

超伝導ストリップラインを用いての高周波測定治具の周波数特性

澤木弘二

名古屋大学工学部・工学研究科技術部

1. はじめに

近年の情報技術は、携帯電話、インターネットそしてパーソナルコンピュータの普及に伴い、急激な発展をし続けている。周知の通り、これら情報技術を支えているのはSi系半導体デバイスである。これからもSi系半導体デバイスを中心に進歩していくことは間違いないが、Si系半導体デバイスは、最近になって発熱、集積化・配線の複雑さに直面し限界に近づいているという考えが主流になってきている。

今後も情報技術を発展させるため、これを支える技術の一つとしてジョセフソン接合を用いた超伝導素子あげられる。ジョセフソン接合は、高速（スイッチ遅延時間：数ps）かつ低消費電力（一ゲートあたり：数 μ W）な超伝導素子である。最近は、接合の特性を最も引き出す論理方式単一磁束量子論理（SFQ）を中心にデジタルフィルタ、A/D変換器等の研究が進みSFQ回路の超高速動作実証が行われている。

しかし、超伝導体は依然極低温で動作するものであり、高速な入出力を可能にするためには、常温と極低温間においての起電力、信号線路の誘電損、反射、位相差等といった現象に影響されないことが重要になってくる。今回、高周波対応の測定治具を使用し、3GHz近傍までの超伝導ストリップラインの周波数測定を行った。



図1 外観

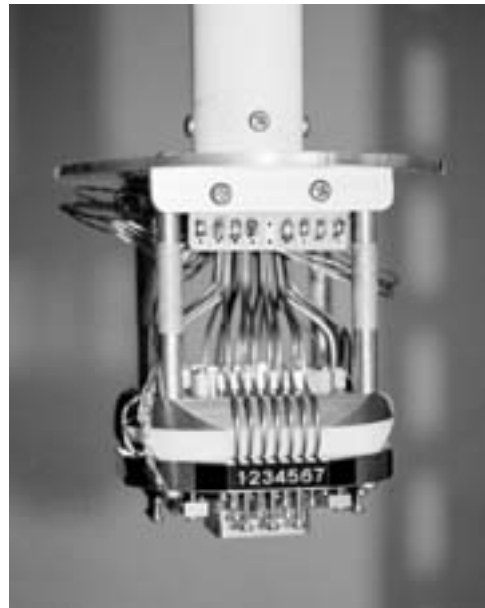


図2 ヘッド部

2. 高周波測定

2.1 治具

図1に高周波測定用治具全体の外観を、図2に超伝導線路・抵抗がのったSi単結晶基板（超伝導ストリップラインチップ）、セラミックスチップキャリアが収まるヘッド部外観を示す。

治具構造としては、上部のSMAコネクタ接続BOX（SMAコネクタ14個×2面）、上部接続BOXよりヘッドにつながるFRPパイプ、フランジ、ヘッド部から成る。

上部接続用BOXとヘッド間は、入出力用の1.2セミリジット・ケーブルでつながれており、フランジは、液体ヘリウムデューワー（液体ヘリウムが入った容器）にヘッド部を入れた後デューワー内を密閉する。また、治具の上下動で温度を変化をさせる。ヘッド部は、セラミックスチップキャリアを収め、セミリジット・ケーブルで接続できる機構を有する。液体ヘリウム（4.2K）に直接浸かる部分でもあり収縮変化が一番大きな場所でもある。

2.2 測定準備

RFネットワーク・アナライザを用いた周波数測定の準備手順を次に示す。

超伝導線路・抵抗がのるSi単結晶基板（超伝導ストリップラインチップ）とセラミックスチップキャリア間をリボンワイヤでボンディング接続する。ボンディング結線したセラミックスチップキャリアをヘッド部に固定及びセラミックスチップキャリアのパッドとセミリジット・ケーブルの芯線を圧着接続する。上部のSMAコネクタ接続BOXとRFネットワーク・アナライザを変換アダプター、SMAプラグケーブルで接続する。

図3は、Si単結晶基板上にスパッタリングによりNbを堆積させ、ホトリソグラフィによりライン幅6μmの超伝導線路とミアンダ形状のMo抵抗を作製したものである。この超伝導ストリップラインチップは、インピーダンス50Ωの設計である。

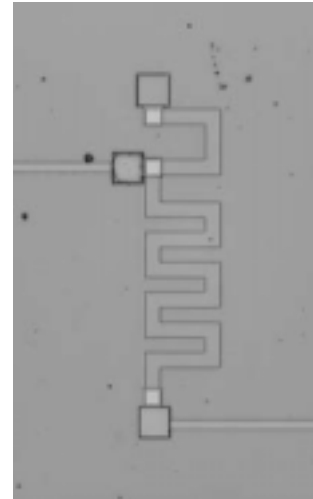


図3 超伝導ストリップラインチップ

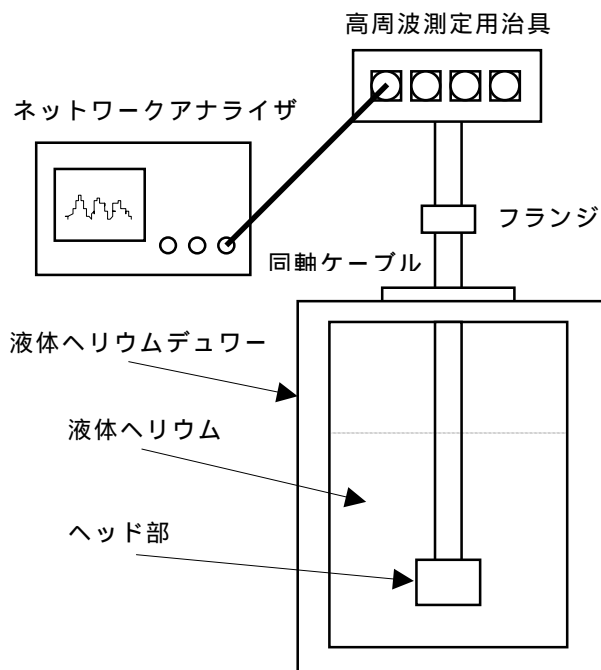


図4 測定方法の概略図

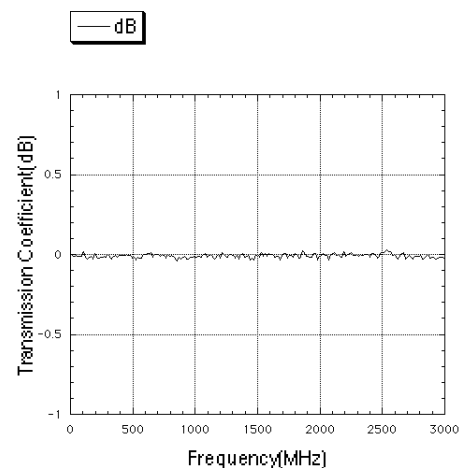


図5 校正時の透過特性

2.3 測定

測定方法の概略を図4に示し、RFネットワーク・アナライザを用いたS21順方向伝送の結果を次に示す。解釈として、S21順方向伝送（透過）は、横軸に表示されている値は周波

数 (MHz)、縦軸に表示されている値は、超伝導ストリップラインチップ等を通して伝送された信号と入射電力との電力比 (dB 単位) で、対数振幅で表す場合、式としては、 $伝送 (dB) = 10 \log (P_{trans} / P_{inc})$ となる。 P_{trans} は超伝導ストリップラインチップ等を通して伝送された電力、 P_{inc} は入射電力を指す。

図5は、常温にてRFネットワーク・アナライザから、N型SMA変換アダプタ、校正用ケーブルを用い透過を測定した結果である。ほとんど伝送損失がなくRFネットワーク・アナライザが正常に動作していることがわかる。図6は、常温にて2m長のフレキシブルケーブル2本の透過を測定した結果である。3GHzで約5.4dBの対数振幅値を示し、ケーブルのみでも伝送損失が大きいことがわかった。図7は、インピーダンス50Ωの超伝導ストリップラインチップを、液体ヘリウム温度(4.2K)にて測定したものである。低周波領域でも約2.5dB近傍より減衰があり、1.5GHzから3GHzまではおよそ約30dBの対数振幅値を示した。

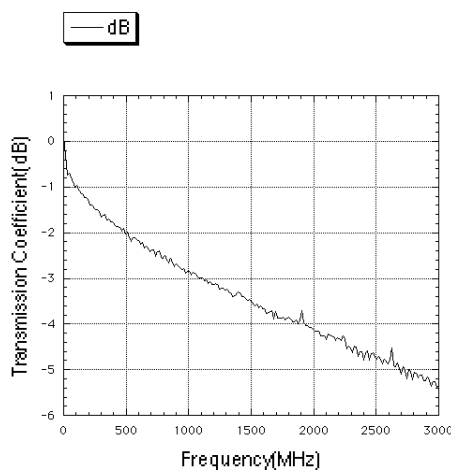


図6 ケーブルの透過特性

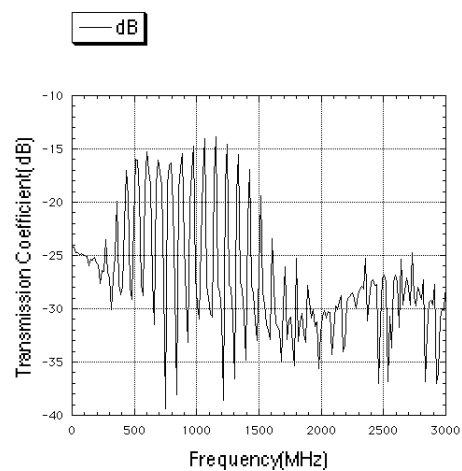


図7 超伝導ストリップラインチップの透過特性

3. 考察

測定結果は、振幅対数 (スカラ) で表示されている。反射・位相がわからないため本来知りたいケーブル自体の伝送損失は正確な数値ではない可能性があるが、図7の透過特性からかなりの減衰があるということがわかる。1.5GHzから3GHzまではおよそ約30dBの対数振幅値を示しており入射電力が1/1000倍で出力されることになる。このことより、超伝導素子からの信号電力 (数μW) を直接測定することは非常に困難を要すると思われる。また、100MHz間隔で波形が振動しているが、これは波長から治具のヘッド部のセラミックスチップキャリアとセミリジット・ケーブル間の接続機構部分、あるいは超伝導線路・抵抗のチップで反射がおきているものと思われる。再度、超伝導ストリップラインチップのインピーダンスを算出したところ44Ωとなり設計値50Ωと異なっていた。また、低周波領域から大きなうねりが起きており、高い周波数になるにつれ対数振幅値の減衰が一度少なくなり、さらに高い周波数になると再び対数振幅値の減衰が大きくなっている。これはキャパシタンス成分がどこかにあるのではないかと考える。

4 . 今後の課題

今回のNbの超伝導ストリップラインチップは、インピーダンスが50Ωに設計されていなかった。インピーダンスを50Ωに設計し直し、伝送損失を抑えた超伝導ストリップラインにて高周波測定を再度行いたい。低周波領域からみられたキャパシタンスと思われる特性に関しても特定を行いたい。また、ケーブル損失を抑えるため、SMAコネクタ接続BOXと測定装置間のケーブル線路を現状のものより1/2程度低損失のフレキシブルケーブルを用いたい。

5 . おわりに

今回、技術部より3月6・7日の2日間東京大学総合技術研究会に参加させて頂き、発表、他研究機関の方々の講演の聴講等有意義な時間が持てましたこと深く感謝致します。

6 . 参考文献

- (1) 高周波計測 森屋倣昌 関 和雄 東京電機大学出版局
- (2) 高周波・マイクロ波測定 大森俊一 他 コロナ社
- (3) マイクロ波回路の基礎と応用 小西良弘 総合電子出版社
- (4) 平成13年度機器・分析技術研究会報告集 澤木弘二 P61~P64 大阪大学大学院工学研究科・工学部