

公益財団法人富山第一銀行奨学財団

理事長 野村 充 殿

助成研究成果概要報告書

教育機関名 : 富山大学	助成金額 :	800 千円
研究代表者 : 山元 一広	所属 : 学術研究部理学系	職位 : 准教授
研究題目 : サファイア鏡不純物の磁性による新規検出法の開発と重力波研究の精度向上		

研究概要

アインシュタインが予言した時空のさざ波である重力波は、2015 年の初検出以来、宇宙研究の新たな重要プローブとなった(2017、ノーベル賞)。岐阜県神岡にある重力波望遠鏡(KAGRA)は重力波の国際観測網の大事な役割を担っており、装置のさらなる改善が急務である。改良の重要課題の一つはサファイア鏡(図1の左端の写真)の光吸収である。その原因は鏡内の不純物と示唆されたものの、良い対策が見つからない中で、我々は地球物理で用いられている精密磁化測定技術を基に、新規な測定方法を独自開発することを着想した。この新規の方法で不純物の種類・分布を探り、高品質鏡製作につなげることが本研究の目的である。KAGRAの精度向上のためには、サファイア鏡の不純物を少なくする必要がある、鏡製作時の不純物混入を防ぐ方法と併せて、サファイア中の不純物(種類・分布)の有効な調査法の開発が大事である。従来、蛍光 X 線、ESR 等が試みられたが、KAGRAのサファイア鏡サイズ(20cm 程度)の基材内部の調査に対しては有効性は認められていない。大きなサイズのサンプル内の不純物の種類、量、空間分布の測定のために、地球物理などで使用されている微弱磁性測定装置を用いた不純物検出方法の開発が本申請の目的である。

我々は既に高分解能装置と独自技術を有して国内外で最先端の研究を行っており、さらに推し進める。KAGRA サファイア鏡の製作を担当している信光社の協力を得て、サファイアに磁性粒子(Fe、Co、Ni)を微量不純物として入れた試料を得た。それらのブロック試料の非破壊磁化測定により、各磁性粒子の種類・量・空間分布を評価できるか調べる。測定装置として図1にある SQUID、MPMS、PPMS を用いる。違う種類の不純物を含むサンプルの測定や、条件を変えての測定などの地道な研究により、実際のサファイア鏡の不純物評定の為の標準データを得ることで、KAGRA の重力波研究は格段に向上できる。



図1: サファイア鏡、残留磁化 SQUID、磁気特性 MPMS 装置、物理特性測定(PPMS)装置 (装置は全て富山大所有)。

成果要約

(a) 残留磁化 SQUID(超伝導量子干渉計)による測定

富山大学の残留磁化 SQUID は比較的大きい試料(6cm 径長さ 1m)内の残留磁化とその空間分布を測定することができる。地層内の残留磁化を測定することで地球磁場の変化履歴を調査することに使われてきた。この装置は分担者の酒井によるものである。酒井が担当する残留磁化の研究は、業者から購入したサファイア試料のう

ちの円板状試料(直径約 2cm、厚さ 5mm)を用いて行った。すでに述べたように、より大きな試料(6cm 径長さ 1m)にも対応できるが、サファイア試料は高価であり今回はこのサイズの試料で行った。

不純物ドーブサファイアの 5 試料について、まず購入時の状態での残留磁化(NRM)を測定した。全試料の磁化強度は非常に弱く、測定精度の限界であった。その中では、Crドーブ 試料の磁化が強かった。

その後、パルス磁場(0.5T、1.0T)を印加し、獲得された残留磁化を研究した。各試料において、不純物強磁性体を示すかなり強い有意な磁化が確認できた。その他の特徴として、以下のことがわかった。

(1)Co ドーブ試料には青色と緑色の 2 種類があったが、磁化強度(単位質量)の比較では、青色試料の方が緑試料よりも 5 倍以上強かった。また交流消磁による保磁力分析では青色試料は緑色試料よりかなり高い保磁力が確認された。

(2)Cr ドーブ試料にも残留磁化があり、強磁性を示した。しかも磁化強度は Ni ドーブ や Co ドーブの試料より強かった。本来、Cr およびその酸化物は、常温以下では強磁性で無いと知られており、 Cr ドーブ試料には他の磁性不純物が入っている可能性がある。

(b) 磁気特性精密測定システム MPMS による測定

山元によって富山大学の MPMS で不純物入りサファイア試料(2mm*2mm*10mm)の磁化の温度依存性 2K から 300K まで測定した。これらの試料はより大きい基材から切り出したものである。サファイア自体は温度に依存しない反磁性を持ち、不純物は温度に依存する常磁性をもつことを利用して後者（の濃度）を測定データから見積もることができる。すでに Ni や Co などが入っているサンプルを測定していたが、同一基材から切り出された違う試料を測定した。この結果、その違いは数%程度であった。これは大きな基材の中でのドーブ量の相対的な揺らぎが桁として%であることを示している。また 2 種類以上の不純物がドーブされたサンプルの測定も始めている。また酒井の SQUID 測定から意図的にドーブされた以外の不純物が混ざっている可能性が示唆されたため、その観点からも測定を進める予定である。

(c) その他の測定

磁性不純物があると低温での比熱がその影響を受ける。富山大学の極限環境先進材料評価システム PPMS によって既に 1 種類の不純物をドーブした試料は桑井によって測定済みであるが、2 種類以上ドーブした試料を測定する準備を進めている。

さらに福井大学遠赤外領域開発研究センターの藤井 裕教授との共同研究に着手した。福井大学の ESR(電子スピン共鳴)を用いて、富山大学で開発された方法と比較することが目的であり、すでに得られた結果を比較検討している。

研究成果発表状況	雑誌論文、学会発表、図書、新聞掲載、作成 Web ページ、特許権等の出願・取得状況		
経費の執行状況	区 分	執行額(円)	備 考
	物品費 不純物ドーブサファイア	330,000	
	物品費 液体ヘリウム	324,500	
	物品費 オートドライデシケータ	78,584	
	物品費 真空グリース	50,578	
	その他 磁気特性精密測定システム 使用料	16,338	