

天文観測技術の最前線 (16)

重力波検出用ファブリーペロー干渉計とその制御

ファブリーペロー干渉計は、向き合わさった2枚の鏡の間で光が多重反射し、鏡の間隔の半整数分の1の波長を持つ光だけが選択されてゆくという物です。この性質を利用して、天文では星の分光のために使われています。また、レーザーを超高安定化するため、原子準位を同定するため、更に重力波検出器では重力波による光の位相変化を読みとるために使われます。この位相変化は、2枚の鏡の間の光路長が重力波によって変化するために起きます。

数年前までは、反射回数が高々100回程度の物しか手に入りませんでした。現在では10,000回反射可能な物が市販されています。反射回数は普通これを $\pi/2$ 倍したフィネスと呼ばれる量で表されます。フィネスが高いとそれだけ波長分解能が高いということになります。フィネス、つまり反射率を高くするには、誘電体多層膜コーティングをします。これは屈折率の違う2種類の誘電体の積層を形成して反射率を高くするもので、反射防止膜にも応用されます。

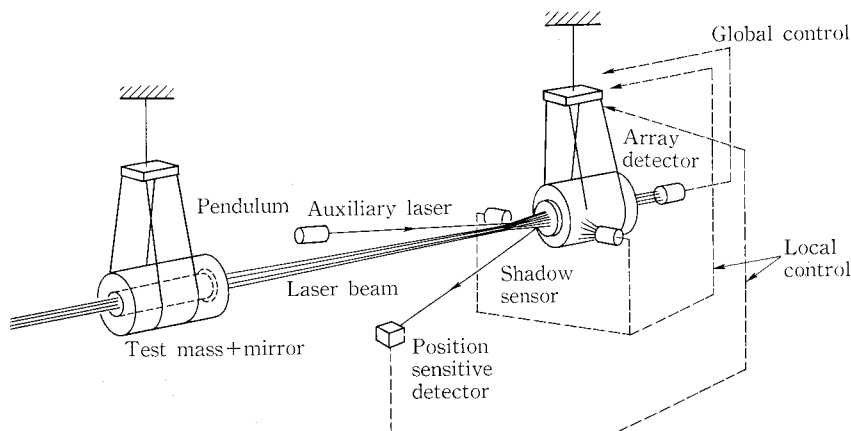
重力波検出用ファブリーペロー干渉計の鏡としては、反射率の高さより、散乱やロスの無いことが要求されます。散乱は鏡面の精度で決まり、superpolishedと呼ばれる加工で数Årmsの精度が可能です。また、コーティング面の滑らかさも重要です。散乱は光の量を減らすばかりでなく、干渉光に混入して雑音にもなります。また吸収に関しては、赤外用で数ppmの物があります。基

板そのものの吸収はULE等ではこれと同等です。吸収が大きいとハイパワーの光が入射した場合に鏡の温度が上昇し、熱変形による鏡面精度の低下が深刻になります。

レーザー光は平行光線ではなく、ガウシアンビームですので、両端の鏡はこれを閉じこめることができるような曲率を持たねばならないことも忘れてはいけない事実です。安定なモードを得るためには、ニア・コンフォーカル(共焦点に近いもの)というタイプを選びます。具体的には、鏡の間隔より若干長い曲率半径を持った球面鏡のペアを用いた設計をします。そして、全ての鏡がこの設計値を持つような精密加工技術も必要です。

次に図を参考にして、構成と制御方法を説明します。まず重力波を感じるためには、その周波数のところで鏡の間隔が自由に変わる必要があります。このため両方の鏡はtest massと呼ばれるおもりに接着された状態で糸で釣られ、それぞれが数Hzの共振周波数を持った振子(pendulum)になっています。共振周波数以下では固定され、それ以上では自由というわけです。この振子は、地面振動を減衰させる役割もします。しかしこのままでは振子の共振周波数のところで大きな振幅をもって揺れてしまいますから、電氣的にダンピングをかけてやります。shadow sensorが光軸方向、auxiliary laserとposition sensitive detectorの組が光軸の傾き方向の揺れを検出し、それぞれlocal controlと呼ばれる制御にまわされます。後者の方がはるかに感度が高いのが、ファブリーペロー型レーザー干渉計の特徴でもあります。さらに透過光をモニターすることによって、ファブリーペローをレーザー光に共振させるglobal controlという制御をかけます。

大橋正健(国立天文台)



平成3年3月20日

印刷発行

定価550円(本体534円)

発行人

印刷所

発行所

〒181 東京都三鷹市国立天文台内

〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町565-12

〒181 東京都三鷹市国立天文台内

電話 (0422) 31-1359

社団法人 日本天文学会

啓文堂 松本印刷

社団法人 日本天文学会

振替口座 東京 6-13595