

全ストークス・パラメータが測定可能な 偏光解析器の製作

齋藤研究室 1616204 及川 朋克

1. 背景と目的

偏光は、3D プロジェクションや液晶画面等、幅広い分野で応用が広がり光の重要な特性である。偏光面は電気ベクトルの振動面を表し、太陽光や丸型電球からの光は通常偏光していないが、レーザ光源や液晶画面からの光、水面からの反射光は偏光している。光源の偏光特性を測定することにより、光源に付随する重要な特性を引き出すことが可能となる。

本研究は、偏光を完全に記述する全ストークス・パラメータを測定できる偏光解析器¹を製作することを目的とした。

2. 測定原理

光源の全ストークス・パラメータ S は、光源からの光を回転移相子 M 、直線偏光子 P 、光検出器の順に配置された偏光解析器により測定可能である。光検出器で検出される出力光 S' は、角度 α の回転マトリクスを $R(\alpha)$ とすると、次式で表される。

$$S' = MR(-\alpha)PR(\alpha)S \quad (1)$$

移相子として $1/4$ 波長板を利用し、直線偏光子が完全と仮定すると、検出器の出力 S_0' は、

$$\frac{1}{2}(A + B \sin 2\alpha + C \cos 4\alpha + D \sin 4\alpha) \quad (2)$$

と表される。ここで、 A は直流分、 B は $\sin 2\alpha$ 成分の振幅、 C は $\cos 4\alpha$ 成分の振幅、 D は $\sin 4\alpha$ 成分の振幅である。したがって、ストークス・パラメータは以下のように求められる。

$$S_0 = A - C, S_1 = 2C, S_2 = 2D, S_3 = B \quad (3)$$

3. 実験

3.1 実験方法

本実験システムの概略を図 1 に、偏光解析器の光学系を図 2 に示した。本研究開始時点では、 $1/4$ 波長板が入手できていなかったため、本実験では、これに代えてポラロイド偏光子 1 (回転角度 α) を用いて、システムの動作検証を主眼とした。偏光子 2 (回転角度 β) には

偏光プリズムを用いた。検出器には Si フォトダイオード S2281 を使用した。マルチメータ 7351A は電流計感度が低いため、電流が小さい場合は電流計ではなく電圧計の設定にして、フォトダイオードに $10k\Omega$ の抵抗を接続し、その両端の電圧を計測し、オームの法則により電流を求めた。

光学系は黒いシートを被せて遮光し、次の 4 種類の光源を対象にして測定を行った。

1. RGB 型 LED NSTM515AS
2. グリーンレーザーモジュール 5mw
3. タングステンハロゲン・ファイバー光源 HL-2000
4. ハロゲン電球 13W 6V

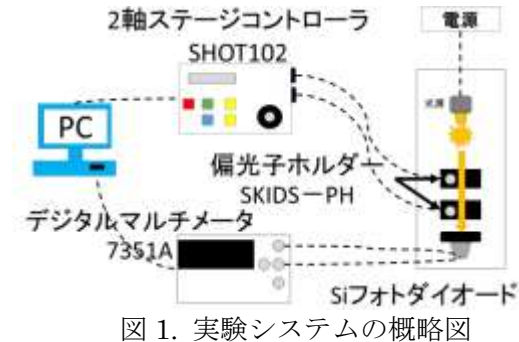


図 1. 実験システムの概略図

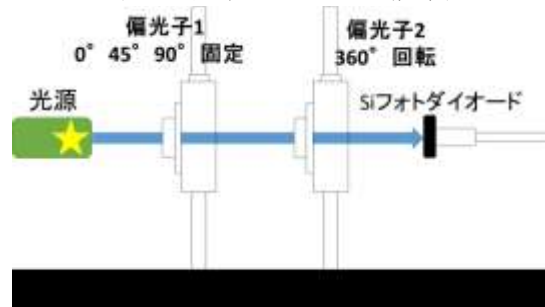


図 2. 光学系の概略図

図 1、図 2 において、偏光子 1、偏光子 2 も自動回転ステージに取り付けられており、これは shot-102 に接続されている。shot-102 の動作は、計測・制御ソフトウェア SGEMCS を使用し、事前に作成した EXCEL の指示ファイルによって制御する。結果は別の EXCEL ファイルに出力されるが、あらかじめ出力ファイルを作成し、実測値がリアルタイムでグ

ラフに表示されるようグラフ作成の設定をした。さらに計測終了後、正弦・余弦関数が実測値に最もフィットする(2)式の各係数を求めるため、EXCELのソルバーを利用した。

3.2. 測定機材

使用した実験器具は、次の通りである。

- ・ 2軸ステージコントローラ shot-102
- ・ デジタルマルチメータ 7351A
- ・ 計測・制御ソフトウェア SGEMCS
- ・ 小型自動偏光子ホルダー SKIDS-PH
- ・ 光学実験台 OBT-500LUU
- ・ Si フォトダイオード S2281

5. 結果

4.1 角度の関数としての出力変化

緑・青 LED についての測定結果とフィット曲線をそれぞれ、図 3、図 4、各曲線の凡例を表 1 に示す。緑・青 LED は、先端が半球型の円筒形状をしている。以下の測定では、円筒軸を光軸と一致させ、直線状に配置した。

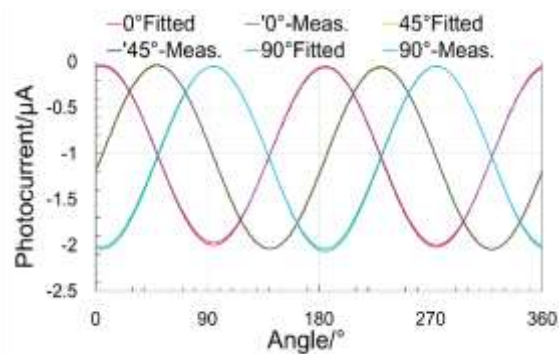


図 3. 緑色 LED : $\alpha=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ のときの出力の β 依存性

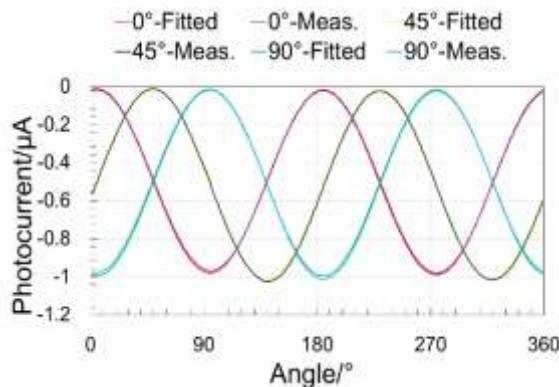


図 4. 青色 LED : $\alpha=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ のときの出力の β 依存性

4.2 導出した各係数

ソルバーを用いたフィッティングによって求めた直流成分 a_0 , \cos 関数振幅 ac , \sin 関数振幅 as を表 2 に示した。

表 2 導出した各係数 (上: 青、下: 緑)

青	a_0	ac	as
0°	-0.498723	0.47416761	0.08309921
45°	-0.517844	-0.0847952	0.49353736
90°	-0.506498	-0.4822186	-0.0806293
緑	a_0	ac	as
0°	-1.019616	0.95928904	0.16940724
45°	-1.040124	-0.170546	0.98209222
90°	-1.040608	-0.9822498	-0.1653127

6. まとめと今後の課題

本研究のまとめと今後の課題は以下の通りである。

- ・ EXCEL ベースのソフトウェアによって、自動回転ステージを制御しつつ、フォトダイオードからの電流をデジタルマルチメータで計測する偏光解析システムを目的通りに構築することができた。
- ・ フィット曲線はいずれも測定結果とほぼ一致しており、システムが正常に動作していることを確認した。
- ・ 偏光子 1 を 1/4 波長板に代えることにより、全ストークス・パラメータを確実に測定できる見通しである。

7. 参考文献

1. T. Saito, K. Ozaki, K. Fukui, H. Iwai, K. Yamamoto, H. Miyake and K. Hiramatsu, "Vacuum Ultraviolet Ellipsometer Using Inclined Detector as Analyzer to Measure Stokes Parameters and Optical Constants - With Results for AlN Optical Constants -", *Thin Solid Films* **571**, 517-521 (2014).
2. E. Collett, "フィールドガイド 偏光" (オプトロニクス, 2008), pp.38-39.