

平成 26 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：KAGRA(LCGT)のための単結晶サファイア懸架の開発(X)
 英文：Development of Sapphire Mirror Suspension for KAGRA (LCGT) (X)

研究代表者 鈴木敏一 (高エネルギー加速器研究機構)
 参加研究者 木村誠宏、齊藤芳男、都丸隆行、久米達哉、山本 明 (高エネルギー加速器研究機構)
 春山富義 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)
 新富孝和 (日本大学/高エネルギー加速器研究機構)
 内山 隆、山元一広、三代木伸二、大橋正健、黒田和明 (東京大学宇宙線研究所)

研究成果概要

(1) 結晶面の異なるサファイア接合サンプルの剪断強度を4.2Kで測定し、KAGRAのサファイア鏡懸架で要求される加重による応力に対して十分に余裕のあることを見出した。5mm x 5mm x 10mmのサファイアブロックの5mm x 5mm面同士をHCB(Hydroxide-Catalysis Bonding)法で接合した。接合の結晶面の組み合わせはA面-C面、C面-M面、C面-C面の三種類を用意した。接合したブロックの長手方向の軸周りにトルクをかけ、破断した強度から接合面の最大剪断応力を推定する。鏡の重量は23kgであるが、4本のサファイアロッドで鏡を懸架するため、ロッド1本あたりの荷重は5.8kgとなる。サファイアロッドと鏡を結合する構造が鏡にHCBで接合され、設計上の接合面積から、鏡-結合構造間の接合面の応力は0.5MPa程度となる。これに対して、実験的に見出されたHCB接合の4.2Kにおける最大破断応力は5MPa以上であった。結晶面によって破断応力の最小値に差があるが、もっとも弱かったC-C接合サンプルでも要求値の10倍の強度が得られた。

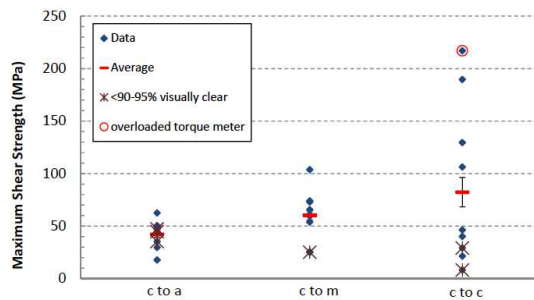


図1. 異なる結晶面の4.2KにおけるHCB強度

(2) サファイア鏡懸架の熱雑音への寄与の推定を行った。各部品と部品間の接合を含む機械損失分布をモデル化し、要素試験(Q値測定実験)から得られる損失の値を上限值として推定される熱雑音がKAGRAの目標感度を損なわないことを示した。(図. 2)

(3) 光学部品の表面保護膜の剥離による帯電を測定した。光学部品の表面のクリーニングと保護の目的で、有機溶剤に溶解した高分子物質を薄く塗布し乾燥させた後、使用する直前に剥がす方法が取られる。サファイア表面からの剥離で、剥離前に比べて約-700Vの電位を生じることが解った。試料の表面積700mm²と静電容量の推定値4pFを用いて換算すると、剥離によって生じる表面電荷密度として4pC/mm²を得た。

< 発表論文 >

K. Haughian, R. Douglas, A. A. van Veggel, J. Hough, A. Khalaidovski, S. Rowan, T. Suzuki and K. Yamamoto, The effect of crystal orientation on the cryogenic strength of hydroxide catalysis bonded sapphire, Class. Quant. Grav. 32 (2015) 075013 (13pp).

Y. Sakakibara, N. Kimura, K. Yamamoto, T. Suzuki, T. Tomaru, S. Miyoki, T. Uchiyama

and K. Kuroda, Calculation of thermal radiation input via funneling through a duct shield with baffles for KAGRA, CQG 29 (2014) 205019.

Y. Sakakibara, N. Kimura, T. Suzuki, K. Yamamoto, D. Chen, S. Koike, C. Tokoku, T. Uchiyama, M. Ohashi and K. Kuroda, A Study of Cooling Time Reduction of Interferometric Cryogenic Gravitational Wave Detectors Using a High-Emissivity Coating, Advances in Cryogenic Engineering AIP Conf. Proc. 1573 (2014) 1176-1183.

A. Khalaidovski, G. Hofmann, D. Chen, J. Komma, C. Schwartz, C. Tokoku, N. Kimura, T. Suzuki, A. O. Scheie, E. Majorana, R. Nawrodt and K. Yamamoto, Evaluation of heat extraction through sapphire fibers for the GW observatory KAGRA, Class. Quant. Gravity 31(2014)106004.

D. Chen, L. Naticchioni, A. Khalaidovski, K. Yamamoto, E. Majorana, Y. Sakakibara, C. Tokoku, T. Suzuki, N. Kimura, S. Koike, T. Uchiyama and S. Kawamura, Vibration measurement in the KAGRA cryostat, Class. Quant Grav. 31(2014)224003(13pp).

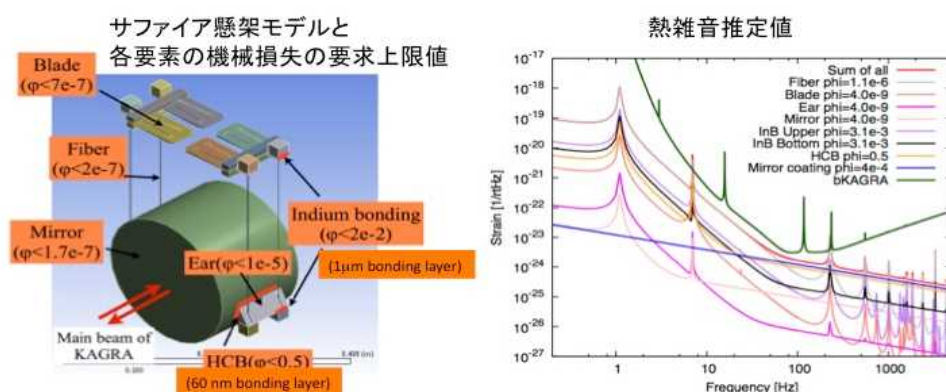


図 2. サファイア懸架モデルと熱雑音の感度への影響の推定。損失の大きさ ϕ は、機械要素の等価複素バネ定数の虚部の実部に対する比で表される。図左の ϕ は各部の損失に対する要求の上限値を示している。