

マイケルソン干渉計を用いた散乱光測定システムの動作確認

Scattering measurement system using Michelson interferometer

新潟大院自然¹, 新潟大工², 防衛大通信工³, 名古屋大院理⁴, 国立天文台⁵

○菅井一生¹, 村上泰基¹, 鈴木孝昌², 上原知幸³, 佐藤孝²,
川村静児⁴, 阿久津智忠⁵, 大河正志²

Grad. School of Sci. and Tech., Niigata Univ.¹, Fac. of Eng., Niigata Univ.²,

Dept. of Comm. Eng., NDA³, Grad. School of Sci. of Nagoya Univ.⁴, NAOJ⁵

○Issei Sugai¹, Taiki Murakami¹, Takamasa Suzuki², Tomoyuki Uehara³, Takashi Sato²,

Seiji Kawamura⁴, Tomotada Akutsu⁵, Masashi Ohkawa²

1. はじめに 重力波とは、光速で伝播する時空の歪みであり、2015年に米国の重力波望遠鏡 LIGO によって初検出された。日本でも、重力波望遠鏡 KAGRA による重力波の直接検出をめざしている。KAGRA は巨大なマイケルソン干渉計で、重力波によって変化する干渉信号を観測することで、重力波を検出する。KAGRA における雑音の一つに、防振されていない光学素子等から生じる散乱光雑音があり、KAGRA における最終的な残留雑音の候補となっている。そのため、KAGRA の光学素子等の散乱光評価は重要である。そこで、マイケルソン干渉計を用いた、加振状態にある散乱体の散乱光測定法を考案したので、その方法と検証実験の結果について報告する。

2. 散乱係数の測定方法 Fig. 1 に示すように、マイケルソン干渉計の一方の腕の先に試料を設置する。試料の散乱係数を α とし、また、試料からの散乱光とミラーからの参照光の位相差を $\Delta\theta$ とする。一般に、散乱は双方向反射率分布関数 BRDF 等で評価されるが、ここでは垂直入射条件の振幅反射率を散乱係数と呼ぶこととし、評価指標とした。光検出器 (PD) の出力電圧は、次のように表される。

$$V = (1 + \alpha^2)V_0 + 2\alpha V_0 \cos \Delta\theta$$

ここで、 V_0 は、参照光が単独で PD に入射するときの出力電圧に等しい。そして、試料を振動させ、 $\Delta\theta$ を変化させる。振動中心における $\Delta\theta$ を動作点 $\Delta\theta_{OP}$ とし、また、振動を $a \sin 2\pi ft$ とすると、 V の第2項は、次のようになる。

$$V' = 2\alpha V_0 \cos\{\Delta\theta_{OP} + (2\pi/\lambda)2a \sin 2\pi ft\}$$

λ はレーザー波長を表す。 V' は周波数 f と $2f$ の成分を含み、それぞれ次のように表される。

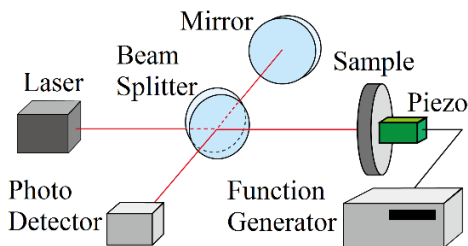


Fig. 1 Optical setup for measurement of scattering coefficient using a Michelson interferometer.

$$V_f = 4J_1(4\pi a/\lambda)\alpha V_0 \sin \Delta\theta_{OP},$$

$$V_{2f} = 4J_2(4\pi a/\lambda)\alpha V_0 \cos \Delta\theta_{OP}$$

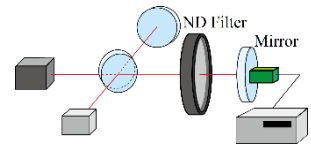
式中の J_1 と J_2 はそれぞれ1次と2次のベッセル関数である。しかし、 V_f と V_{2f} は動作点がゆらぐと値が変化してしまう。そこで、試料の振動振幅を $a = \lambda/4$ に設定して、動作点に依存しない次のような量を導入することとする。

$$V_{f,2f} = \sqrt{(V_f/J_1(\pi))^2 + (V_{2f}/J_2(\pi))^2} = 4\alpha V_0$$

$V_{f,2f}$ には α が含まれていることから、この値を基に散乱係数を決定することができる。

3. 検証内容と結果

考案した測定原理を検証するため、Fig. 2 に示すように、パワー透過率 α' の ND フィルター



(ND) を用いて散乱光を模した実験を行った。光は ND を往復するので、光の振幅を α' 倍に弱めることができる。そして、ND なしのときの $V_{f,2f} = V_{f,2f,0}$ に対する、ND ありのときの $V_{f,2f}$ の割合 $V_{f,2f}/V_{f,2f,0}$ と α' の関係を調べた。その結果を Fig. 3 に示す。これより、 $V_{f,2f}/V_{f,2f,0}$ が α' におおよそ等しく、 10^{-4} まで散乱係数を測定できることが分かった。

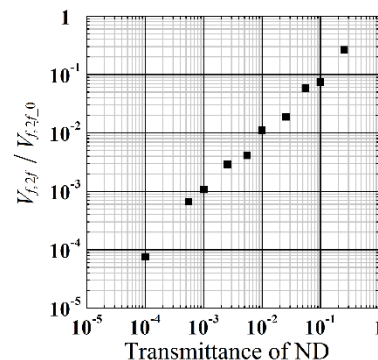


Fig. 3 Measured values of $V_{f,2f}/V_{f,2f,0}$

4. まとめ マイケルソン干渉計を用いた散乱光測定法を提案し、測定システムを構築した。測定原理の検証を行ったところ、 $V_{f,2f}$ の値から散乱係数を決定できることが分かった。今後、光学素子や光学材料を対象に、加振状態での散乱光の評価を行う予定である。