



Title	ジョセフソン接合によるミリ波・サブミリ波の超高感度検波
Author(s)	藤澤, 和男; フジサワ, カズオ
Citation	大阪大学低温センターだより. 1979, 26, p. 10-12
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/6077
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

ジョセフソン接合によるミリ波・サブミリ波の 超高感度検波

基礎工 藤澤和男 (豊中 2308)

最近、電波天文やプラズマ計測などでミリ波・サブミリ波の超高感度受信の必要性が高まり、これに応えるものとしてジョセフソン接合が俄かに注目を浴びて来た。ジョセフソン効果というのは、1962年に英国キャベンディッシュ研究所の若い大学院学生であったB. D. Josephson が理論的に予言したもので⁽¹⁾(1974年度ノーベル賞)、要約すると次の二つの事柄である。

i) 二つの超伝導体の接合を作ると、電位差0でも I_c (これは接合により定まる)を最大値とする直流超伝導流が流れる。

ii) 接合に直流電圧 V_0 を加えると、振幅が I_c で周波数が $f_0 = 2eV_0/h$ (1 mVが483.6 GHzに対応)の交流の超伝導電流が流れ、同時に V_0/R (R は接合抵抗)の常電流が流れる。

このジョセフソン効果は極めて高速かつ微弱な変化に应答できるので、高速の電算機素子やサブミリ波の検波に極めて適している。ジョセフソン接合は強い非線形性を持っているから、外部から周波数 f の電磁波を照射した場合、上記の自己発振周波数 f_0 と高次の周波数通倍混合が起り、 $f_0 = nf$ あるいは $2eV_0/h = nf$ (n は整数)を満足するバイアス電圧の所で直流成分を生じ、 $V-I$ 特性上にいわゆる定電圧ステップを生ずる。図1(表紙の図)には我々の研究室で試作したNbのポイントコンタクトに100 GHzのミリ波を照射した時の $V-I$ 特性を示す。⁽²⁾ 照射電力の増大と共に、零電圧ステップが減少し、高次ステップが増えて行く様子が良く分る。

このようなジョセフソン接合の強い非線形性を利用して、高次の周波数通倍混合が比較的効率よく出来ることが非常に特長である。このことは、局発源の得難いサブミリ波のヘテロダイン検波に対して、マイクロ波あるいはミリ波の局発源を用い得るという点で非常に好都合である。実際にこの通倍混合ヘテロダイン検波により、サブミリ波レーザと標準マイクロ波とが周波数混合され、 H_2O レーザ($f = 3.82$ THz)やHCNレーザ($f = 89.1$ GHz)の周波数が精密に測定されている。

我々はむしろサブミリ波の超高感度検波を目指して研究を進めているが、今回はその手始めとしてミリ波帯で周波数通倍混合の実験を行った。すなわち、10 GHzの局発源を用い、70 GHz波の7通倍周波数混合およ

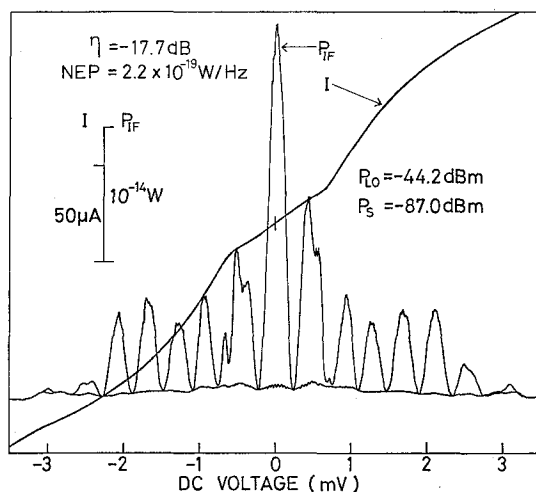


図2. 100 GHz 波の 10 通倍周波数混合
ヘテロダイン検波の $I-V$ 出力特性

び100 GHz波の10 通倍周波数混合の実験を行なった。図2に100 GHz波の通倍混合ヘテロダイ
ン検波のIF出力特性を示す。⁽²⁾局発電力 P_{LO} は0.1 μW よりも小さくて済み、雑音と区別して検出
できる最小電力を示す雑音等価電力NEPの値は $2.2 \times 10^{-19} \text{ W/Hz}$ と極めて小さい値を持っている。
変換効率 $\eta = P_{IF}/P_S$ は-17.7 dBと10 通倍混合としては非常に良い値を示している。70 GHz
波の7 通倍混合の場合には $\eta = -11 \text{ dB}$ が得られており、NEPは上記とほぼ同じ値であった。⁽³⁾
これらの数値は、ショットキーダイオードを用いる同様な実験の場合と比べて2桁以上良い値を示して
いる。

さて、サブミリ波の高感度検波を実現するには何といても良い素子を作らねばならない。現在の所
電磁波との結合やrfヒータリングの諸点から総合的に考えて、サブミリ波に対してはNbのポイント
コンタクトが一番良いとされている。今までポイントコンタクトは安定性の点に不安が持たれていたが、
最近のハーバード大学での研究成果はポイントコンタクトへの信頼を大いに高めたと言えよう。⁽⁴⁾我々
の所でも最近仲間良いNbのポイントコンタクトが作れるようになったので、その特性の一例を図3に
紹介する。⁽²⁾良いポイントコンタクトの条件
として、i) $RI_c \geq 2 \text{ mV}$, ii) エネルギ
ーギャップ $2\Delta \simeq 3 \text{ meV}$ 附近でのV-I特
性の傾斜の変化 $S = R/r \geq 2$ が結論され
ているが、⁽⁴⁾ 図3に示すものはこの条件を十
分満足しているからサブミリ波まで十分応答
可能である。

ジョセフソン接合の最高応答周波数がどの
辺にあるかという問題は大変興味ある問題で
ある。実験的には17 mV まで定電圧ステッ
プを観測した記録がある。⁽⁵⁾ これは7.2 THz
の周波数に対応している。物理的に考えて最
高応答周波数に関係ありそうな量として次の
三つが考えられる：リーデル周波数 $f_R = 2$
 Δ/h , 特性周波数 $f_c = 2 eRI_c/h$, デバ

イ周波数 f_D 。 f_R は超伝導電子対をこわすに十分なエネルギーを持つフォトンの周波数で、確かに超伝
導空洞は $f > f_R$ に対して普通の空洞になってしまう。 f_c は検波理論から導かれる周波数で、 $f > f_c$
に対して検波出力が急速に落ち込むことが示されている。トンネル接合に対して理論的に $RI_c = \pi\Delta/$
 $2e$ が与えられているので、⁽⁶⁾ $f_c = \pi\Delta/h$ である。 f_D は格子振動の周波数で、超伝導電子対が格子フ
ォノンを媒介として生成されていることを考えると本質的に関係ありそうである。さてNbに対して、
 $f_R = 720 \text{ GHz}$, $f_c = 1.14 \text{ THz}$, $f_D = 5.85 \text{ THz}$ であるから、いずれも上記の観測値よりは低
い。この事はどのように考えたらよいのであろうか。また、小さい事かも知れないが、 RI_c の理論値
2.2 mVに対し、図3の場合のようにこの値を超えるものがしばしば見出されるのはどのように説明され
るのであろうか。ジョセフソン接合は応用面でも基礎事項でもまだまだ研究の余地を多分に残している
夢多い分野と言えよう。

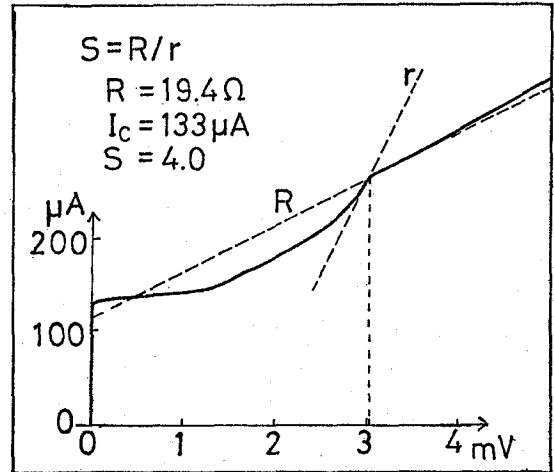


図3. サブミリ波まで使用可能なNbポイントコンタクトのV-I特性

文 献

- (1) B. D. Josephson, Phys. Lett., **1**, 251 (1962).
- (2) 廣崎, 修士論文 (1979).
廣崎, 喜多, 藤澤, 26回応物連合講演会 (1979).
- (3) 藤家, 藤廣, 信学技報, **78**, 231 (1979).

低 温 研 究 会

第25回目の低温研究会を下記の通り開催した。今回は超電導工学を主題として、東西からこの分野での最高権威である日本大学の安河内教授、九州大学の入江教授を招き講演会を開催した。講演題目と内容は次の通り。

開催日時 54年2月8日(木) 午後3時～5時

開催場所 工学部電気系 E3-112会議室

講 演 1. 超電導材料の基礎的諸問題

九州大学工学部 入 江 富士男 氏

2. 超電導工学研究の現況について

日本大学理工学部 安河内 昂 氏

入江教授は第2種超電導体のピン止め力, その他の損失機構について, 九大の研究を基にして詳しい説明をされた。特に最近の交流損失の研究にも触れられ, 非常に興味ある話をされた。

続いて安河内教授は現在国際協力の形ですすめられている核融合炉のための大型コイル計画(LCP)を中心に超電導の大型応用について豊富な資料を使ってわかりやすく説明された。

当日の出席者は多方面の分野の人を集めて31名の出席があり, 活発な会となった。