負性抵抗の部分では発振がおこり，図１のような形の曲線は得られない。これに対して強い磁場の下では図２のａのようになる。直線的なJ－V関係から，ほとんどこれといった前触れなしにいきなり発振が観測される。

漠然とした印象だが，この違いは次のようなことと関係しているように思われる。N型とかS型の場合には，問題をいわば１次元的に扱っていた。電流と電場とが平行でない時には，少くとも２次元的に扱かう必要がある。そして一般に自由度（あるいは関係する変数）の数が増え，かつそれらの間の結合が強い時には，より容易にそして drastic に不安定が生じ得るのではないかと思われる。例えば誘電体でソフト・モードが不安定化して強誘電体となるとき，変形を許さなければ２次の相転移という場合でも，変形を許すと変形と分極の相互作用のため１次の転移となったりする。そのようなことと似ているように思われる。又超音波増巾に伴う発振の場合も，図２ａのようになることが多い。この場合も，電流と音波という２つのモードが強く相互作用しているわけである。

次に，N型，S型どちらの場合も電流と電場との関係が１：１でなくなり，このことが２相分離といった現象に密接に関係していた（と思われる）。しかし今の場合（したがって一般的には），このことは必要条件ではない。すなわち **J** と **E** との関係が１：１であっても不安定が起り，ドメインが発生する。

更に，N型とかS型の場合，不安定な系は高電場領域とか高電流領域というドメイン構造を作ることによって一応安定化される。今の場合も条件によっては同じようなことになる。しかし又条件によっては，こういった安定化が不完全になる。例えば一応高電場領域と低電場領域に分離し定常的になるが，高電場領域の内部は依然として不安定条件の下にある，というような場合が起り得る。（これに反してN型の場合，図１での E_h の部分も

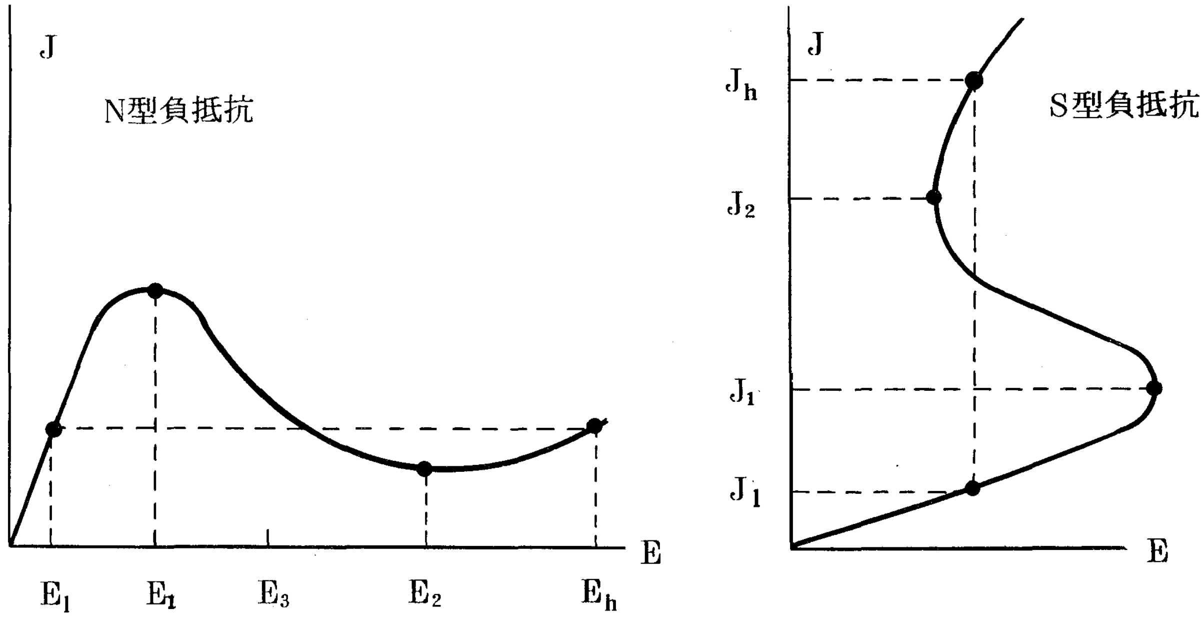


図　1

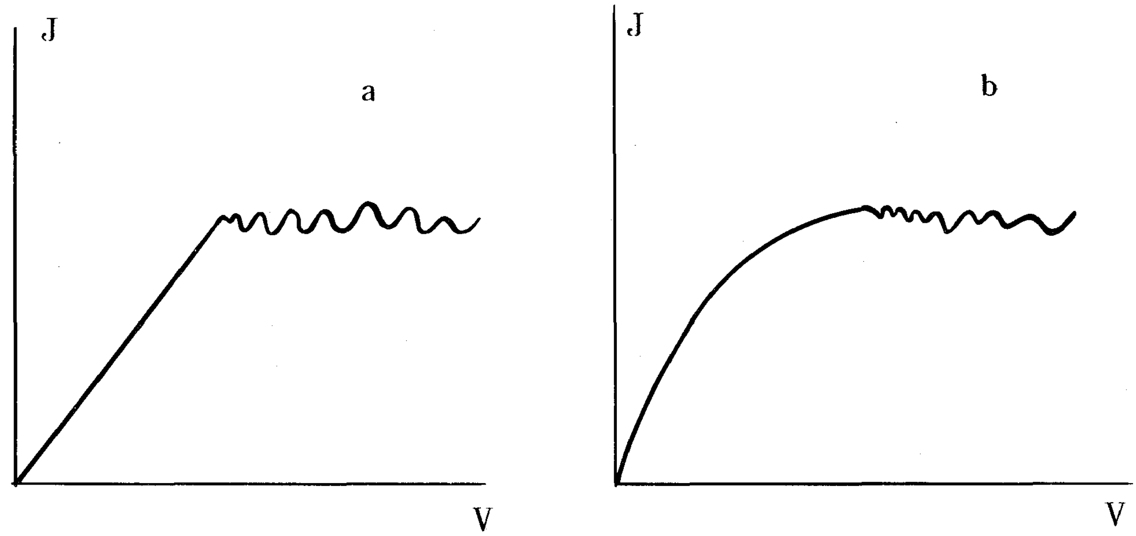


図　2

E_l の部分もともに安定である）このような場合どんなことが起るのか一寸見当がつかないが，多分乱流状の電流でも流れるのであろう。

このように半導体の不安定現象には多くの未解決の興味深い問題があり，そして半導体の特徴としてバラエティに富んだ現象と再現性のある実験が可能であるという点で，研究対象として価値があると思う。

黒沢達美

文献；

1) B. K. Ridley : Proc. Phys. Soc. 82 (1963) 954.

2) J. A. Copeland : J. appl. Phys. 37 (1966) 3602, H. D. Rees : J. Phys. C. 6 (1973) 262, D. Jones & H. D. Rees : J. Phys. C. 6 (1973) 1781.

3) T. Kurosawa, H. Maeda & H. Sugimoto : J. Phys. Soc. Japan 36 (1974) 491.

くり込み群による確率過程モデルの摂動論的考察

東大理　鈴木増雄，田中文彦

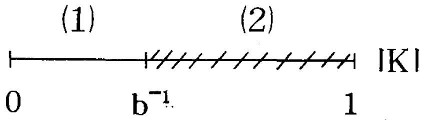
確率過程モデルに於ける臨界緩和現象は，くり込み群（RG）の操作の固定点に関してファイマングラフ展開を行うという方法[1]でHalperin達[2]により研究されたが，ここでは静的臨界現象の例にならって実際にRGの漸化式を作り動的固定点を求め臨界指数を決める最も簡単な摂動論的方法を提案する。まず次の（必ずしもマルコフ過程に限らぬ）一般の確率方程式から出発する。

$$\frac{\partial}{\partial t}P(t)=D_t\,P(t),\quad D_t=D\left(\psi_k,\ \frac{\partial}{\partial\psi_k},\ \int_0^t ds\cdots\right) \qquad (1)$$

$P(t)=P(\{\psi_k\},t)$は系が$\{\psi_k\}$という配位に見出される確率分布である。(1)の解は形式的に

$$P(t)=\left[\exp_{\rightarrow}\int_0^t D_{t'}\,dt'\right]P(o) \qquad (2)$$

と書けるがRGの操作を行うために波数空間を2領域に分割する（図1）



（図1）

RG操作は次の2段階にわけて行われる：

i）第一段階　　短波長領域(2)についてTraceをとる

$$P^{(1)}(t)=T_{r(2)}\left[\exp_{\rightarrow}\int_0^t D_s\,ds\right]P(o) \qquad (3)$$