

高精度非接触電界計測のための直行型E0プローブに関する研究

YABE, Yoko / 矢部, 陽子

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013293>

高精度非接触電界計測のための 直行型 EO プローブに関する研究

A TRANSVERSE ELECTRO-OPTIC PROBE SYSTEM
FOR NON-CONTACT MEASUREMENT OF ELECTRIC NEAR FIELDS

矢部陽子

Yoko YABE

指導教員 品川満

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

An organic photovoltaic (OPV) device is a light and flexible solar battery and can be used in various situations. The OPV device is produced by using a roll-to-roll production process, and its performance can be estimated by measuring the electric near fields over it. We developed a non-contact type of electro-optic probe for measuring electric fields of OPV. It detects transverse electric near fields and has higher sensitivity.

Key Words :electro-optic probe, pockels effect, electric near field detection

1. 序論

OPV(Organic Photovoltaic device)は太陽電池の1種である。フィルム状で薄い、軽い、柔らかい、安価といった特徴を持ち、roll-to-roll と呼ばれる製造方法で大量生産される[1]。ロール状基盤の上に有機溶媒を吹き付け直列に繋がったセルを印刷して製造される。OPV の性能評価を製造工程内で行うことができれば、印刷装置の故障の早期発見、不良品の早期発見によるコスト削減が期待できる。OPV は動いているため信号線やグラウンド接地することが難しく、非接触で計測する必要がある。そこで非接触電界計測が可能で、金属を用いておらず計測対象に擾乱を与えにくい EO(Electro-Optic)プローブを用いて評価する方法が提唱されるようになった。

2. EO プローブ

EO プローブは電気光学効果[2]とレーザ光を用いて非接触電界計測を行うことができる。印加する電界の強度に比例して EO 結晶の複屈折率が変化することにより、結晶を通過するレーザ光に偏光変化が起きる。偏光度合を位相差とし電界強度を検出する仕組みである。従来の平行型と直交型で異なるのは、図1に示す通り、レーザ光と電界の交わる向きである。直交型はレーザ光と電界が直交になっており相互作用長が長いので、平行型よりも S/N 比が高くなっている。

EO プローブの構造を図2に示す。LD(Laser Diode)や PD(Photo Diode)などの能動部品が制御装置内にあり、計測対象から離れていることによって、低擾乱を実現して

いる。EO 結晶には 110 カットの ZnTe を用いている。電界強度の成分は(X, Y, Z)に分けることができるが、直交型 EO プローブでは、レーザ光と電界が交わる向きの方向から Z 成分しか検出することができない。

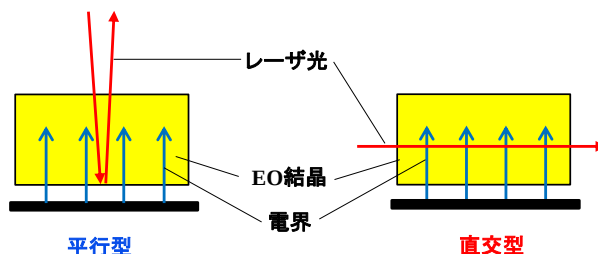


図1 直交型と平行型

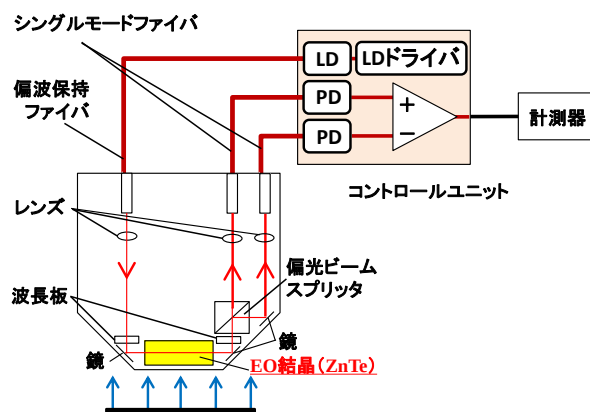


図2 EO プローブの構造

EO プローブを用いた電界計測のためのシステム構成を

図 3 に示す。

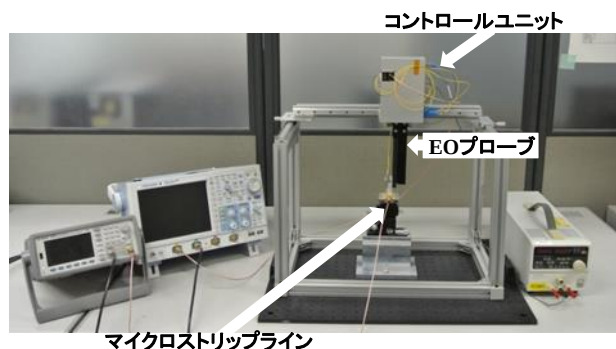


図 3 システム構成

3. 基本性能

(1) 最小検出電圧

直交型の最小検出電圧を図 4 に示す。直交型の S/N 比は 65dB であり、平行型は 40dB であったため、25dB 向上した。

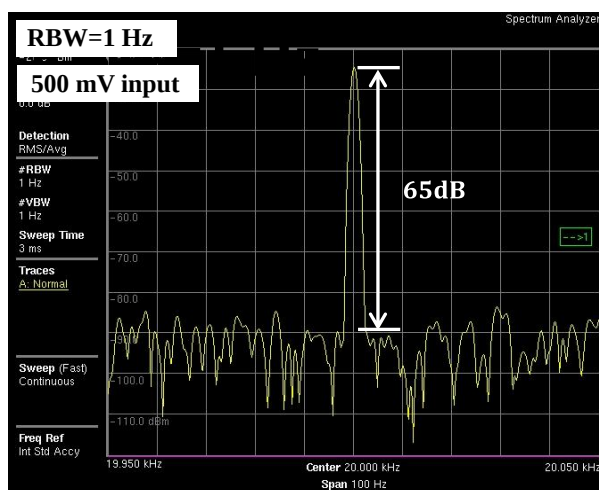


図 4 最小検出電圧

(2) 周波数特性

a) 実測

周波数特性の結果を図 5 に示す。周波数帯域は 20Hz～1MHz となっている。

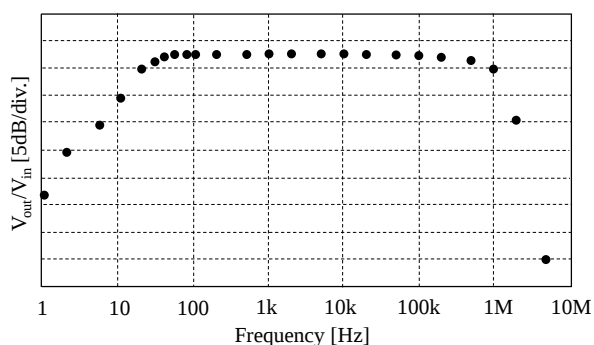


図 5 周波数特性

高域側を制限しているのは受光回路の差動アンプの帯域で、低域側を制限しているのは受光回路のキャパシタが低域側で抵抗のように振る舞うからである。

b) 回路シミュレーション

回路シミュレータ LTspice を用いて周波数特性を検証する。図 6 に示す回路モデルはコントロールユニットに配置されている受光回路と同一のもので、PD 部分はシミュレータにあらかじめ用意されている部品を使わず、PD 等価回路を用いることで内部の動作に不明瞭な点がないよう工夫した。

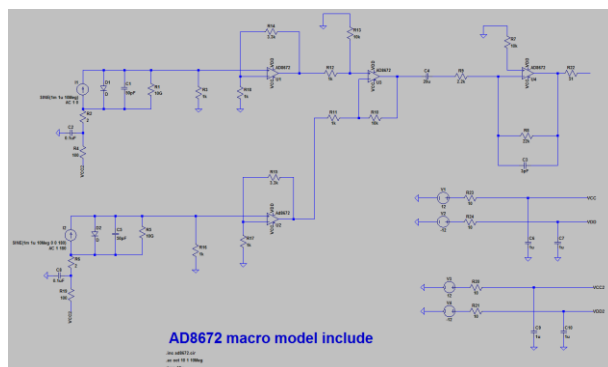


図 6 回路モデル

受光回路の簡略化したものを図 7 に示す。受光回路は利得が 800 倍となるよう設計されている。

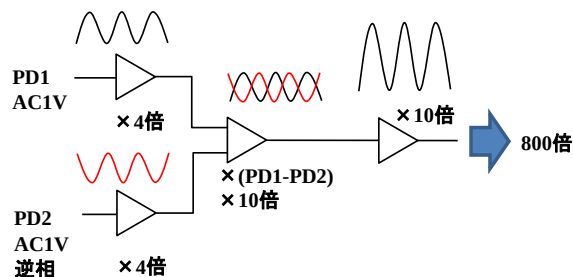


図 7 簡略化した受光回路

得られたシミュレーション結果を図 8 に示す。

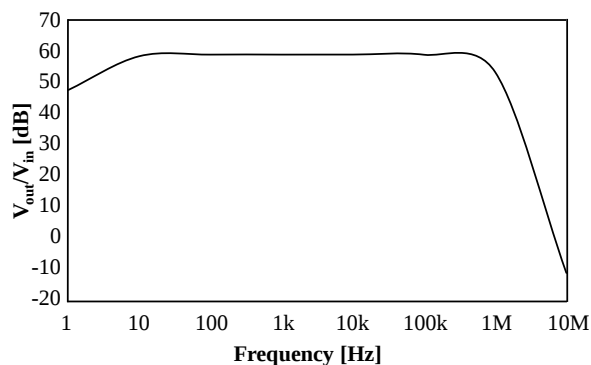


図 8 周波数特性

シミュレーションにおける受光回路の周波数帯域は 3Hz～800kHz となっていた。また、 V_{out}/V_{in} は最大 58dB の利得となっており、これは 794 倍の増幅であるので、受光回路の設計上の増幅度と一致する。

4. 横方向距離依存性

(1) 実測

マイクロストリップ線路の中央を 0mm, ZnTe の横方向の距離を x として $x=-2.5\sim 2.5\text{mm}$ まで 0.5mm 間隔で移動させたときの電界分布を図 9 に示す。 $x=0.0\sim 2.5\text{mm}$ で電圧が高くなり、本来対称になるはずのグラフが非対称になった。

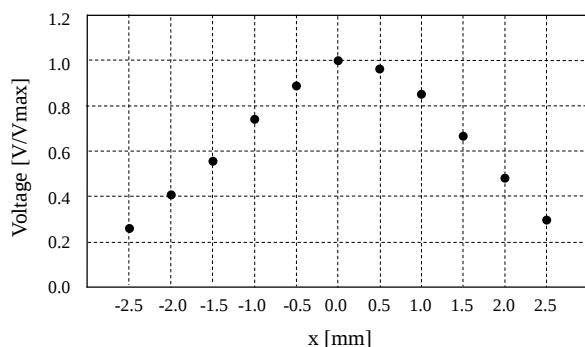


図 9 横方向依存性

(2) 電磁界シミュレーション

FDTD(Finite-difference time-domain method)と呼ばれる方法を用いて横方向距離依存性を検証する。FDTD ではモデルを含む解析領域を微小直方体に分割し、全セルにおいてマクスウェル方程式[3]を電界と磁界交互に解いていく[4]。

図 9 が非対称になったのは、ZnTe が付いているガラスが原因と考え、ガラスなし、片側ガラスあり、両側ガラスありの 3 パターンについてシミュレーションを行った。横方向依存性の実験と同様に ZnTe を $x=-2.5\sim 2.5\text{mm}$ まで 0.5mm 間隔で移動させ、ZnTe 中央の Z 成分の電界をプロットした。ガラスなしを図 10, 片側ガラスありを図 11, 両側ガラスありを図 12 に示す。

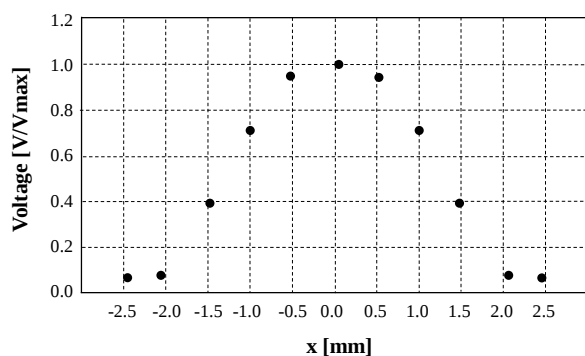


図 10 ガラスなし

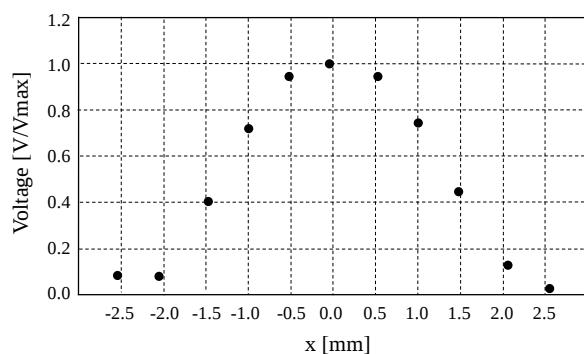


図 11 片側ガラスあり

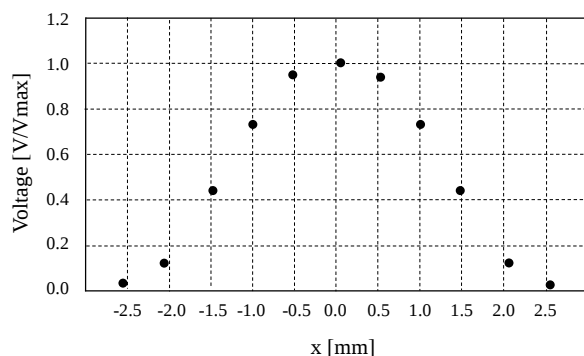


図 12 両側ガラスあり

図 10～12 を確認すると、ガラスなしと両側ガラスありではグラフが対称になっていた。片側ガラスありのときの電界分布は図 11 に示す通りガラスのあるほうで電圧値が強くなっている。よって、グラフが非対称である原因はガラスにあると考えられる。

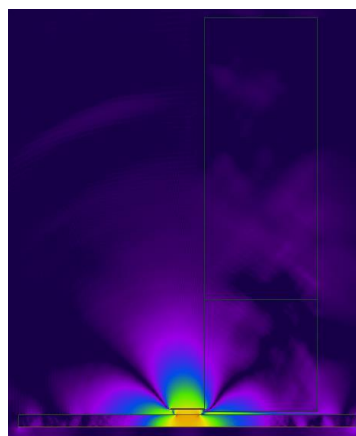


図 10 片側にガラスがあるときの電界

5. 結論

本研究は直交型 EO プローブのレーザ光と電界の交わる向きが垂直になるよう工夫したことにより、平行型よりも S/N 比が 25dB 向上したことを示した。また、基本性能で得られた横方向依存性では、対称になるはずのグラフが非対称になっていたことに着目し、FDTD を用いて検証した結果、ZnTe が付いているガラスの影響を受けて

電界が乱れていることが判明した。対策としてはガラスを両側に取り付けて左右対称な構造とすればよいと考えられる。今後は直交型 EO プローブを製品化させるために、計測の高速化が必要と言える。高速化のためには OPV のセル 1 点の計測時間を短くできるよう、さらなる高感度化が必要である。

参考文献

- [1] S. Logothetidis, “Flexible organic electronic devices: Materials, process and applications,” Mater. Sci. Eng. B, Vol.152, No.1-3, pp.96-104, 2008.
- [2] F.Pockels, Lehrbuch der Kristalloptik, Leipzig: Teubner, 1906.
- [3] 砂川重信, “電磁気学の考え方,” 岩波文庫, 1993.
- [4] 宇野亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 1998.