

論文審査の結果の要旨

氏名 徳成 正雄

本論文では、次世代レーザー干渉計型重力波検出器である LCGT 計画に用いられる予定の大口径サファイアミラーの複屈折を測定する装置を開発し、実際に $\phi 250\text{mm}$ の大口径サファイアの計測を行い光学的な問題点を明らかにした。

日本の重力波検出器の将来計画である LCGT 計画では、低温技術を導入して熱雑音を低減させ、量子限界の感度を実現することを最大の目標としている。しかし、その低温の利点を生かすためには、鏡を構成する基材が低温環境下で良好な機械特性と光学特性を併せもたなければならない。この材料の関しては、選択肢が限られており、ほとんど唯一の候補はサファイアの単結晶である。ただ、これまでの重力波検出器の鏡は高純度の合成石英を採用しており、結晶性の材料を用いた研究例は限られている。そのため、重力波検出器の鏡材料という視点から、材料の基本的な特性を測定・評価することは極めて重要である。これまでの研究で、吸収や散乱という、石英材料と共通の物理量に関しては、いくつかの研究が既に行われており、その情報が評価されてきているが、結晶性の材料に対して、特に重要なパラメータとなる複屈折特性の測定例は、重力波検出器で要求されるような大型（口径 25cm 、厚さ 15cm ）の結晶に対してはほとんど無い。本研究では、その点に着目し、LCGT 計画に必要とされる大型サファイア結晶の複屈折の 2 次元分布を測定する装置を開発し、実際に米国の LIGO 計画で試作された口径 25cm 、厚さ 10cm のサファイア結晶の測定に成功した。本測定装置では、大型結晶の複屈折分布を測定するため、1 点にかける測定の手順と時間をなるべく減らすことが重要な課題となる。そこで、光学系を工夫して偏光状態の測定を行う際の稼動部分の自由度を減らすようなシステムを考案した。さらに、自動測定のアлゴリズムを工夫して、測定点近傍の変動量に効率よく追従していく手法をとった。

実際に、測定を行った結果、結晶成長過程に依存すると思われるかなり大きな不均一性を見出した。このような不均一性に関する情報は、結晶の製造工程に対してフィードバックを行うことにより、その特性が改善されると見込まれる。これは、LCGT に必要とされる仕様のあるものを作製する場合に不可欠なものである。

さらに、複屈折測定の大域的な情報は、測定の光軸に対する結晶の方位角を表している。サファイアは 1 軸性の結晶のため、光学軸と偏光方向に対して、結晶軸を正しく設定する必要があるが、これまで鏡の製造工程で実現できる限界が 0.5 度という値であり、必

要な仕様は 0.2 度以下となっていた。この状況に対して、本研究で実現した装置では、必要とされる値までの測定が可能になった。このことにより、結晶の形状加工の工程に対しても、修正情報を提供できることになった。

以上のように本研究では、結晶材料を鏡に用いる場合にクリアしなければならない問題を明らかにし、そのような結晶に対する十分な評価法を確立した。これらは従来ない新たな知見であり、次世代の重力波検出器の実現に対して大きな貢献をする成果であると判断される。

なお本論文は共同研究として進められたが、論文提出者が主体となって実験、解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断される。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。