

Abstract

A study of optical tomography due to an optical heterodyne method detecting backward scattering light is presented. Heterodyne detection of anti-parallel backward scattering lights by two incident beams has capability of producing tomography of a sample with estimation of optical index change and position for multiple layers. This production can be performed with one-way scanning detection which differs from so-called Computer Tomography methods requiring all-around azimuthal scanning detection.

1. まえがき

光領域に於ける新方式の coherent detection tomography¹⁾ が提案され、CTの需要の高まりと共に実用機の開発が期待されている。新方式に用いられた光ヘテロダイン干渉検出法は従来後方反射光の検出に用いられる事が多く、高精度の変位検出法として研究されている²⁾。本研究では、多層反射物体を考え各層境界からの反射信号を光ヘテロダイン検出し、その位置と各層の屈折率(比誘電率)を測定する方法について報告する。被測定物体の双方向からレーザービームを入射し、反射信号光をビート検出することで、その信号強度比から比誘電率が算出される。本解析では、光ヘテロダイン法として、SLD(スーパー-ルミネッセントダイオード)を用いる方法と波長シフト半導体レーザを用いる場合について検討した。

2. 解析的検討

2.1 SLDヘテロダイン検出法

広帯域で部分的にコヒーレントなSLDを用いて光ヘテロダイン干渉測定法を構成する例をFig. 1に示す。例えば、中心波長860.2nm、FWHM23.6nmのアンリツ製SLDを用いるとコヒーレンス長約700nmを得、同程度の空間分解能を得ることが出来る。SLDの中心周波数を ν_0 、スペクトル幅を $\delta\nu$ 、スペクトル広がり関数を $G(\nu)$ 、可動ミラー速度を v 、被測定物体の測定境界点までの時間遅れを τ_s とすると、ヘテロダイン信号成分強度は次式となる。

$$I_s(t) = 2 E_r E_s G(\nu_0) \delta\nu \cos [2\pi\nu_0 \times (\frac{2\nu}{c} t - \tau_s) \frac{\sin [2\pi(\frac{2\nu}{c} t - \tau_s) \delta\nu]}{2\pi(\frac{2\nu}{c} t - \tau_s) \delta\nu}] \quad (1)$$

この波形のピーク時間と振幅から、 τ_s と反射振幅の情報が得られる。

2.2 FM-LDヘテロダイン法

単一モード半導体レーザに電流変調をして、可動ミラーの無いヘテロダイン干

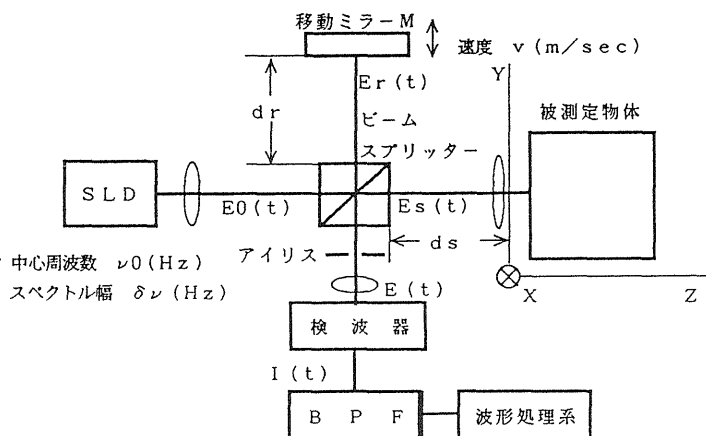


Fig.1 SLD-heterodyne detection for producing optical tomography.

渉測定系を構成することを考える。いま、T秒間に δV だけ波長シフトさせるとすると、ヘテロダイン出力信号強度は次式となる。 $I_S(t) = 2E_r E_s \cos[2\pi\{2\frac{\delta V}{T} \tau_s t + (\nu_0 - \frac{\delta V}{T} \tau_s) \tau_s\}]$, (2) この信号をさらにフーリエ変換すれば、その周波数成分から時間遅れ $\tau_s = \frac{T}{2\delta V}$ と反射振幅が計算される。

2.3 光トモグラフィの解析的検討

Fig.2に示すような多層反射成分からなる被測定物体を考える。図で左側から光ビームを入射させ実線で示すように多重反射が観測される。媒質mの誘電率を $\epsilon_{r,m}$ 、厚みを d_m 、減衰率を α_m とする。透磁率 μ 、導電率 σ は各媒質ではほぼ一定と仮定する。媒質m-1と媒質mの境界での反射係数を $R_{m-1,m}$ 、透過係数を $T_{m-1,m}$ 、媒質mの表面で反射した信号成分強度を $I_{s,m}$ とすると、次式となる。

$$I_{f,m} = K \prod_{k=1}^m T_{k-1,k}^2 \frac{1}{d_k^2} e^{-2\alpha_k d_k} R_{m,m+1}, (R_{n,n+1} = R_{0n}, T_{n,n+1} = T_{0n}) \quad (3)$$

同様に図の右側からの成分は、

$$I_{b,m} = K \prod_{l=m+1}^n T_{l,l-1}^2 \frac{1}{d_l^2} e^{-2\alpha_l d_l} R_{l,l+1}, (R_{n,n+1} = R_{0n}, T_{n,n+1} = T_{0n}) \quad (4)$$

これらの式より、1層目の反射率 R_{01} が既知であれば、順次次式で求めることができる。

$$R_{n,m+1} = \frac{\sqrt{M_{m,m+1}} \cdot R_{01}}{1 - (1 - \sqrt{M_{m,m+1}}) R_{01}}, M_{m,m+1} = \frac{I_{f,m} I_{b,m}}{I_{f0} I_{b0}} \quad (5)$$

さらにこれより各比誘電率が次式で求められる。

$$\epsilon_{r,m+1} = \left(\frac{1 - R_{m,m+1}}{1 + R_{m,m+1}} \right)^2 \epsilon_{r,m}, \text{ or } \epsilon_{r,m+1} = \left(\frac{1 + R_{m,m+1}}{1 - R_{m,m+1}} \right) \quad (6)$$

媒質mの減衰率は $\alpha_m = (\sigma/2) \sqrt{\mu / \epsilon_{r,m}}$, d_m は

$$d_m = \frac{c^2}{2\sqrt{\epsilon_{r,m}} \cdot 2V} (\tau_{s,m} - \tau_{s,m-1}) \text{ for SLD,}$$

$$d_m = \frac{c^2}{2\sqrt{\epsilon_{r,m}} \cdot T} (\tau_{s,m} - \tau_{s,m-1}) \text{ for FMLD, と求められる。}$$

双方向からの線上の上述のデータを、走査することにより、トモグラフィが描画出来る。

2.4 3層媒質のシミュレーション

被測定物体として、3層の異なる媒質からなる物体を仮定して、SLDヘテロダイン法とFM-LDヘテロダイン法による出力波形から、トモグラフィに関する情報への変換をシミュレーションした。Table 1に数値例を示す。

Fig.3は、FM-LDに於ける各方向で観測されるスペクトル成分のFFT計算結果である。

FM-LD法の数値誤差が大きいのはFFTのサンプリングが粗いためである。

3. あとがき

今後さらに検討し実験も試みる予定である。

文献

- 1) 戸村他: 光学, 19(1990)447, 529 他.
- 2) 小本他: 電通学会 OQE 87-153 (1988).

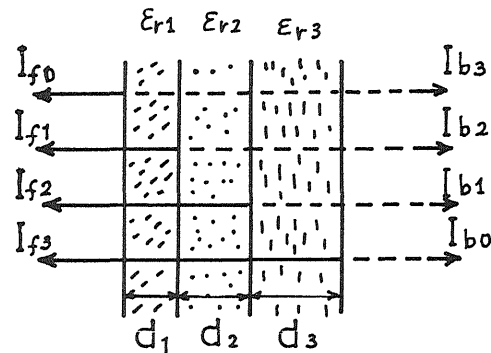


Fig.2 Reflection by a three-layer of dielectric medium.

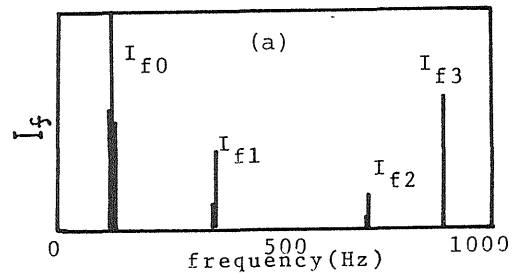


Fig.3 Signal amplitude of FM-LD heterodyne detection.

Table 1 Calculation of $\epsilon_{r,m}$, d_m .

		数値例	SLD	FM-LD
誘電率	ϵ_{r1}	20	19.97	9.975
	ϵ_{r2}	80	103.5	37.94
	ϵ_{r3}	40	36.94	16.99
厚さ (mm)	d1	0.3	0.800	1.137
	d2	0.6	0.515	0.870
	d3	0.4	0.413	0.615