

# テーパー増幅器への 6.8GHz 電流変調によるサイドバンド生成に関する研究

先進理工学科 応用物理工学コース 岸本研究室

1513105 鈴木滉斗

## 1.研究背景・目的

アルカリ金属原子のレーザー冷却には、異なる 2 種類の周波数のレーザー光を必要とし、そのために、異なる 2 つの光源を必要とする。そこで、必要な光源を 1 つに減らし、装置を簡便化する方法が検討されている。具体的には、Cooling 光の生成に用いている ECDL を種光としているテーパー増幅器にマイクロ波周波数の電流変調を行うことでサイドバンドを生成し、それを Repump 光として用いる方法である。しかし、先行研究[1]では、入力したマイクロ波の 99.9%以上が反射され、0.3%程度のサイドバンド比しか生成されていない結果が報告されている。本研究では、冷却する原子を  $^{87}\text{Rb}$  原子とし、6.8GHz の電流変調を印加している。そして、テーパー増幅器結合部における反射を低減しつつ、電流変調の結合効率を向上させることを目標とした。

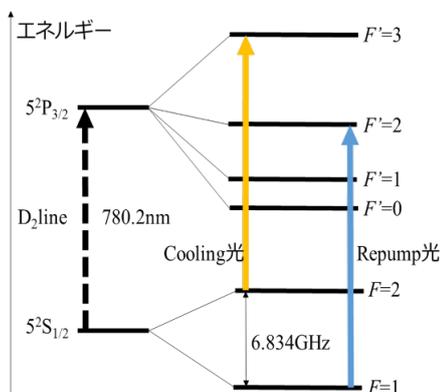


図 1.1  $^{87}\text{Rb}$  原子の冷却に用いる準位

## 2.テーパー増幅器への直接的な周波数変調を行う実験系

目的の周波数領域において、テーパー増幅器へ直接的な電流変調を施し、サイドバンドを生成するために、先行研究[1]と同様の以下の図 2.1 に示す実験系を用いた。

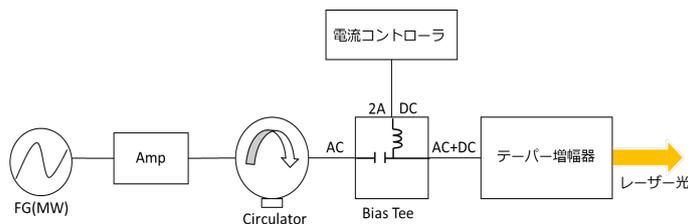


図 2.1 周波数変調実験系

テーパー増幅器(TA)[2]の半導体素子近傍の配線の改良は困難となっているため、TA マウントの結合部のコネクタより手前からの反射を低減していくこととした。

## 3.ネットワークアナライザを用いた反射測定

テーパー増幅器の結合部における周波数特性を知るために、ネットワークアナライザを用いて Bias Tee の直後に整合回路の 1 種であるスタブ構造を形成した場合としない場合の反射特性の測定を行った。以下に、その時の測定系および測定結果をそれぞれ図 3.1、3.2 として示す。なお、ここでのスタブ構造は SMA コネクタの T コネクタを利用した簡易版となっており、この構造のスタブ長が概ね 6~7GHz 帯のスタブ回路と近かったため、その影響を

簡単に確認することとした。

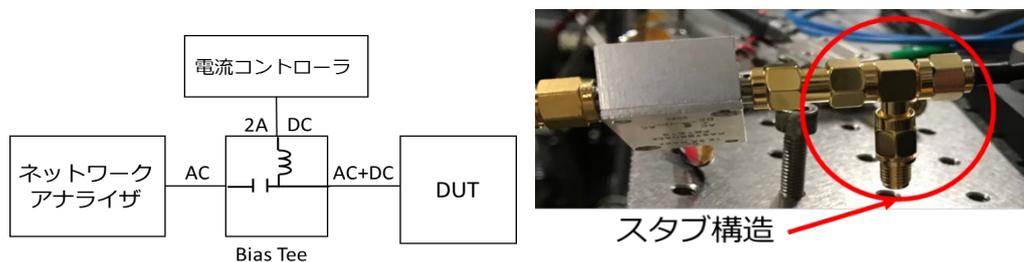


図 3.1 反射測定実験系

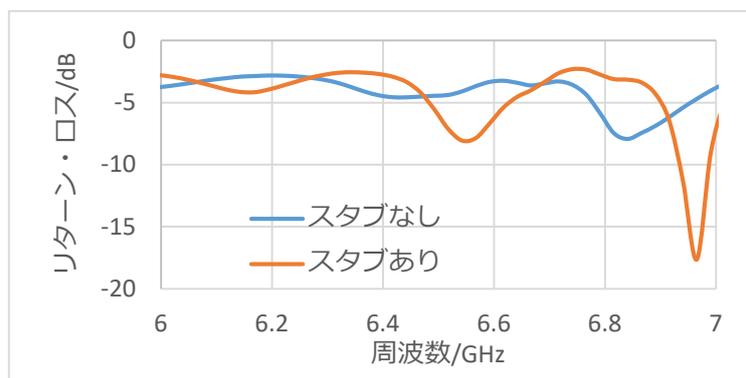


図 3.2 反射測定の結果

スタブありの方がリターン・ロスのピークが、 $-7.9\text{dB}$  から $-17.64\text{dB}$  へと減少しており、ピークの周波数位置もシフトしていることがみてとれる。つまり、インピーダンスマッチングを行うことで、目的の周波数において反射を低減できる傾向をつかむことができた。

#### 4. ビート信号の測定によるサイドバンド評価

ネットワークアナライザを用いた反射測定の結果を裏付けるために、ビート信号の測定を行うことで、相関関係を調べた。以下の図 4.1 に示した実験系を組み、0 次光と 1 次光のビート信号の信号強度を測定した。原理的には、0 次光のみでビート信号の測定は可能だが、光検出器後のマイクロ波増幅器が直接マイクロ波を拾ってしまい、光を入射しない場合でも  $6.8\text{GHz}$  の信号を検出してしまったため、簡便に既設の AOM を用いた上述の方法により、 $6.8\text{GHz}$  から AOM の周波数分シフトした周波数での観測を行うことで、この症状を回避することとした。相関関係があれば、リターン・ロスが小さくなっている周波数領域において、信号強度が大きくなっていることが予想される。

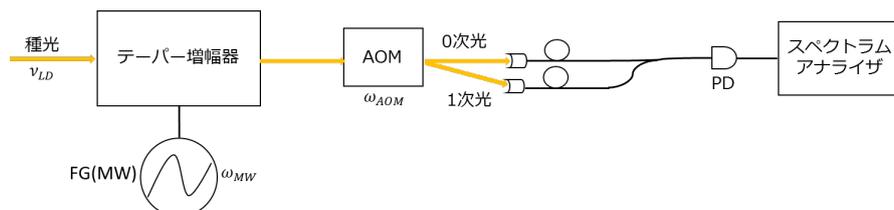


図 4.1 ビート信号測定系

#### 4.1 スタブ構造なしでの測定

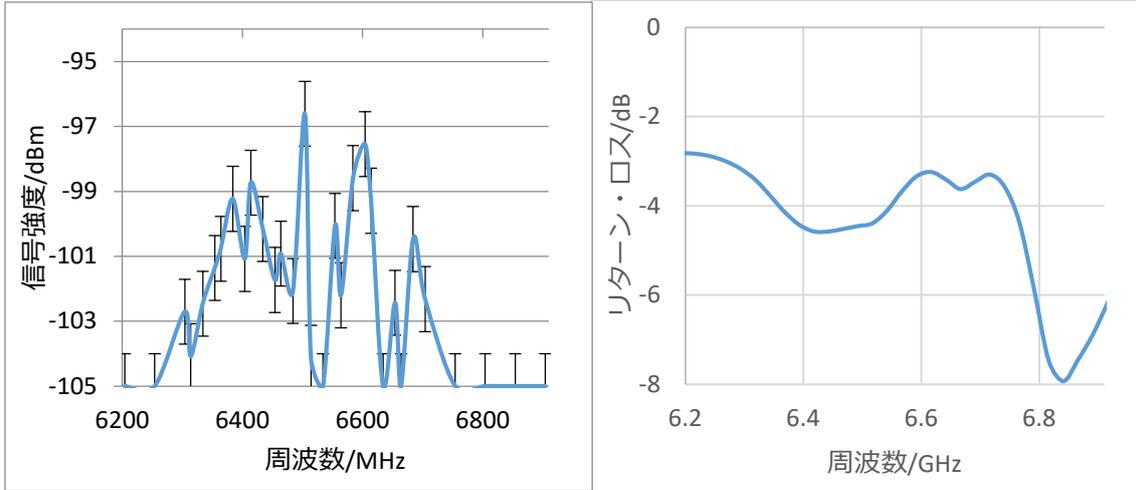


図 4.2 スタブなしでのビート信号の測定および反射測定

6.8GHz より高周波領域では明らかに相関関係が見られないが、その他の周波数領域においてはある程度の相関関係があることが確認できた。

#### 4.2 スタブ構造ありでの測定

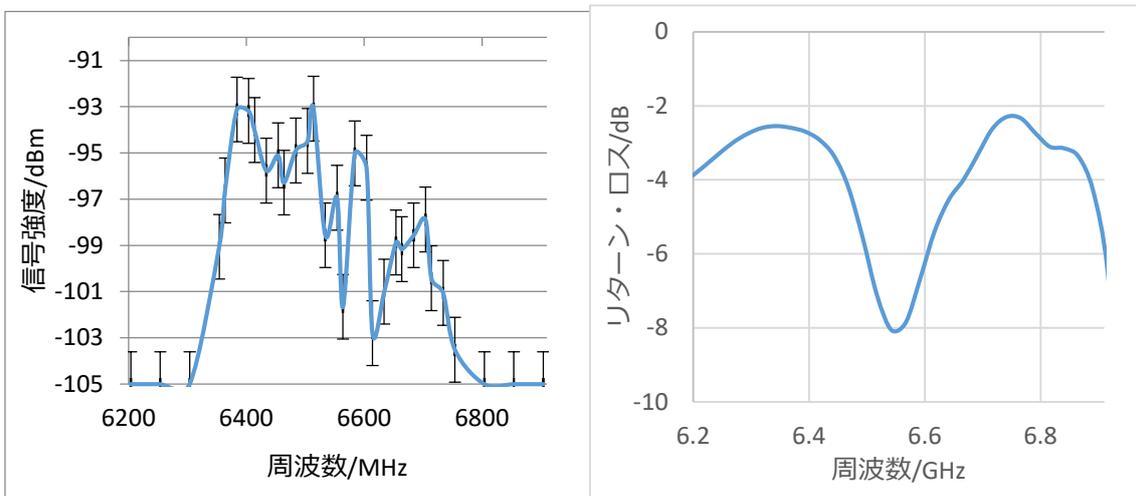


図 4.3 スタブありでのビート信号の測定および反射測定

スタブありでは、より相関関係があることが確認できた。さらに、スタブなしの時と比較して、信号強度が全体的に増加しており、最大値も 3.53dBm 増加していた。よって、整合による反射低減の傾向も同時に確認できた。

### 5. 整合回路の見積もり

以上の簡易版のスタブ構造の結果から、整合を行うことで、反射低減の傾向を確認する

ことが出来たので、次に、目的の周波数領域において反射を低減する整合回路の見積もりを行った。以下に、設計する回路のパラメータを表 5.1 に Bias Tee 直後に組み込む整合回路を図 5.1 として示す。プリント基板回路の一種であるマイクロストリップラインを用いてスタブ構造を作ることを用意している。これにより、意図した長さのスタブの製作が可能となる。

表 5.1 構成する整合回路

MW/MHz	$L_{msl}/\text{mm}$	$L_{stb}/\text{mm}$
6592.1	3.74	4.2
6442.9	8.39	3.87
6368.3	11.23	4.07

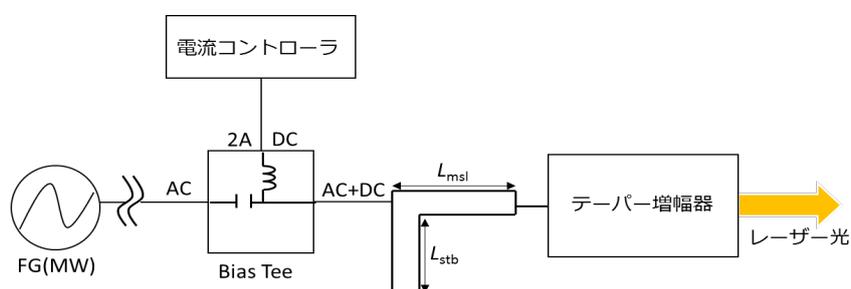


図 5.1 構成する整合回路

## 6.まとめと今後の展望

ネットワークアナライザを用いた測定と、ビート信号の測定においてある程度の相関関係を確認することができた。さらに、整合回路の1種であるスタブ構造を作ることによって、反射低減の傾向を確認することもできた。

今後は、マイクロストリップラインを用いたスタブ整合回路の設計および製作を行うことで、目的の周波数におけるさらなる反射の低減および結合効率の向上を行っていく予定である。

## 参考文献

- [1] J. Mahnke, S. Kulas, I. Geisel, S. Jöllenbeck, W. Ertmer, and C.Klempt Rev. Sci. Instrum.84, 063110 (2013)
- [2] <http://dilas.com/products/search/single-emitters-open>

## 謝辞

卒業研究のとても忙しい時期にも関わらず、ネットワークアナライザを貸していただき、夜遅くまで実験にご協力いただいた石川先生、そして基板加工機の使い方を丁寧に教えてくださった森永先生に、この場を借りてお礼の言葉を述べさせていただきます。ありがとうございました。