KAGRA用レーザー光源開発の現状

三尾研究室 修士2年 鈴木 健一郎

目次

- レーザー装置
 - 要求仕様
 - 構成
 - 先行研究
 - 動作原理
- 実験
 - コヒーレント加算
 - 長時間運転
- 余談
- まとめと展望

3

レーザー光源への要求

- レーザーパワー 180W
- 単一周波数発振
- 狭線幅
- ・ 単一横モード
- 直線偏光
- 低強度雑音
- 低位相雑音

- 1064nm
 - $\Delta \nu \sim 1 \text{kHz}$
- TEM_{00}

高出力&高品質なレーザー光源が必要

注入同期

- 高出力レーザーを低出力
 高品質レーザーにロック
 単一縦モード発振が可能
- 構成が複雑
 - 偏光・縦横モードを合わせる 必要がある
 - ロッキングレンジ







レーザー装置

- MOPA(ファイバアンプ、固体増幅器)
- ・コヒーレント加算



MOPA - ファイバアンプ

- 高ビーム品質 – シングルモードファイバー
- アライメントの簡素化

- ミラー・レンズ等を調整する必要が無い

- 長い相互作用長
 高ゲインの増幅器が実現できる
- 非線形効果
 - 誘導ブリルアン散乱(SBS)
 - 誘導ラマン散乱(SRS)



Nufern 40W ファイバアンプ

6

コヒーレント加算

- ・ 光ファイバの非線形性を回避しつつ高出 カ化
- 単に重ねるだけでは加算できない
- 15MHzで変調
- 復調して制御信号を得る





δ

MOPA - 固体增幅器

- レーザー光を増幅媒質に入射
 –構成が単純
- 熱レンズ効果・熱複屈折
- ゲイン飽和





先行研究

- 出力78W、加算効率95%を達成
- 連続稼働時間4時間
- 位相差のドリフトが見られた
- ・ ピエゾマウントミラーの最大変位量が稼働時間を制限する
- 広い変位量と温度の安定性が必要



改善点

- ・ 変位量の拡大 ―ファイバストレッチャーの使用
- 同じ光路長 <u>一空間モードの一致</u>
- ・温度の安定性 一大容量のチラーに交換



ファイバストレッチャー

- 変位量 ±2240 µ m(@±400V)
- ・2台を差動で使用する

– 変位量が2倍に

- 機械的共振(~18kHz)
 - 制御帯域の制限



http://www.optiphase.com/data_sheets/PZ2_Data_Sheet_Rev_F.pdf





ファイバストレッチャー 11

光学系 – ファイバ光学系



光学系 – コヒーレント加算段

コリメーター (ファイバアンプの出力) アイソレーター ビームスプリッター



ダークポート光学系

90×60cmブレッドボード

ブライトポート

ダークポート

光学系 – ダークポート光学系

- 非ロック時のダークポート出力は80Wに達する
- PDが壊れないように減衰させる必要がある
- ウェッジ窓(非コートの基板、反射率~4%、表裏面 反射を分離可能)を2枚使用



目次

- レーザー装置
 - 要求仕様
 - 構成
 - 先行研究
 - 動作原理
- 実験
 - コヒーレント加算 - 長時間運転
- 余談
- まとめと展望

実験結果 – コヒーレント加算

- ・ コヒーレント加算の結果、78.9Wが得られた
- しかし、安定した出力は77~78W
- ダークポートのプロファイルは汚い



実験結果 – コヒーレント加算の制御

- ファイバストレッチャーの共振ピークはノッチフィルタ で落とされた。
- ・単位利得周波数は3kHz程度



ノッチフィルタなし

ノッチフィルタあり

実験結果 – 長期運転

- 5時間の連続運転を達成した (出力: 77~78W)
- ファイバストレッチャーの制御の幅には十分余裕がある
- 最初の1時間は大きな出力の変化が見られた
- 更なる改善が必要



実験結果 – 出力の揺らぎ

- 偏光の揺らぎのために出力が揺らいでいた
- アイソレーターには偏光依存性がある
- ・ 偏光の安定性が出力の安定性に結びつく



出力揺らぎの例

実験結果 – ファイバストレッチャー



ファイバストレッチャーでの偏光の回転が見られた ファイバストレッチャーが出力の揺らぎをもたらしうる ストレッチャーの後ろに偏光子を導入

固体增幅段

- 3台の三菱固体レーザー増幅器を使用する。
- 強い熱レンズ 効果(f_{eff}~50cm/rod)
- 最終的な出力の見込みは180W



三菱固体レーザー増幅器

目次

- レーザー装置
 - 要求仕様
 - 構成
 - 先行研究
 - 動作原理

実験

- コヒーレント加算 - 長時間運転
- 余談
- まとめと展望

余談 – コヒーレント加算のドリフト

- ファイバストレッチャーを何も考えずに置いたときは
 常に一方向にドリフトが現れた。
- 60mのファイバが中に入っているので、温度の影響 が大きい。



before

余談 – コヒーレント加算部の光軸の高さ

- 干渉計の光軸は低い方が良い。
- 現在の高さは70mm、アイソレーターで制限されている。



余談 – コヒーレント加算部の自動調整

- 干渉計のミスアラインは、一次モードとなって現れる。
- QPDを使ってミスアラインを検出できる。
- 電動アクチュエーターを使えば自動調整できる。
- 費用対効果?は疑問…



Automatic alignment of optical interferometers

Euan Morrison, Brian J. Meers, David I. Robertson, and Henry Ward

We present a description of a system for automatic alignment of optical interferometers. The technique relies on using differential phase modulation to permit the detection of the phase difference between two fundamental-mode Gaussian beams at the output of an interferometer. Measurements of the spatially varying phase difference between the two beams by use of one or more multielement photodiodes permits information to be derived about the mismatch in overlap between the phase fronts at the output of the interferometer.

Key words: Alignment, interferometry, Michelson, Fabry-Perot, gravitational wave detectors.

Euan Morrison, Brian J. Meers, David I. Robertson, and Henry Ward, "Automatic alignment of optical interferometers," Appl. Opt. 33, 5041-5049 (1994)

余談 – 大気中での位相雑音測定

- 共振器を用いた位相雑音の測定を行う。
- 周囲環境の雑音に大きな影響を受ける。
- ・正確な測定には真空槽が必要。



余談 – 固体増幅器の中身

- ・2本のYAGロッド、水晶回転子、16本のLD
- ・側面励起、励起は一様になる設計
- CIDER(close-coupled internal diffusive exciting reflector)と呼ばれる構成



余談 – 熱複屈折の補償

- 励起による熱のために応力が生じる。
- ・ 応力は複屈折となり、半径方向と角度方向で異なる。
- 断面内で、一様でないので対策が必要である。
- •水晶回転子で偏光を90°回転させて補償する。
- 2本のロッドの対称性が重要である。



余談 – 固体増幅器のモードマッチング

- ・ 強い熱レンズ効果・熱複屈折補償のためにモード
 マッチングをする必要がある。
- 高増幅率・低雑音なベストな解はよく分からないので、レーザー発振器の構成を参考にする。



余談 – 固体増幅器の設置状況

- 8/20-21に固体増幅器を設置
- 冷却水配管・電源は未接続
- 1台は水晶回転子が入らない





電源

チラー

←増幅器の設置状況
 90cm×90cmブレッドボード上に設置

余談 – 固体増幅器





水晶回転子が入らなかったもの

まとめ

- ファイバストレッチャーを用いてコヒーレント加算を実
 現
- ・ 5時間の連続運転を達成
- 出力は77~78W程度
- 更なる長時間運転を期待できる
- 制御帯域はファイバストレッチャーの共振で制限され、3kHz程度
- 出力の揺らぎは偏光の揺らぎに由来している

今後の展望

- コヒーレント加算段の雑音評価
 - 強度雑音•位相雑音
- 波面の測定
 - コヒーレント加算でどのような影響があるか。
- 固体増幅器による増幅
 - 目標出力180W
- ・ 強度・周波数の安定化

ご清聴ありがとうございました