

ミリ波分光用ジョセフソン・ミキサー Josephson Mixer for Millimeter Wave Spectroscopy

松井 敏明 林 理三雄
Toshiaki Matsui, Risao Hayashi

電波研究所
Radio Research Laboratories

1. はじめに

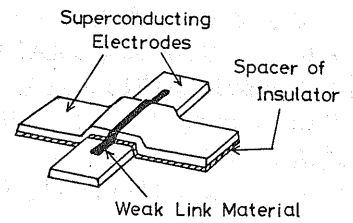
100 GHz以上のミリ波に対する超高感度検出器を実現するためにジョセフソン接合素子を用いた超伝導ミキサーの研究を進めている。点接触型ジョセフソン接合素子により電磁波検出器として優れた特性が得られることが知られている。しかし、点接触型接合は、構造上不安定であり再現性や信頼性の面で問題があることから薄膜化した寄生容量の小さい高周波特性の優れた接合の開発が重要な問題であった。

電波研では、直列アレー型ジョセフソン接合素子を理化学研究所と共同で開発し、110 GHz帯でのミキシング実験を行って来た結果、非常に有望な新しいミキシングメカニズムが見出された。ここでは、その新現象と、ミリ波分光用超高感度ミキサーへの応用の可能性について述べる。

2. 直列接続ニオブ薄膜ジョセフソン接合

実験に用いた準平面型ジョセフソン接合の直列アレーは、石英基板上に安定なニオブ薄膜でできており、図1の模式図に示される様な基本単位の接合素子が直列に連なった構造をしている。上下のニオブ電極を結ぶ弱結合部は、厚さ130Åのニオブ薄膜でできており電子ビーム抽画の後、ドライエッチングにより成形された。図2に示される様に、11個直列の素子は、110GHz帯用のRFチョークと一体化されている。

電圧電流特性を図3に示す。114.6 GHzの照射に対し、I-V特性は敏感に反応し $V = 11 (h\omega/2e) \approx 2.6 \text{ mV}$ および $4 (3h\omega/2e) \approx 2.83 \text{ mV}$ のところに、はっきりとした定電圧電流ステップが観測された。前者は単一素子の場合の11倍の電圧位置に対応し、11個がコヒーレントに動作していることを暗示する。また、後者は、特に強く現れており超伝導ギャップ・エネルギー 2Δ に極めて正確に同調された条件下で、対電子トンネルと準粒子励起の間の



Quasi-Planar Josephson Junctions

図1. 準平面型ジョセフソン素子

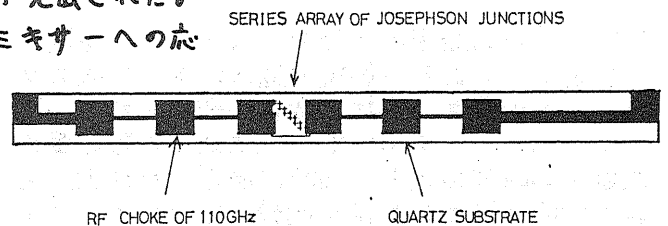


図2. 115 GHz ミキサー用素子

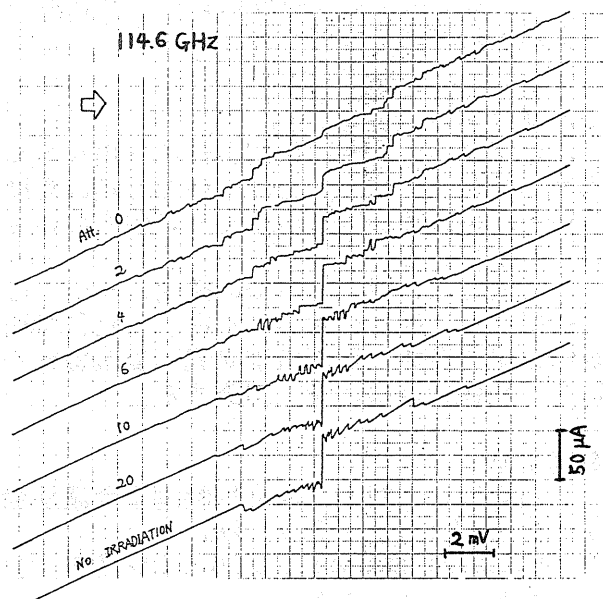


図3. I-V 特性 (114.6 GHz 照射, 電圧源バリス)

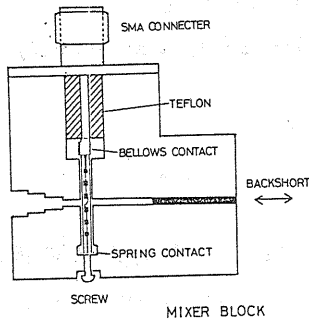


図4. ミキサー用素子マウント

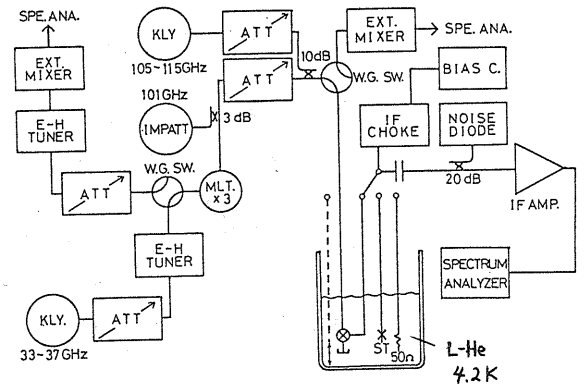


図5. ミキサー実験ブロック図

共鳴現象が表れていると考えられる。

3. ミキシング実験

ミキサー用素子(図2)は、図4に示す様にWR-10の導波管を1/4に減じた導波管中に直列アレー部分が固定される様にマウントされた。

図5は、110 GHz帯ミキシング実験のブロック図である。図6は、ミキシング実験の際のIF出力の例であり、7.5 mV付近に大きなビート出力が観測された。この測定には、ジョセフソン接合素子の測定に通常使われる電流源バイアスを用いた。

バイアス電圧 7.5, 3.1 & 2.8 mV 付近に小さなヒステリシスが見られ、鋭い非線形の存在が確認された。ミキシングの実験条件を改良するため、低雑音の直流電圧源を用い同じ素子についてI-V特性を測定した結果が図7である。この結果は、電流源で測定された小さなヒステリシスが、はっきりとした負性抵抗領域であり、7.5 mV付近のビート出力は、その非線形に対応していることを示している。

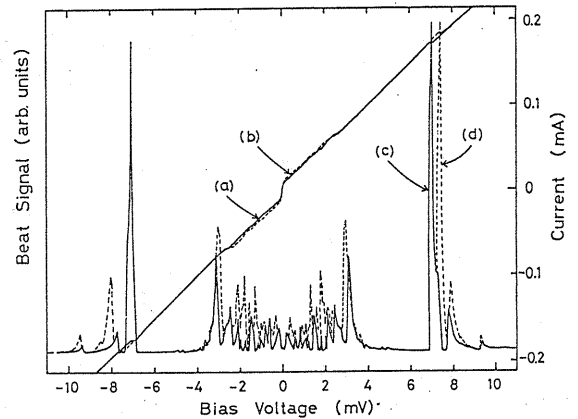


図6. IF出力バイアス電圧 (電流源バイアス法による測定)

4. まとめ

鋭い負性抵抗の現れる位置は、超伝導材料のエネルギーギャップ 2Δ と直列数 N で決まることが確認されており、負性抵抗を利用したミリ波増幅機能をもつ、超低雑音ミキサー実現の可能性が有る。機械的に安定で、室温と液体ヘリウム温度の数十回の熱サイクルにも変化は見られず極めて扱い易い素子である。最適化を計る上で重要な設計性にも優れており、今後のミキサー研究に非常に有利である。

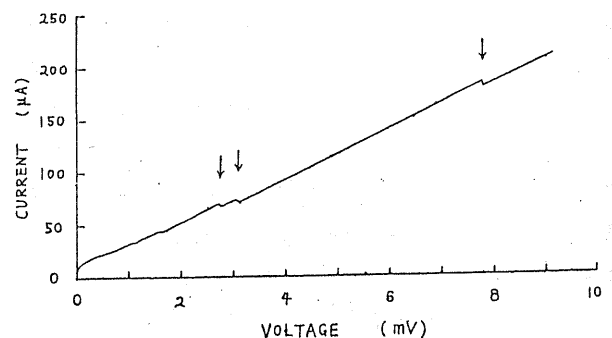


図7. 電圧電流特性に表れた負性抵抗 (電圧源バイアス法による測定)