



Title	ジョセフソン接合におけるサブミリ波域の高調波混合の研究
Author(s)	岸本, 幹夫
Citation	大阪大学, 1985, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/35175">https://hdl.handle.net/11094/35175</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	岸	本	幹	夫
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	7024		号
学位授与の日付	昭和	60	年	11月 27日
学位授与の要件	基礎工学研究科	物理系専攻		
	学位規則第	5	条第	1項該当
学位論文題目	ジョセフソン接合におけるサブミリ波域の高調波混合の研究			
(主査)	教 授	山田	安定	
(副査)	教 授	中村	伝	教 授 朝山 邦輔 教 授 久米 昭一
	助教授	西田	良男	

### 論 文 内 容 の 要 旨

ニオブ点接触型ジョセフソン接合を用いて、サブミリ波とミリ波の高調波混合の実験を行い、ミキシングの特性について調べた。さらに、実験結果を理解するために、RSJ モデルに基づくシミュレーションを行い、接合電圧の波形を解析し、ミキシングの機構に関し、新しい説明を行なった。

従来、ミキシングの機構は DC I-V 特性によって説明されてきた。しかし、ジョセフソン接合の接合電圧と電流は 2 つの超伝導体のオーダーパラメーターの位相差により決定され、ミキシングの機構は位相差に対する非線形な運動方程式により決定される。接合電圧の長時間平均が DC 接合電圧であり、IF 周波数成分が IF 出力電圧  $V_{1F}$  に対応している。

実験では、接合に直流バイアス電流を加え、さらに 2 つの電磁波を照射した。電磁波としては、ミリ波として 6 mm (50 GHz) を、サブミリ波として 393.6 μm (762 GHz) および 570.6 μm (526 GHz) を用いた。遙倍数は、それぞれ 15 および 10 であり、IF 周波数は 40 MHz であった。電磁波を照射すると、接合には電磁誘導により高周波電流が誘起される。この高周波電流の大きさを量的に表すために、無次元電流  $j_\alpha$  を導入した。 $j_\alpha$  の値は実験的に決定した。 $\alpha$  はミリ波 (m), サブミリ波 (s) を示す。測定は、この  $j_\alpha$  の値をいろいろに変えて I-V 特性と  $V_{1F}$ -V の関係について行なった。この  $j_\alpha$  を用いることにより、シミュレーションと実験データとの量的な比較が可能になった。

実験結果として、次のことを得た。 $j_m$  および  $j_s$  が 1 より小さい時、DC 接合電圧特性として、 $V_{1F}$  のピークとシャビロステップとが交互に現われた。だが、 $j_m$ ,  $j_s$  が大きくなるにつれ、このような DC 接合電圧に対する周期性は失われていく。また、 $V_{1F}$  の現れる DC 接合電圧の範囲が拡がっていく。以上の特徴については、シミュレーションによっても定性的に一致する結果を得た。しかし、定量的な

差があり、 $V_{1F}$  の飽和値はシミュレーションの方が約 1 衡大きな値となり、類似した  $V_{1F}$  -  $V$  曲線を得るために、 $j_\alpha$  の実験値はシミュレーションよりも 5 ~ 10 倍大きな値を必要とした。この差の原因としては、雑音や、有限電圧でのトンネルによるクーパー対破壊による影響が考えられる。

接合電圧の波形  $V(t)$  をシミュレーションで調べた。その結果、シャピロステップのところでは  $V(t)$  は照射電磁波に位相同期している。他方、 $V_{1F}$  の出力があるためには、 $V(t)$  が IF 周波数の周期で変動する成分を持つことが必要であり、照射電磁波との位相同期とは両立しない。このことが、 $V_{1F}$  とシャピロステップが交互に現われることを説明している。

### 論文の審査結果の要旨

この論文では、サブミリ波とミリ波の高調波混合の実験を行い、その特性を明確に表示している。さらに、実験結果を理解するために RSJ 模型 (Resistively Shunted Junction の略) を用いたシミュレーションを行って、周波数混合の機構を考察している。従来、周波数混合の実験はマイクロ波域で多くなされているが、サブミリ波域の研究は少い。本研究では、接合部に誘導された高周波電流の大きさを量的に求める方法を確立して、ミキシング出力と DC 接合電圧、高周波電流との関係を定量的に決定した。このことは、サブミリ波域において、実験とシミュレーションの定量的な比較を可能にしたという新しい意味をもっている。その結果、実験とシミュレーションの間で、ミキシング電圧と DC 電圧の関係は定性的にはよいが、定量的には一致しないことが始めて明らかにされた。この不一致は、シミュレーションで考慮していない雑音や、クーパー対の破壊の影響によるとしている。また、高周波電流が大きくなる時には、ミキシング出力とシャピロステップとが DC 電圧にたいして交互に現れ、両者が競合関係にあることを明確に示している。周波数混合の機構は、従来、直流 I - V 特性に基づいて説明されている。しかしながら、サブミリ波域では、周波数が接合自身の特性周波数と同じ大きさになるので、接合のダイナミカルな振る舞いを考慮する必要が生じてくる。ジョセフソン接合では、接合電圧はオーダーパラメーターの位相差の時間微分に対応するという立場でシミュレーションによりミキシングの機構を考察している。これは周波数混合にたいする正統的な見方であるが、今までこのような考え方方に立っての解析がなされていない。この結果、オーダーパラメーターの位相と照射電磁波の位相の同期関係が DC 電流によって変化し、このことがミキシング出力に重要な役割を演じていることが解明され、ミキシング現象に関し新しい知見を指摘した。

以上の結果により、本論文は博士論文に値するものと認める。