

35 GHz 帯 SQUID の試作

三 木 幸 信

SQUID (Superconducting QUantum Interference Device, 超伝導量子干渉計) は, 超伝導における磁束量子化と, Josephson 効果を利用した, 高感度磁束計である。信号検出の為に, SQUID では普通 10 MHz 程度の交流電流が使われており, この周波数を動作周波数と呼ぶ。我々の試作した 35 GHz 帯 SQUID とは, 動作周波数が 35 GHz 帯のマイクロ波領域にあるもので動作周波数をこれだけ高くするには, 次のような理由がある。

1) 信号が動作交流電流に振動変調として乗っているので, 周波数の高い信号が得られる。このことは, 速い磁場変化を検出できることを意味する。

2) 信号出力が, 動作周波数に比例しているので, 大きな出力が得られる。

マイクロ波領域に動作周波数を持つ SQUID は, 最初に米国 NBS の Kamper らによって開発された。¹⁾ 彼らの SQUID は 10 GHz 帯に動作周波数を持ち, 微弱な単色 rf 電流の電力測定を目的としていた。筆者の属する研究室でも, 広帯域高速磁場変化測定の目的で, 彼らのと少しシステムの異なる 10 GHz 帯 SQUID が試作されている。²⁾ 本研究

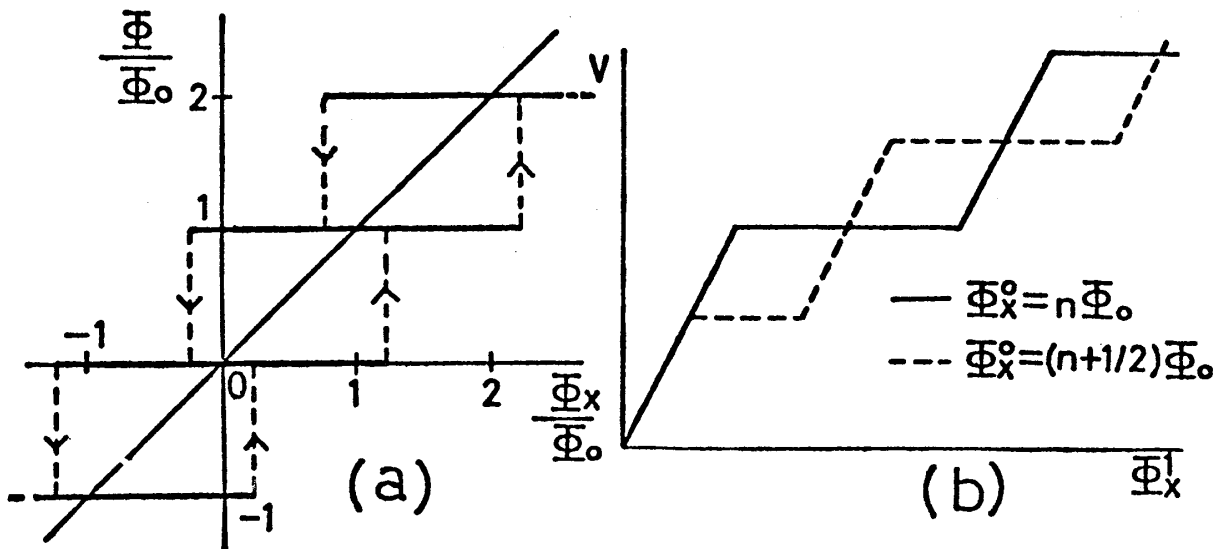


図 1.

の目的は、その動作周波数をさらに 35 GHz 帯まで高めた SQUID を試作し、その特性について調べることにあった。

動作原理

Josephson 接合を含む、超伝導体で出来たリングを考える。Josephson 接合はある値 I_c までは超伝導電流が流れるが、それを超えると常伝導に戻るという風にモデル化して考える。すると、外部からリングに加えた磁束 Φ_x と実際にリングを貫いている磁束 Φ は、リングを流れる超伝導電流を I 、リングのインダクタンスを L として $\Phi = \Phi_x - LI$ で

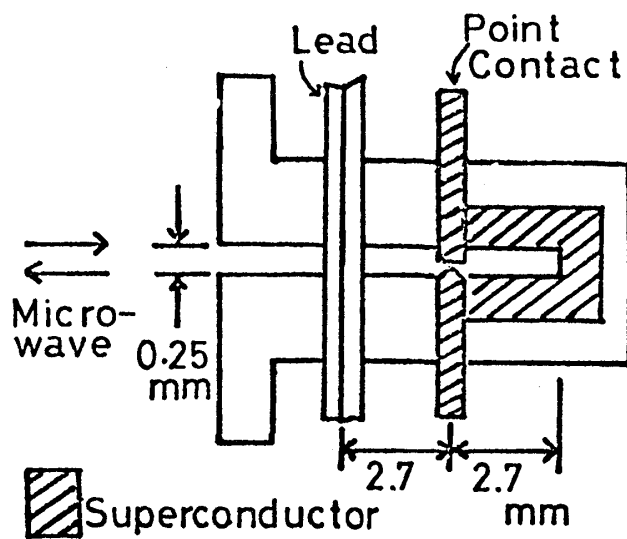


図 2.

BLOCK DIAGRAM

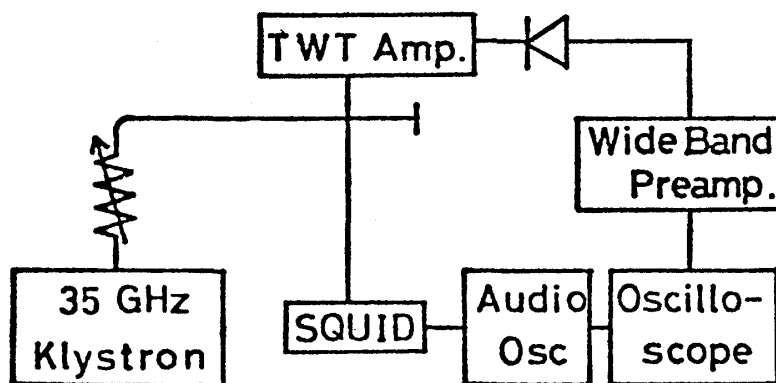


図 3.

与えられるから I_c を適当にとると、 $\Phi_x - \Phi$ の関係は図 1(a) の様になりヒステレシスを生じる。 Φ_0 は磁束量子で、 $\Phi_0 = \frac{h}{2e} = 2.07 \times 10^{-15} \text{ Wb}$ の値を持つ。このリングに、外部から共振回路を通じて $\Phi'_x \sin \omega t + \Phi_x^0$ という磁束を加える。 $\frac{\omega}{2\pi}$ が動作周波数で、 Φ_x^0 が測定される磁束である。この時、共振回路の検波された電圧 V は、 Φ'_x に対し図 1(b) の様に与えられ、 Φ'_x を一定にしておくと、 V は Φ_x^0 が Φ_0 だけ変化する毎に、三角波を描く。この三角波を Quantum modulation pattern (Qパターン) と呼び、三角波を数えることにより、 Φ_0 を単位として磁束の変化を計測できる。しかし、動作周波数が数 GHz 以上になると、コンピューターシミュレーション結果では、図 1(a) のリングの特性が変化し、SQUID は有効に働くが、特性が少し変わり、図 1(b) の階段状図形も変形すると言われてきた。³⁾ しかし、この周波数域での実験はほとんどなく、我々の試作した SQUID は、この領域にあると考えられる。

実験装置

我々が試作した 35 GHz 帯 SQUID の超伝導リングの部分を図 2. に示す。リング内面は、幅 0.25 mm、長さ 7.1 mm、奥行き 8.1 mm のスリットになっている。超伝導体はバビットという鉛の合金である。Nb-Ti の針の接点は、クライオスタット外部から、ギアボックスを通じて、 $2 \mu\text{m}$ 以下の精度で微調節できる。測定すべき磁場は、リード線に、低周波正弦波電流を流すことによって作られる。

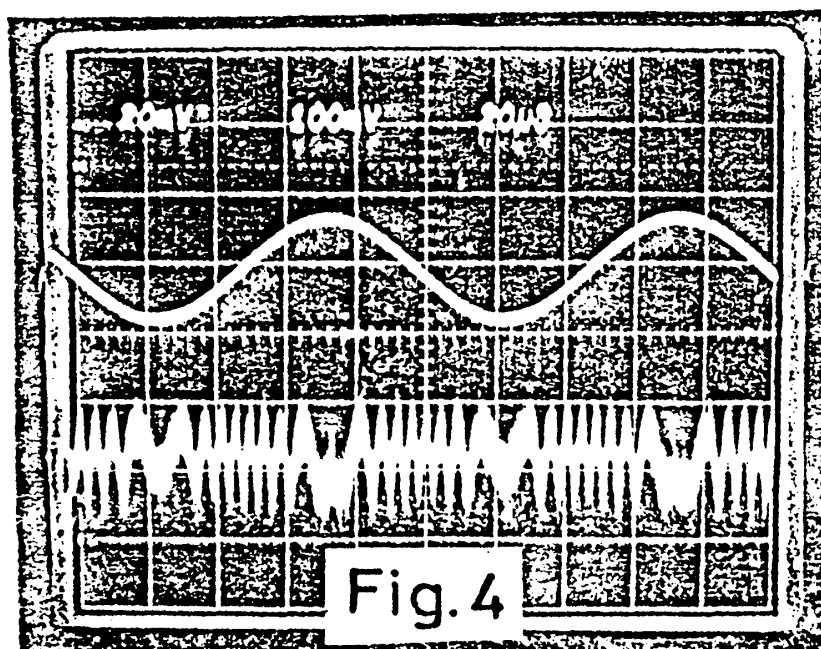


図3が全体のブロックダイアグラムである。35GHzクライストロンで発生したマイクロ波は、減衰器、方向性結合器を通り、 10^{-9} W程度となって、超伝導リングに入射する。Qパターンを変調成分として含む反射波は、TWT増幅器で40dB増幅され、クリスタル検波器で検波される。得られたQパターンは、リード線に流した電流と共にオシロスコープで観察される。

結 果

得られたQパターンの例を、図4に示す。上のリード線に流した電流は0.5mA_{p-p}である。下の三角波がそれに対するQパターンで、今の場合、電流はQパターン1山当たり60 μ A流れていることになる。この値と、リングに入射しているマイクロ波の電力は、電磁気学的に計算した値と、ほぼ一致する。又Qパターンのパワーは、 2×10^{-10} Wで、10GHz帯SQUIDに比べて約4倍ほど大きい。動作周波数が高いことの効果は、図1(b)の階段状図形が変形することに現われてくるが、それは、階段状図形を直接見るにより確かめられた。従って、動作周波数が十分高い時でも、SQUIDは有効に働くことが分った。しかし、Qパターンの周波数は、1MHzまでのものしか得られず、これは、10GHz帯SQUIDよりも劣っている。この原因としては、35GHz帯マイクロ波回路のS/N比が、10GHz帯のものに比べて悪いことが、大きな要素になっていると考えている。

参 考 文 献

- 1) R. A. Kamper and M. B. Simmonds: Appl. Phys. Lett. 20 (1972) 270.
- 2) H. Takayanagi and T. Masumi: Jpn. J. Appl. Phys. 17 (1978) 1117.
- 3) R. A. Buhrman and L. D. Jackel: IEEE Trans. Mgn. MAG-13 (1977) 879.

紫外光電子分光法による固体の電子状態の研究

高 橋 隆

1. 序. 紫外光電子分光法(UPS)を用いて、興味あるいくつかの固体について、光電子スペクトルとその変化を測定し、電子状態の解析を行なった。