

低温光共振器を用いたコーティング熱雑音直接測定実験

○谷岡諭、麻生洋一（国立天文台、総研大）

（天文学に関する技術シンポジウム世話人会）（Authors (Affiliation)）

概要(Abstract)

2015年にアメリカの Advanced LIGO によって初となる重力波の直接検出がなされ、重力波天文学の幕が開いた。現在の重力波検出器の感度の一部はコーティング熱雑音と呼ばれる雑音によって制限されている。日本にある KAGRA や、アメリカおよびヨーロッパで計画されている次世代重力波検出器は熱雑音の低減を図るために鏡を低温に冷却する。それでもコーティング熱雑音は検出器の感度を制限し得る雑音源である。そこで、低温で熱雑音の小さくコーティングの開発が求められており、さらにその熱雑音を直接測定によって評価する装置の開発が不可欠となっている。現在、国立天文台の先端技術センターにおいて、常温から 4K の低温までの幅広い温度範囲でコーティング熱雑音を直接測定する装置の開発を進めており、その現状について報告する。

1. はじめに

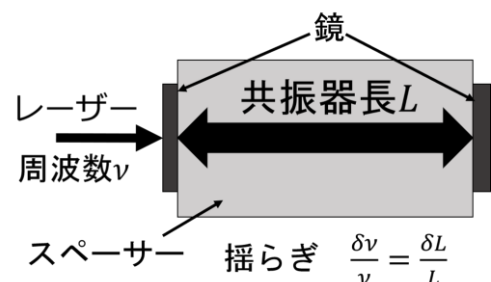
2015年にアメリカの Advanced LIGO によって初となる重力波の直接検出がなされ、それ以降数々の重力波が検出されている。2017年には電磁波での対応天体も追観測によって検出され、マルチメッセンジャー天文学の時代が到来している。今後は重力波検出器の感度をさらに向上することで、検出可能な重力波現象の数を増やすとともに、波源の位置決定精度を高めていくことが求められている。

現在の地上の重力波検出器の感度の一部はコーティング熱雑音と呼ばれる雑音によって制限されている。このコーティング熱雑音の低減を目指した新規コーティングの開発が世界中で行われている。それらの性能を定量的に評価、比較するためには、コーティング熱雑音を直接測定する装置が不可欠である。特に、KAGRA や次世代重力波検出器では鏡を低温に冷却して稼働するため、低温でのコーティング熱雑音を直接測定する装置が必要不可欠となっている。例えば、KAGRA の場合、コーティング熱雑音を現在の半分に低減することで、検出可能な重力波現象を 2 割増加させることができる。

このようなコーティングの実現を目指して、国立天文台の先端技術センター (ATC) において、低温でのコーティング熱雑音を直接測定する装置の開発を進めている。

2. コーティング熱雑音の直接測定

コーティング熱雑音とは、鏡表面に施されているコーティングの分子がブラウン運動によって振動することで、鏡表面が揺らぐために起こる雑音である。重力波検出器が 2 つの鏡間の距離の変化をレーザーによって測定しており、コーティング熱雑音による鏡間の距離の揺らぎと重力波による距離の

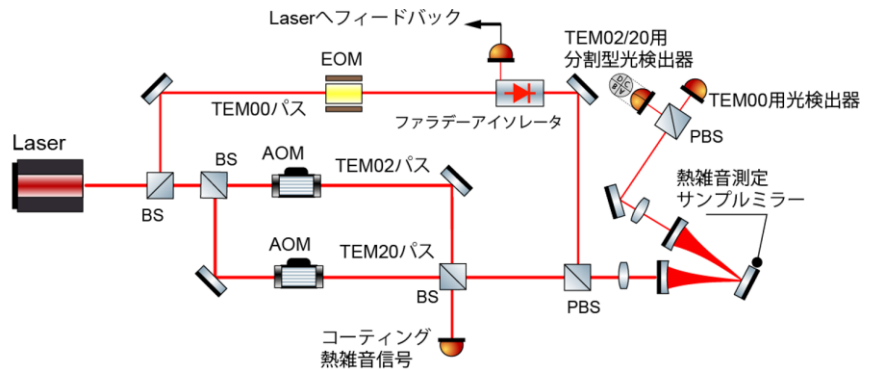


揺らぎとが区別できないため、雑音となって現れる。

コーティング熱雑音の直接測定には光共振器と呼ばれる装置を用いる。光共振器にレーザーを入射させ、共振状態を保つ（ロックする）ことで、レーザーは共振器長に応じた共振周波数を持つ。共振器長はコーティング熱雑音によって揺らいでおり、同時に共振周波数も揺らいでいる。この共振周波数の揺らぎを測定することで、コーティング熱雑音を直接測定することができる。特に本実験では鏡を折り返した **Folded** 型の光共振器を用いる。これにより、測定の際に交換するミラーが1つで済み、異なるコーティングに対する測定が容易になっている。

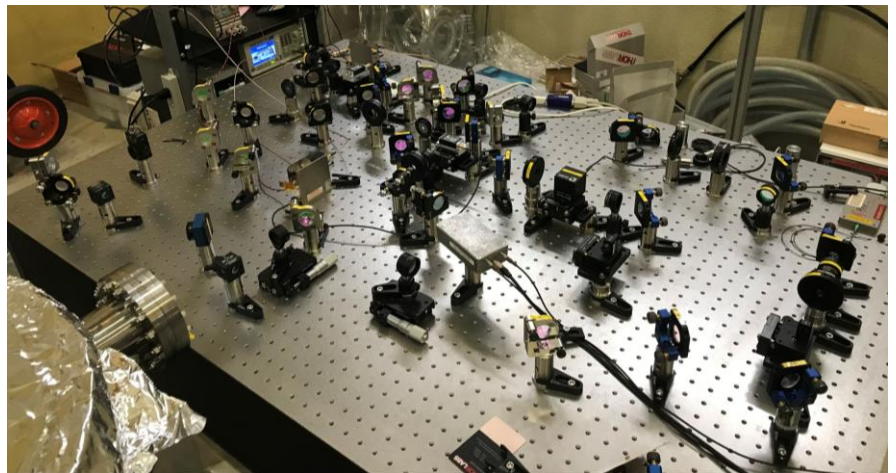
3. 実験装置の現状

実験装置のセットアップの概形は右図の様である。レーザーから発せられた光は TEM00、TEM02、TEM20 の3つのパスに分けられる。1つ目の TEM00 は PDH 法ロックによって共振器にロックされる。次いで、TEM02 および



TEM20 の2つのモードの光もそれぞれ共振器にロックされる。このとき、この2つのモードはコーティング表面の異なる場所をセンシングするため、コーティング熱雑音はそれぞれランダムに効いてくる。一方で地面振動やレーザーの周波数雑音は同相で効いてくるため、2つのモードの光のビートをとることによって同相除去が可能である。つまり、コーティング熱雑音に対してのみ高い感度をもたせることが可能となっている。

実験装置の現状は右の写真のようになっている。これまでに、入射光学系のインストール作業を進め、ほぼすべての光学素子のインストールが完了している。



現在は、レーザーの強度雑音を測定し、それを低減させるための制御系の作成を進めている。現状では、

コーティング熱雑音を測定する周波数帯において、レーザーの強度雑音は $\sim 10^{-6}$ [1/rtHz] 程度である。このままでは強度雑音がコーティング熱雑音測定の大敵になる可能性があるため、およそ 1/100 に低減することを目指した制御系を作成する。ここではレーザーの強度を検出し、それを AOM にフィードバックすることによって強度雑音を抑え込む予定である。

4. まとめと今後

コーティング熱雑音は現在の重力波検出器の感度を制限する主要な雑音源である。このコーティング

熱雑音の低減に向けたコーティングの開発が行われており、特に低温でコーティング熱雑音を評価するための装置が不可欠となっている。

国立天文台の ATC において常温から低温の幅広い温度でコーティング熱雑音を直接測定する装置の開発を進めている。これまでに入射光学系のインストールが完了しており、コーティング熱雑音測定に向けて、光共振器および出射光学系のインストールを進めている。

装置が完成し、調整作業が済んだ後は、様々なコーティングに対して熱雑音の測定を行っていく。その際、国内外の研究機関と協力して測定を進めていく。特にコーティングの作成は時間とコストがかかることが想定される。そのため、様々な研究機関と協力しながらコーティングを作成し、評価していく必要がある。

参考文献

- B. P. Abbott *et al.*, Phys. Rev. Lett., **116**(6): 061102, (2016)
- G. D. Cole, *et al.*, nature photonics 2013.174, (2013)
- S.Grass, *et al.*, Phys. Rev. D **95**(2):022001, (2017)