

極微小光学位相変化計測装置

滝沢 國治^{*1}・金 蓮花^{*2}

Optical heterodyne interferometer consisting of the Mach-Zehnder,
Michelson and multiple-reflection interferometers

Kuniharu TAKIZAWA^{*1}, Lianhua JIN^{*2}

光の波動性を利用した干渉計としては、光速計測で名高い Michelson 干渉計を始めとして、Twyman-Green, Jamin, Fabry-Perot, Mach-Zehnder などを冠する様々な干渉計が知られている。これらの干渉計を利用すると、図 1 に示すように波長 λ から $\lambda/10^4$ 程度の距離を測定できる。干渉縞の移動本数を計測すれば $10^4\lambda$ から $10^5\lambda$ の長距離も計測できる。さらに、地中深くに数 100m の真空の光路をもつ Michelson 干渉計を設置すれば、 $\lambda/10^{10}$ から $\lambda/10^{13}$ の変化を測定することも可能であり、重力波検出を目指した大規模な研究が進行中である。¹

しかし、 $\lambda/10^4$ から $\lambda/10^9$ の範囲を簡単に計測できる干渉計はまだない。この領域を測定できれば、①これまでマクロ計測しかできなかった電気光学効果、圧光学効果、圧電効果、光弾性効果、ファラデー効果などをミクロな領域で精密に測

定することができるため、①新しい材料評価技術や新デバイスの創製が可能、②光と物質表面の相互作用の理解や光ナノデバイスのへの応用、③電界、磁界、応力、温度などの物理現象の超高感度計測、など様々な分野への波及効果を見込むことができる。

この未開の領域を計測できる簡便な光学干渉計を開発するため、図 2 に示すような Mach-Zehnder 干渉計、Michelson 干渉計および多重反射干渉計を組み合わせた新しい干渉計を設計・試作した。

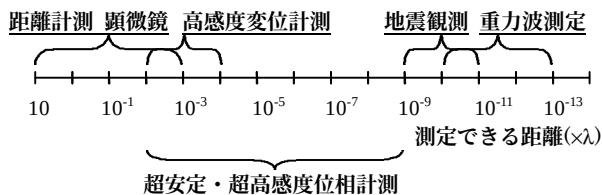


図 1 測定できる領域

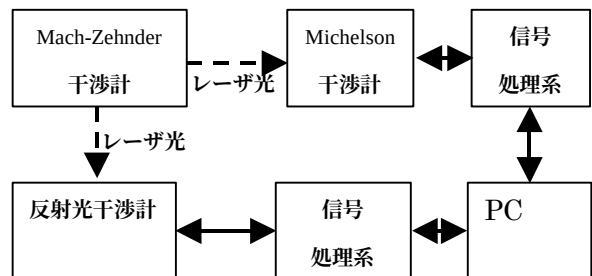


図 2 極微小光学位相変化計測装置の構成

この干渉計の心臓部は 2 個の音響光学変調器 (以下 AOM と略記する。AOM の駆動周波数: 80.000000 MHz, 80.050000 MHz) を備えた Mach-Zehnder 型光ヘテロダイン干渉計である。2 個の音響光学変調器に He-Ne レーザ光 (周波数: 4.7375×10^{14} Hz) を通過させると、ドップラー効果により 2 つのレーザ光の間に $\Delta f = 50$ kHz の周波数差が発生する。これらの光を

^{*1} 成蹊大学理工学部物質生命理工学科教授
(Professor, Dept. of Materials and Life science)

^{*2} 成蹊大学理工学部物質生命理工学科助手 (Research Associate, Dept. of Materials and Life science)

Michelson 干渉計および多重反射干渉計に設置された試料を通して光検出器に導くと、 Δf およびその高調波からなるヘテロダイン信号が得られる。信号処理系にそれぞれ $\alpha \Delta f$ Hz, $\beta \Delta f$ Hz, $\gamma \Delta f$ Hz のトリガー信号を加え、 α , β , γ の比率を適当に変え、このヘテロダイン信号から試料の光学定数を精密に測定することができる。

装置の外観を図3に示す。3つの光学干渉計を2 m x 1.2 m の防振台上に設置し、その周辺にAOM 駆動信号発生器、ロックインアンプ群、ロックインアンプ用同期信号発生器、マルチメータ群、パーソナルコンピュータなどを配置した構成である。きわめて微弱な位相変化を読み取るため、AOM 駆動信号発生器およびロックインアンプ用同期信号発生器は、1度の室温変化に対して、発振周波数(80 MHz)の変動が1 Hz 以下になるように設計した。

この AOM 駆動信号発生器と Mach-Zehnder 干渉計を組み合わせると、きわめて安定した光ヘテロダイン信号を発生させることができる。



図3 極微小光学位相変化計測装置の外観

普通の光学干渉 ($\Delta f=0$ に相当する) では、室内の空気が僅かに揺らいでも干渉信号が不安定になってしまう。これに対して光ヘテロダイン信号は空気の揺らぎや温度変動、光学系の振動の影響をまったく受けないという大変優れた特徴を有している。

現在、Mach-Zehnder 干渉計の精密調整と基礎評価がようやく終了した段階であり、今後、ヘテロダイン光を Michelson 干渉計に導いて精密調整する山場が残されており、全体システムが稼動するまではまだ時間を要する。

ただし、個々の干渉計を用いて少しずつ研究成果が出始めている。例えば、多重反射干渉計を用いた LiNbO_3 結晶の評価では、従来よりも高い精度で実効的電気光学係数 ($r_{33}^E=30.86$ pm/V, $r_{13}^E=9.642$ pm/V) を求めることができた。² 多重反射干渉計は当研究室独特の計測システムである。³ 多重反射干渉計の動作原理は Fabry-Perot 干渉計と同じだが、後者が高い反射率を必要とするのに対し、前者は反射率を出来るだけ低くして計測する点が大きく異なる。

また、He-Ne レーザ、2つの偏向板、 $\lambda/4$ 板、電気光学位相変調素子などで構成されるポラリメータとこの計測装置の信号処理系を組み合わせ、石英の複屈折とその方位角を計測した。その結果、これらの光学特性を高精度、高速度で求められることが明らかになった。⁴

[文献]

1. 新井宏二: 光学技術コンタクト, Vol.41 440-444 (2003).
2. 滝沢國治, 横田雄二, 石山 遥, 花岡秀典: 第 51 回応用物理学関係連合講演会予稿集, 31pZV4 1325 (2004).
3. K.Takizawa, J.O.S.A, Vol.72, 809-811 (1985).
4. L. Jin, K. Takizawa, Y. Otani and N. Umeda Opt.Rev. Vol.12, 281-286 (2005).