

Title	超伝導体薄膜のvortex-flux-flowと雑音
Author(s)	白藤, 純嗣
Citation	大阪大学低温センターだより. 59 P.7-P.9
Issue Date	1987-07
Text Version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/4955">http://hdl.handle.net/11094/4955</a>
DOI	
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# 超伝導体薄膜の vortex-flux-flow と雑音

工学部 白藤純嗣 (吹田4567)

広辞苑によると「雑音」とは①さわがしい音、不快な感じを起こさせる音。②電信・ラジオなどの聴取を妨げる音。さらに一般化して、電気通信回路または機器において、信号の邪魔になる電氣的擾乱。と定義されている。さわがしくなくても、不快感がなくても聞きたくない音は当人にとっても雑音であろうから、望みの情報以外のものはすべて雑音であるといつて良いであろう。

しかし、理学における雑音はコヒーレンスからのずれ、ランダムな揺らぎに起因した幅広いスペクトルを持った擾乱から発生する。擾乱の原因は雑音スペクトルに反映されているから、雑音スペクトルの解析は擾乱の発生原因を解明する手懸りを与える。ひいては材料の改良、デバイスの改善にも結びつく。

第2種超伝導体を  $H_{c1}$  と  $H_{c2}$  の間の磁場中に置くと量子化された磁束 (渦糸) の侵入が起こり、混合状態が形成される。電流を流すとローレンツ力を受けて渦糸 (vortex) は電流と磁束の両方に垂直な方向に流れる (図1)。ローレンツ力と超伝導体の粘性抵抗と釣り合う定常状態では渦糸の流れ (vortex flow) は定速となる。渦糸を一本一本明確に区別できず、束になってながれていると考えた方がよい時には渦糸束 (vortex flux flow) となる。

今、 $N$ 本の渦糸 (磁束  $\Phi_0$ ) が速さ  $v$  で、時間  $\tau$  かけて試料 (幅:  $W$ ) を横切ると、試料両端には幅  $\tau$  の電圧パルス  $V_{dc}$  が誘起される。

$$V_{dc} = \frac{N\Phi_0}{\tau} = \frac{N\Phi_0}{W/v}$$

渦糸束が試料の一端から侵入して他端で消滅する過程が周期的に繰返えされると、誘起電圧はコヒーレントで雑音は現われない。しかし、渦糸の侵入は活性化過程であるから、侵入の時期はランダムに揺れ動き、試料両端の誘起電圧パルスの間隔の揺らぎが雑音として現れる。類似の雑音は真空管のショット雑音である。熱陰極から真空中に飛び出した熱電子が陽極に向かって飛行した時に発生する電流パルスの間隔の揺らぎに起因している。従って、渦糸の侵入時間揺らぎによる雑音電力スペクトル  $W(f)$  は

$$W(f) = 2\Phi_0 V_{dc} \left| \frac{\sin(\pi f \tau_c)}{\pi f \tau_c} \right|^2 \quad (1)$$

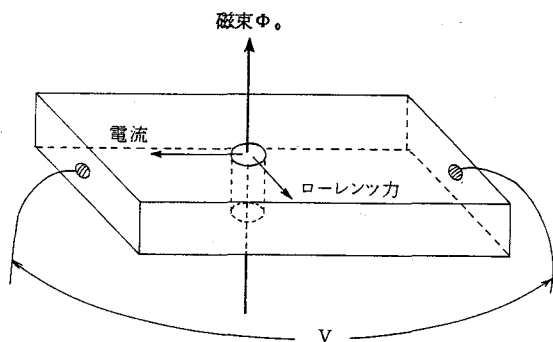


図1 混合状態にある第2種超伝導体の電流印加によって生じる vortex flow。見やすくするために vortex (渦糸) は1本だけを示してある。

で与えられる。ただし、 $\Phi$ は1つの電圧パルス ( $V_{dc}$ ) を誘起するvortex flux の全磁束 ( $N\Phi_0$ )、 $\tau_0$ は走行時間 $W/v$ である。式(1)はいわばintrinsic な雑音スペクトルで、 $f\tau_0$ が整数となる毎に節を持つ。

しかし、現実はいずれだけでは済まない。実際の超伝導体中には無数といって良い位多数のピン止め中心がある。結晶粒界やそこに析出した不純物がその原因であるから、以下で取り扱おうとしているニオブ薄膜も例外ではない。ピン止め中心は渦糸を止めたり、速度やその方向を変えたりする。しかし、一方このピン止めの中心こそが第二種超伝導体の臨界電流密度を $10^5 \text{ A/cm}^2$ 以上の大きい値にしている張本人である。

ローレンツ力がピン止め力より大きくなると渦糸は運動しはじめるが、ピン止め中心の影響の受け方によって種々の形の電圧雑音を生じ得る。ピン止め力は分布を持っているから、或る時にはピン止めされている時間が揺らぎ、或る時には流れの速さが変動する。また或る時には渦糸束を構成している渦糸の数が変化する。またピン止めの分布はランダムであるから、ピン止めの中心間の距離が分布していることによる渦糸の走行時間の揺らぎもある。これらは誘起電圧パルスの高さ、幅、間隔の揺らぎとして現れるが、すべてをきっちり取り扱うことは至難である。そこで色んな仮定の導入が必要となる。

例えば、ピン止め時間が無視できる位に短ければ、無限小時間のピン止めにより幅 $\tau_0$ の電圧パルスは色んな幅のサブパルスに分割される。サブパルスの幅 ( $\tau_i$ ) の分布を $g(\tau_i)$ と書くと、雑音スペクトルは式(1)を少しいじって

$$W(f) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} g(\tau_i) \cdot 2\Phi V_{dc} \left[ \frac{\sin(\pi f \tau_i)}{\pi f \tau_i} \right]^2 d\tau_i \quad (2)$$

となる。分布関数 $g(\tau_i)$ の形が予めわかっていない上に、 $g(\tau_i)$ の形が少々変わっても雑音スペクトルには大きな違いが現れないので、実験結果との対比から分布関数 $g(\tau_i)$ を決定するのは誤差が余りにも大きすぎる。

仕方ないから、 $\tau_1$ から $\tau_2$ の範囲でサブパルスの幅が一様に分布している [ $g(\tau_i) = \text{一定}$ ] と仮定することにする。 $\tau_1 = 0, \tau_2 = \tau_0$ とすると式(2)は高周波領域で $f^{-1}$ 依存性を示す。一方、すべての渦糸が有限回ピン止めされると考え、 $\tau_1, \tau_2$ を適当に選ぶと、雑音スペクトルは高周波域で $f^{-2}$ 依存性を持つ。これ以上複雑な状況を想定しても計算がやっかいになるばかりで物理的な本質を見失うこともあり得るので、次に実験の方を見てみよう。

高周波スパッタ法で単結晶シリコン基板上に堆積したニオブ薄膜 (厚さ500~1500Å) をフォトリソグラフィと反応性イオンエッチングによりマイクロブリッ

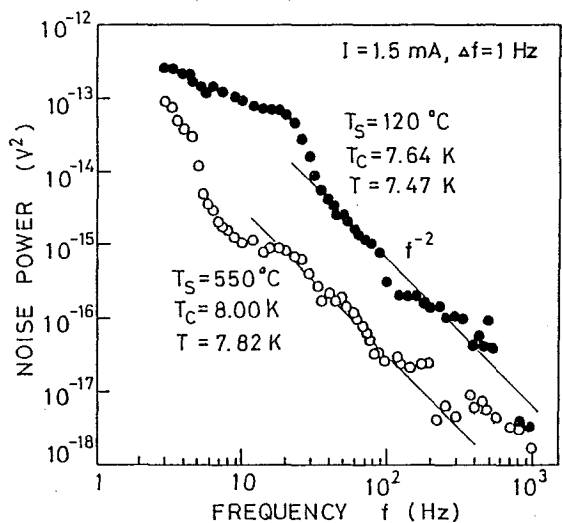


図2 基板温度の異なる試料の雑音電力スペクトル

ジ (ブリッジ部寸法  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ ) に成形する。ニオブ薄膜は微細な結晶粒の集合から成る多結晶であるが、微結晶粒径は基板温度  $120^\circ\text{C}$  の時、約  $160 \text{ \AA}$ 、 $550^\circ\text{C}$  の時、約  $310 \text{ \AA}$  である。

$T_c$  以下の温度でマイクロブリッジに直流電流を流すと、或る臨界値を超した時自己磁場により混合状態に入り、渦糸束の流れによる直流電圧が発生する。<sup>2)</sup> この直流電圧に重畳している雑音のスペクトルを測定する。図2は異なる基板温度が低い程、微結晶粒径が小さく、ガス不純物の取り込みも大きいので雑音電力

も大きくなっている。測定時の直流電流を増すと雑音は小さくなり、また測定温度を高くしても雑音は減る。これら2つの現象は渦糸のピン止め効果の減少として理解できる。

理論との一致はどうか。図3はその一例を示す。雑音電力スペクトルに節は見られず、ピン止め効果を考慮していない式(1)には合わないことは明らかである。また  $\tau_1 = 0$ 、 $\tau_2 = \tau_c$  とした時  $[W(f) \propto f^{-1}]$  とも合わない。測定点が  $f^{-2}$  特性を持っていることはすべての渦糸が有限回ピン止めされていることを示唆している。パラメータ  $\tau_1$ 、 $\tau_2$  の値が定量的に妥当であるかどうかは、これから検討してみなければならない。しかし、以上の結果は混合状態での渦糸の運動に対してピン止め効果が支配的であることを明確に示している。

雑音スペクトルの原因をよりはっきりさせるために、単結晶薄膜ではどうなのか、中性子照射等により格子欠陥を導入したらどうなるのか、などまだまだ面白そうな問題が残っている。

#### 参 考 文 献

- 1) J.R.Clem : Phys.Rep.(Review Section of Phys. Lett.) 75 (1981) 1.
- 2) J.Shirafuji, S.Matui, H.Hida, K.Kasai and Y.Inuishi : Jpn.J.Appl.Phys. 19 (1980) 2115.

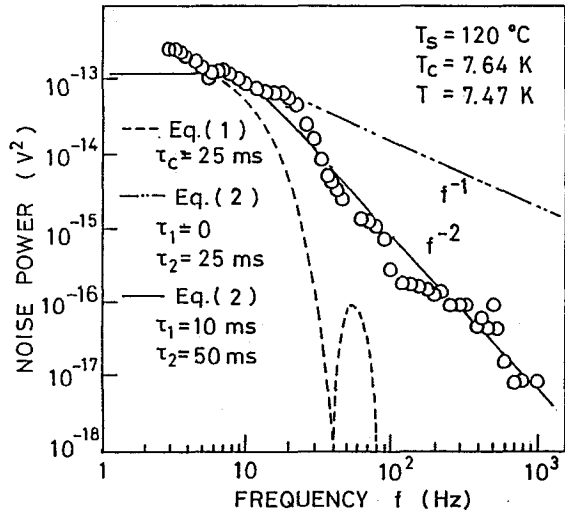


図3 雑音電力スペクトルの実験と計算との比較