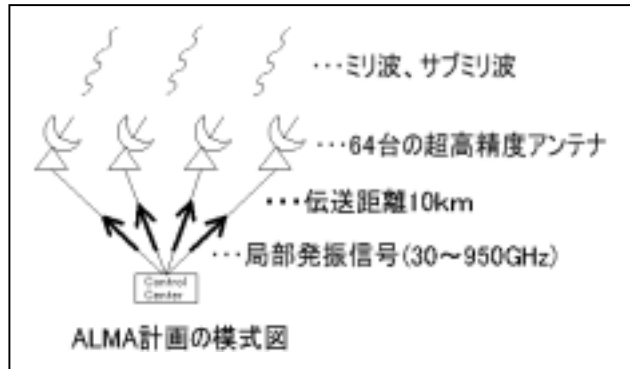


モードロックファイバーレーザーを用いた THz 帯の基準信号の作成

電子物性工学科 植田研究室 小林 憲史(9814051)

[背景]

国立天文台のアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)計画では、中央制御棟から10km以上先に設置されている64台の各アンテナに2台の位相安定化された半導体レーザー(1.5 μm)の差周波から作る局部発振信号(30GHz~950GHz)を光ファイバーを使って伝送する光局部発信器(PHOTONIC LO)の開発が進められている。この光源の開発のため我々はモードロックファイバーレーザーの縦モードの1本と半導体レーザーの縦モードとがつくるビートを基準周波数と位相同期させる研究を行っている。



[目的]

今実験の目的はモードロックファイバーレーザーの周波数コムの縦モードの一本と半導体レーザーの縦モードとのビートをとって、それをシンセサイザーによる基準周波数に位相同期させることにより半導体レーザーの縦モードを超高安定化させ、もう一台の半導体レーザーについても同じことを行い、超高安定化された2つの半導体レーザーの差周波からALMA計画で要求される局部発振信号を作ることである(図1)。ここで周波数コムについて簡単に説明する。モードロックレーザーは正確に一定の時間間隔で光パルス列を発生しており、これを周波数軸上でみるとパルスのくり返し周波数だけ正確に離れた、多数のモードの集合になっている。その形状からこれは周波数コム(comb=櫛)とよばれ、あたかも物差しで長さをはかるように2点間の差周波数を測定することができる。また非常に広帯域にわたって縦モードが存在するのでALMA計画で要求される局部発振信号の帯域30GHz~950GHzを差周波により得るのに適している。今実験ではモードロックファイバーレーザーの縦モード間隔の安定化、その安定化されたモードロックファイバーレーザーの縦モードの一本と半導体レーザーの縦モードとのビートの安定化について行った。

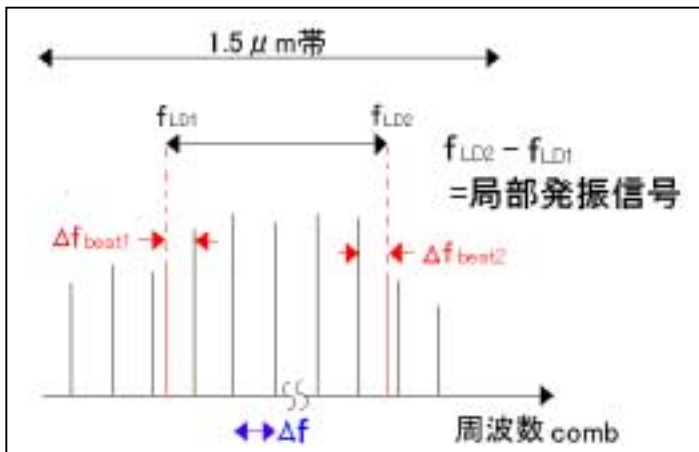


図1 周波数コムとビート周波数

[予備実験]

モードロックファイバーレーザーの縦モードの一本と半導体レーザーの縦モードによるビートを基準周波数で位相同期する前に、予備実験として独立した二つの半導体レーザー(1.5 μm)の縦モードによるビートを基準周波数(40MHz)で位相同期する実験を行った。その実験図を図2に示す。まずビート周波数と基準周波数を位相比較器(AD9901)に入れる。本実験では基準周波数の発信器としてシンセサイザーHP8656B(周波数安定度 10^{-8})を用いた。

すると位相比較器は2つの信号の位相差に相当する誤差電圧を出力する。その誤差信号がサーボ回路を介して基準周波数との位相差をなくす制御信号として半導体レーザーへフィードバックされる。このときより強い周波数引き込みを得るために直接半導体レーザーへフィードバックするループと電流源を介して半導体レーザーへフィードバックするループの二つのループにより位相同期を試みた。

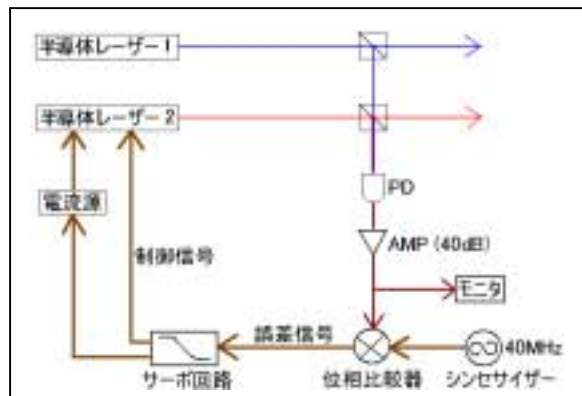


図2 実験図

[実験結果]

まず電流源へのフィードバックゲインを上げ、不安定なビート周波数を基準周波数 40MHz に引き込む。その様子を図3に示す。しかしまだこの状態では 40MHz を中心に位相の揺らぎがあるためビートスペクトルは太っている。そこでさらに直接半導体レーザーにかかるフィードバックゲインを上げると、揺らんでいた位相が中心周波数 40MHz に引き込まれ位相同期がかかる。その様子を図4に示す。図より位相引き込みがかかっている範囲は約 400kHz 程度といえる。

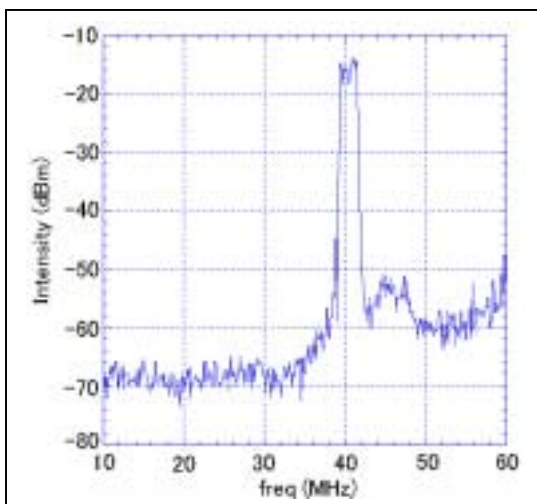


図3 位相同期前のビートスペクトル

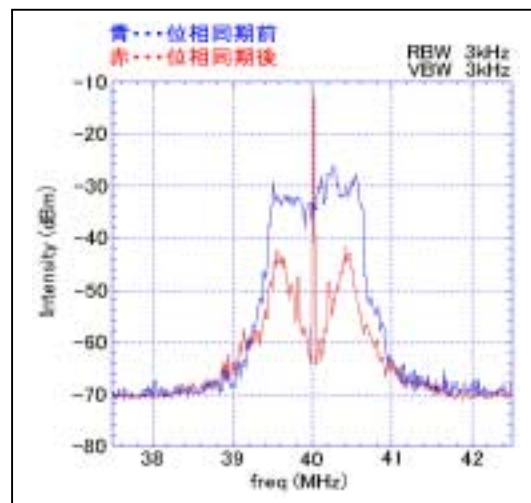


図4 位相同期後のビートスペクトル

[モードロックファイバーレーザーの縦モード間隔のビートを基準周波数と位相同期]
 モードロックファイバーレーザーの縦モードの一本と半導体レーザーの縦モード(1.5 μm)とによるビートを基準周波数で位相同期する。その実験系は図 5 のように二つの光位同期ループから成る。まず初めに周波数のものさしであるモードロックレーザーの縦モード間隔(約 46MHz)を位相安定化させる。そのためにまず温度制御によるファイバー長の制御により繰り返し周波数の揺らぎを抑える。その様子を図 6 に示す。そして前出の予備実験と同様、縦モード間隔によるビート周波数(46MHz)とシンセサイザー(HP8656B)から出力された基準周波数(46MHz)とを位相比較器(AD9901)に入れ、その位相差に相当する誤差電圧をサーボ回路に介してモードロックレーザーの共振器長の自由空間の長さを制御するピエゾ素子にフィードバックし位相同期をかける。

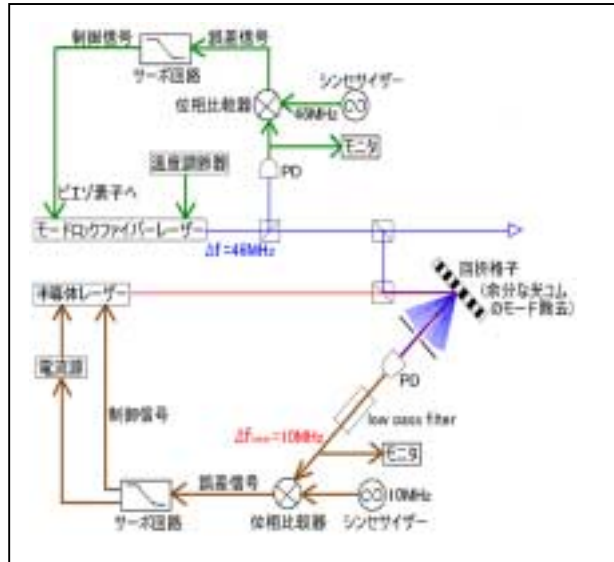


図 5 実験図

[実験結果]
 温度制御によりモードロックファイバーレーザーの縦モード間隔が安定化された様子を図 6 に示す。さらに位相同期をかけると縦モード間隔の揺らぎが 1Hz 以下に抑えられる。その様子を図 7 に示す。

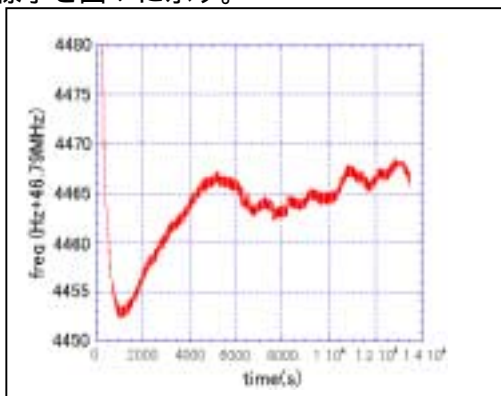


図 6 温度制御前の縦モード間隔

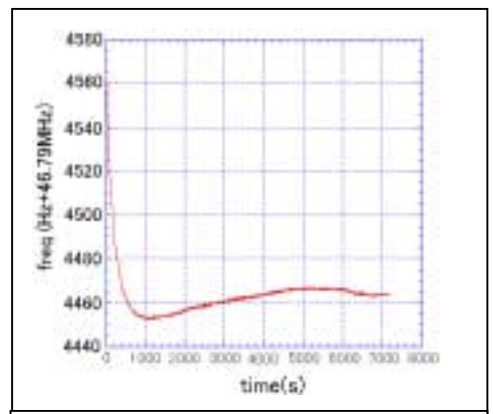


図 6 温度制御後の縦モード間隔

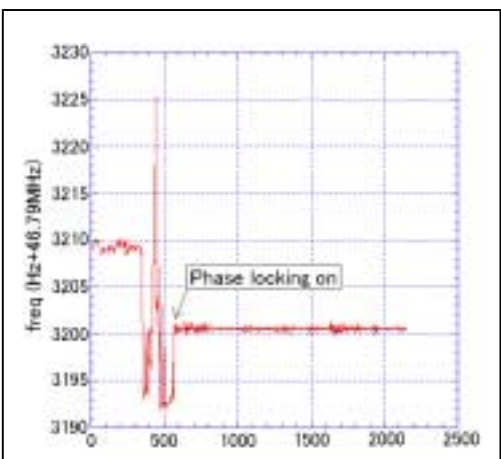


図 7 位相同期後の縦モード間隔

[モードロックファイバーレーザーの縦モードの一本と

半導体レーザーの縦モードとによるビート周波数を基準周波数で位相同期]

次に位相安定化されたモードロックファイバーレーザーの縦モードの一本と半導体レーザーの縦モードとによるビート周波数(10MHz)を基準周波数により位相同期する。まず 2 つのレーザー光をビームスプリッターで重ね、その後で回折格子で位相同期に寄与しない周波数コムを除去する。そしてフォトディテクターでビート信号を検出した後ローパスフィルターで 10MHz より高速のビート信号をカットする。このビート周波数 10MHz とシンセサイザー (HP8656B) から出力された基準周波数 10MHz を先程と同様に位相比較器 (AD9901) に入れ、その位相差に相当する誤差電圧をサーボ回路に介し半導体レーザーへフィードバックする。予備実験と同様、半導体レーザーへ直接フィードバックするループと一度電流源を介して半導体レーザーへフィードバックするループとの二つのループにより位相同期を試みた。

[実験結果]

実験結果を図 8 に示す。電流源へのフィードバックゲインを上げ不安定なビート周波数を基準周波数の 10MHz に引き込むのに成功した。さらに直接半導体レーザーへのフィードバックゲインを上げ位相の揺らぎ成分(図 8 より約 2MHz)を中心周波数 10MHz に引き込み位相同期をかけようと試みたが位相同期はかからなかった。原因として直接半導体レーザーへフィードバックする際のサーボ回路の帯域が足りないことが考えられる。

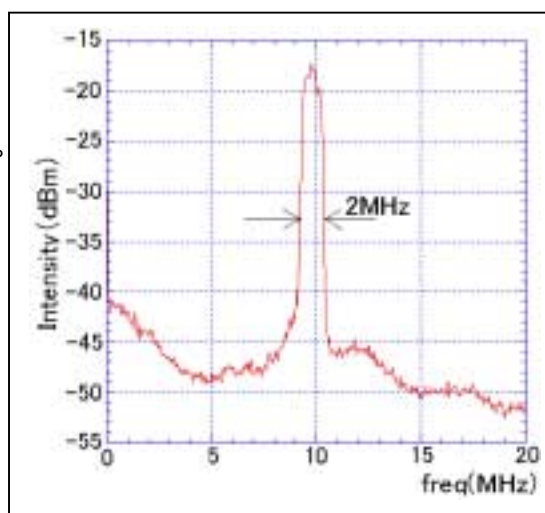


図 8 ビートスペクトル

[まとめ]

二つの半導体レーザーの縦モードのビートを基準周波数(40MHz)で位相同期することができた。

モードロックファイバーレーザーの縦モード間隔のビートを基準周波数(46MHz)で位相同期することができた。

位相安定化されたモードロックファイバーレーザーの縦モードの一本と半導体レーザーの縦モードとのビートを基準周波数(10MHz)に引き込むことに成功した。しかし位相同期はかからなかった。

[今後]

直接半導体レーザーへフィードバックする際のサーボ回路の再設計。

もうひとつの半導体レーザーも位相同期し二つの半導体レーザーの差周波を検出、評価。