

令和 7 年度（2025） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：KAGRA におけるレーザー強度安定化のための R&D 英文：R&D for the intensity stabilization of the laser system in KAGRA	
研究代表者	森脇喜紀
参加研究者	宮川治, 山元一広, 小林かおり, 遠藤健太, 加藤海翔, 大西美里
研究成果概要 (1) 強度安定化システムのレーザーパワー増強に関する基礎研究 KAGRA の高感度化ではショットノイズを低減するために、レーザーパワーの増強が必要となる。その際には、強度安定化システムのフォトダイオード(PD)に入射するレーザーパワーも増大するため、それに伴う受光感度などの特性変化と、強度安定化への影響について調べている。使用したPDはこれまでシステムで使用されているInGaAs PIN型のExcelitus C30665GH である。このPDは光電流の最大値100mA、受光感度0.8A/Wである。 PDに逆バイアス電圧を印加してPDのレーザーパワー電流応答の線形性を高める事ができる。線形性が落ちている領域では、レーザーパワーの変化に対する応答変化が小さくなるので安定化には適さない。レーザーパワー100mWでの測定では、常温では6.5Vの逆バイアスが必要となる。PD温度75℃まで高めると、逆バイアス電圧は7Vとなる。この応答は温度によるPDの内部抵抗変化によると考えられる。現状のシステムでは、逆バイアス5Vであるため、変更が必要となる。 逆バイアスによりPD応答の線形性が保たれるが、PDでの発熱、暗電流の変化についても注意する必要がある。逆バイアス電圧V_Bを変化させてレーザー光入射時のPDでの熱の発生を測定したところ、吸収したレーザー光のパワーPと光電流I_pによるジュール熱($V_B I_p$)により説明できる。PD応答の線形性が保たれる場合には、受光感度をαとして、$I_p = \alpha P$であり、PDで発生する熱は$(1 + \alpha V_B)P$となる。受光感度が高いPD($\alpha \sim 0.8$)を使用しているので、入射レーザーパワーよりもジュール熱が大きく、また、逆バイアスを大きくすると発生する熱を増大させる。 また、逆バイアス電圧下でのPD温度への暗電流の依存性を測定した。PDでの熱的な励起により暗電流が生じるため、暗電流は温度に関して指数関数的に変化する。逆バイアス電	

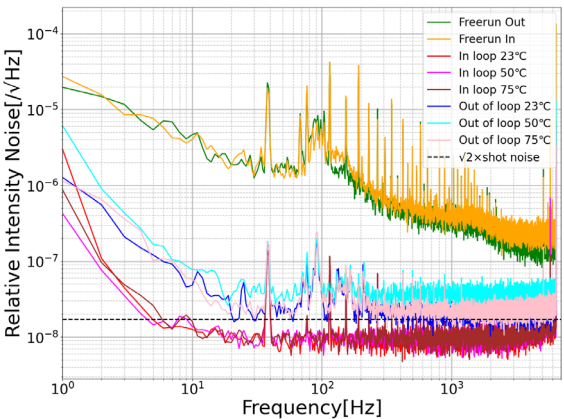


図 1 PD 温度 23, 50, 75℃でのレーザーパワーの安定化の結果。レーザーパワーは in loop, out of loop でそれぞれ、7.9, 7.3 mW, 逆バイアスは 5V である。

圧 $V_B=0V$ では、 $20^{\circ}C$ から $75^{\circ}C$ では暗電流は30倍大きくなり、最大で30nA程度である。 $V_B=5V$ では、逆バイアスなしの場合に比べてこの温度領域で暗電流は100程度大きくなり、1 μA 程度まで増大する。5V-8Vの範囲では、逆バイアスによる暗電流の増大はわずかである。このような暗電流の増大の影響についてはさらに詳しく調べる。

PD温度23, 50, $75^{\circ}C$ において、レーザーパワーの安定化を行った。その結果を図1に示す。このデータでは、常温 $23^{\circ}C$ でのノイズレベルがショットノイズレベルより少し高いが、 $75^{\circ}C$ でもほぼ同じレベルである。 $50^{\circ}C$ でのノイズレベルが高いことについては検討が必要である。このデータでは2kHz以上の周波数領域でのノイズレベルが以前のデータに比べて改善し小さくなっている。この点は、用いたレーザー光源が異なる事に起因すると考えている(以前: Mephisto, 現状: Prometheus)が、kHz領域での安定化のために今後詳しく調べていきたい。今後、回路の逆バイアス電圧を高め、レーザーパワーを増強した場合の安定化まで進め、また、PDの冷却方法について検討する。

学会等発表

加藤海翔, 加藤順平, 森脇喜紀, 宮川治, 三代木伸二, 三尾典克, KAGRA Collaboration,
フォトダイオードの温度変化による特性変化とKAGRA重力波望遠鏡におけるレーザー強度
安定化システムへの影響

日本物理学会北陸支部定例学術講演会 2025/11/29, 富山大学・五福キャンパス.

H. Kato, Y. Moriwaki, O. Miyakawa, N. Mio, KAGRA Collaboration,
Characteristics changes of a photodiode due to temperature variation and their impact on the laser intensity stabilization system,