の手がかりが得られた。

以上のことからレーザー光がコヒーレントになるためにはBose Condensation のおこることが重要な役割を果しているのではないかと考えられる。

《文 献》

1) Y. Isawa ; J. Phys. Soc. Japan 29 (1970) 1101

## 7. 負性抵抗発振の臨界点近傍における異常ゆらぎ

東工大・理 川久保 達之

最近レーザや負性抵抗発振の現象を固体における相転移の問題と関連させて議論することが行われている。この観点からレーザや負性抵抗体のような能動系におけるゆらぎの問題を考えてみるに，丁度強磁性体や強誘電体のキュリー点近傍における臨界点ゆらぎと同じように，発振の場合でもその臨界点近傍での系の不安定性に伴って，輻射あるいは電流のゆらぎが増大し，やがてそれがコヒーレントな発振へと集束していくものと考えることができよう。このような予想のもとに簡単な雛型としてトンネルダイオードを選び，

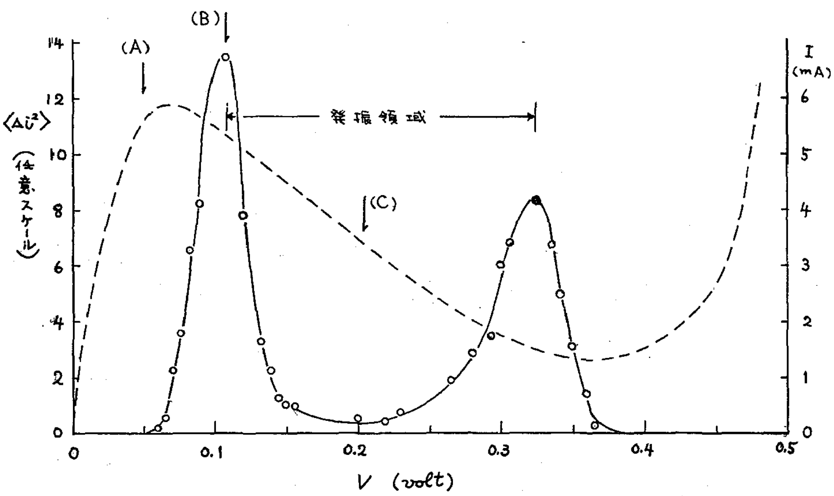


図1 トンネルダイオードのV－I 特性および電流ゆらぎ

その発振の臨界点付近を中心として電流ゆらぎを観測した。

周知のごとくトンネルダイオードは図１の点線で示すような電圧一電流特性を示し，微分抵抗が負になる領域で数 $\mathrm{MH_Z}$ 程度の発振が見られるが，このような特性をもつ素子に発生する雑音電流のうちの特定の周波数成分（$5\,\mathrm{KH_Z}$）を選び出し，バイアス電圧の関数としてプロットしたのが図１の実線である。これによると雑音の２乗平均は２つの臨界点の付近で異常に大きくなっている。またゆらぎの振幅の確率分布を調べるために，雑音を一定の間隔でサンプリングしたのち波高分析器にかけて得られた分布が図２である。（A）（B）（C）は図１中の（A）（B）（C）点での測定を意味し，それぞれ発振の臨界点以下，臨界点近傍，発振領域に対応する。これでみると臨界点以下では雑音はGauss 分布をとるが，臨界点近くでは分布が異常に広がり且つGauss 型からずれ，発振領域に入ると再び分布は狭まり

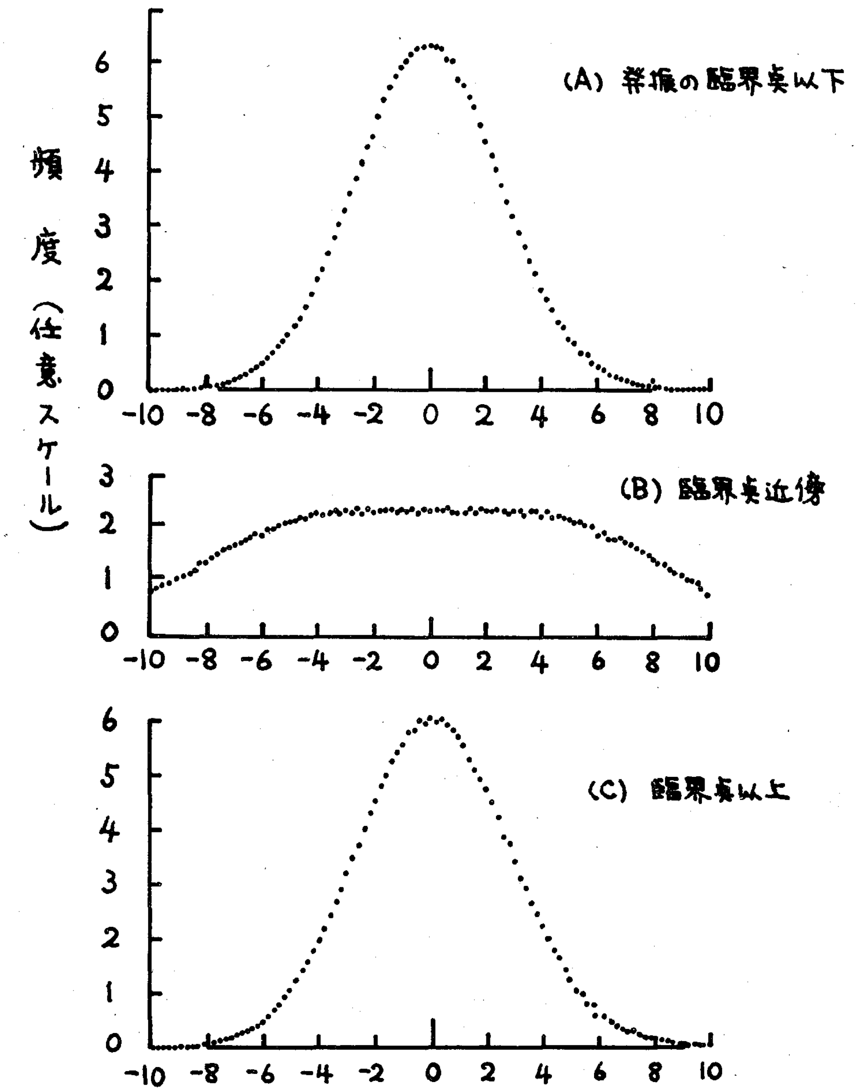

図２　電流ゆらぎ $\Delta i = i - \langle i \rangle$（任意スケール）

Gauss 型に戻ることが判る。

以上のような電流ゆらぎの挙動を図 3 に示すような負性抵抗体 r を含む簡単な回路のモデルによって考えてみよう。L をインダクタンス，R を正の外部抵抗，e（t）をランダムなゆらぎ電圧とすると，電流ゆらぎ i に関する方程式は

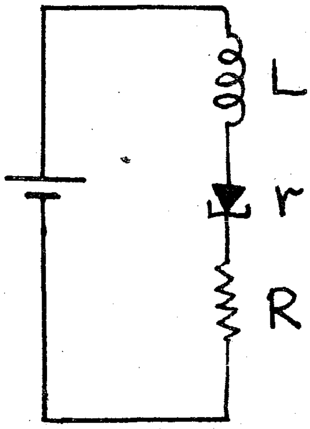

図　3

$$L\frac{di}{dt} + (R+r)\,i = e(t) \qquad (1)$$

で与えられる。ここで

$$r = -r_0 + k\,i^2 \qquad (2)$$

とおく。（2）の第 1 項 $-r_0$ はバイアス電圧によって正になったり負になったりする量であり，第 2 項は電流ゆらぎがどこまでも大きくなる筈はなく，大きな振幅に対しては r が正になるという事情を考慮した項である。（2）を（1）に入れ，

$$\frac{r_0 - R}{L} = \alpha\,, \qquad \sqrt{\frac{k}{L}}\,i = x\,, \qquad \sqrt{\frac{k}{L}}\,\frac{e(t)}{L} = f(t) \qquad (3)$$

の変換をすれば van der Pol 型の方程式

$$\frac{dx}{dt} = (\alpha - x^2)\,x + f(t) \qquad (4)$$

が得られる。この方程式から確率変数 x が時刻 t において値 x をとる確率密度 P(x, t) に関する Fokker－Planck 方程式を導くと，

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}\left[(\alpha - x^2)\,x\,P\right] + D\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \qquad (5)$$

の形で与えられる。ここで D は確率密度の拡散係数で

$$2D\,\delta(t-t') = \langle f(t)\,f(t')\rangle \qquad (6)$$

である。（5）の定常解は

$$P = P_0 \exp\left[\frac{\alpha}{2D}x^2 - \frac{1}{4D}x^4\right] \qquad (7)$$

となり，臨界点以下の $\alpha<0$ の場合分布は $<x>=0$ を中心として比較的鋭いが，$\alpha=0$ の臨界点付近では分布の幅は拡がり且つ $x^4$ の項のみになるので Gauss 分布からずれ，さらに $\alpha>0$ では分布のピークは $<x>\neq 0$ の点へ移り，これは発振を現わしていると考えてよい。分布の様子を D＝1 の場合について描くと図4のようになる。

このモデルは発振周波数での雑音分布を説明するものであって，前述の実験のような発振周波数と異なる周波数の電流ゆらぎに対してはそのまま適用はできないが，少くとも臨界点付近で雑音が異常に大きくなり，その分布が Gauss 分布からずれるという事実は説明していると思われる。これは丁度格子振動の波数 $k=\dfrac{\pi}{2a}$ で不安定性が生ずる反強誘電体を k＝0 で観測していても，

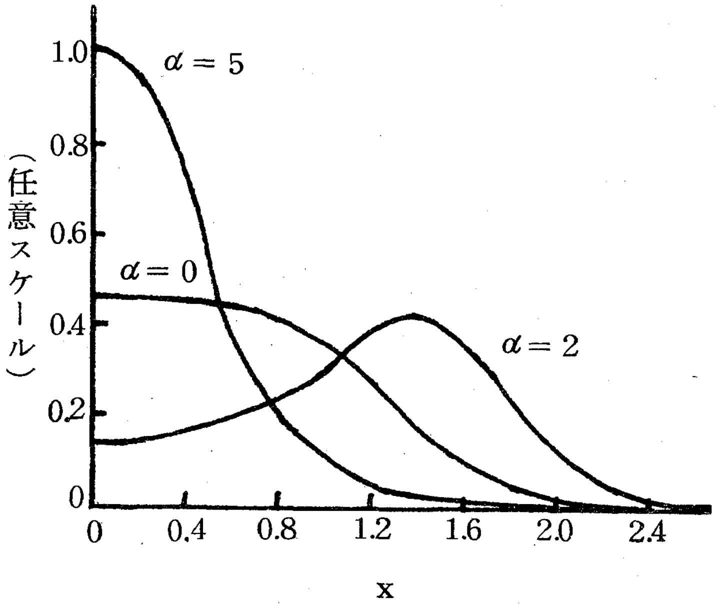

図 4

キュリー点で誘電率のピークが観測されるのと似ている。なお，発振を考えるときゆらぎの振幅の平均値が0でなくなることとコヒーレント即ち位相が揃うことは別のことであり（現実には同時に起るが,），臨界点雑音は前者に付随する現象と考えるべきであろう。