

機関番号：55201

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560311

研究課題名 (和文) 3次元リアルタイム空間電荷顕微鏡の開発

研究課題名 (英文) Development of 3D real time space charge measurement microscope

研究代表者

福間 眞澄 (FUKUMA MASUMI)

松江工業高等専門学校・電気工学科・教授

研究者番号：70228930

研究成果の概要 (和文)：パルス静電応力 (PEA: Pulsed Electro-Acoustic) 法は、誘電体中の電荷分布を測定する技術であり絶縁材料の信頼性評価等に広く利用されている。高分子絶縁材料中の空間電荷は三次元に分布し、かつ過渡的に変化するため多次元かつ短時間間隔で測定可能な測定装置の開発も望まれている。これまで複数の圧電素子 (センサ) を用いた短時間間隔で測定可能な2次元空間電荷分布装置が開発されている。しかしながら、従来の装置は複数のセンサ信号を同時に測定記録するためにセンサ数の A/D 変換器 (ADC) が必要で装置コストが掛るなどの問題があった。本研究ではこの問題点を改善するために短時間で複数のセンサ信号を切替え平均化し記録する空間電荷分布測定装置を試作した。

研究成果の概要 (英文)：Real time space charge measurement systems are also required to observe the localized space charge distribution in insulating materials. Since the space charge behavior is generally transient, a real time measurement system will be also required in the two or three dimensional (2D or 3D) space charge measurement systems. However, a multi-sensor 2D PEA system has been developed; the number of sensors is limited by A/D converter channel, because the cost of A/D converter is expensive. An improved 2D space charge measurement system in lateral and thickness direction for transient space charge has been developed using the sensor array and semiconductor analog switch unit in the PEA method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：電子・電気材料工学

キーワード：空間電荷, 3次元, 高速測定, 高電圧, 絶縁材料

1. 研究開始当初の背景

絶縁材料は、電力輸送等に必要電力ケーブルなどの電力機器の信頼性を維持する上で重要な役割を担う。空間電荷分布測定は、絶縁材料の表面および内部に蓄積する電荷

(電界, 電位) 分布を測定する技術であり、電気・電子機器の絶縁材料の性能評価、絶縁材料開発に利用されている。パルス静電応力 (PEA) 法は試料に高電圧を印加しての測定中に絶縁破壊が発生しても装置に影響がな

いことなどの利点から、現在は世界的に広く利用されている。実用状態の電気・電子機器で使用される絶縁材料中の空間電荷分布は、3次元に分布し、かつ過渡的に変化する可能性が高く、3次元かつ短時間間隔で測定可能な空間電荷分布測定装置の開発が望まれている。これまで国内外で2次元から3次元の空間電荷分布測定技術の研究が進められている。しかし、これらの従来の音響レンズを用いた測定方法等では、3次元の空間電荷分布が測定可能で、位置分解能を高くできるが短時間間隔測定が難しく、過渡的に変化する空間電荷分布を測定することが困難であった。

2. 研究の目的

報告者はこれまでの研究から2次元かつ短時間間隔で空間電荷分布測定をPEA法で行う場合には、センサを多数配置すれば同時測定が可能であることを明らかにした。そして、短時間間隔で2次元の空間電荷分布を測定する装置をこれまで開発してきた。本研究では、これまで開発した2次元の空間電荷分布測定装置をさらに低コストでかつ3次元測定が可能な装置を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) センサ走査型空間電荷分布測定装置

試作した空間電荷分布測定装置を図1に示す。本装置では、従来の装置と同様に、下部電極にセンサ(PVDF:厚さ9mm,幅2.5mm,長さ10mm)が3mm間隔で10個取り付けられている。センサ信号の増幅に、高帯域アンプ(ZFL-500LN, Mini-Circuits製, 500MHz, 24dB)を各センサに接続した。

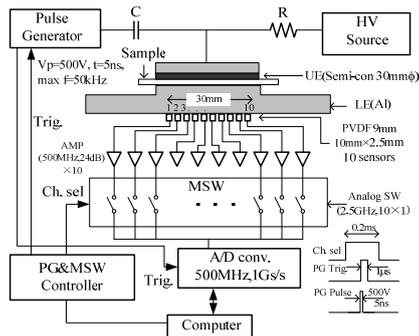


Fig.1 Schematic diagram of real time sensor scanning PEA system

パルス電圧印加には、半導体リレー式のパルス発生器(PG:ファイブラボ製,最大繰り返し周波数50kHz,パルス:高さ500V,幅5ns)を使用した。試作する装置では、増幅された各センサ信号を短時間間隔で切替え、ADCに記録できるようにする必要がある。この方法を実現するには、アナログスイッチ回路(MSW)とその切替えとパルス電圧印加の

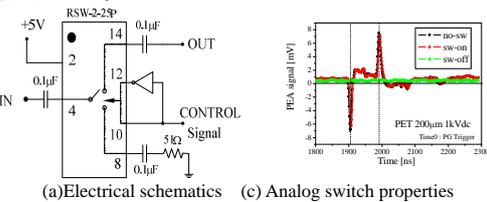
タイミングを制御する装置(PG & MSW コントローラ)が新たに必要になる。ADCには記録と平均化が可能なアキリスジャパン(株)製のADC(AP235, 8bit, PCI, 500MHz, 1Gs/s)を利用した。以下に試作したMSWとPG & MSW コントローラについて示す。

(2) マトリックススイッチ (MSW)

空間電荷分布測定におけるセンサ信号は数100MHzの周波数成分を含む。このため高周波信号を高速で切替えることが可能なアナログスイッチ(Mini-Circuits製, RSW-2-25P:50, DC-2.5GHz, insertion loss: 1-2dB)を利用した。10入力x1出力のMSW(10x1)を実現するために図2(a)の回路をプリント基板上に10個配置した[同図(b)]。実際のセンサ信号の切替え時動作を図2(c)に示す。この結果から、このアナログスイッチはMSWの素子として利用できることがわかった。

(3) PG&MSW コントローラ

使用するADCには、入力端子は1つであるが、予めメモリをセンサ数分のフレームに分割することで、複数のセンサ信号を測定、平均化および記録する機能がある。これら機能を利用するには、PG, MSWおよびADCの動作開始をトリガ信号等により制御する必要がある。それらの制御を行う装置(PG&MSW コントローラ)は、論理回路(FPGA: Field Programmable Gate Array)とPIC(16F884)等を用いて製作した。図2(b)右はMSWのFPGAである。ADCから転送されたセンサ信号は、デコンボリューション処理により2次元空間電荷分布として連続的にパソコンの記録装置(ハードディスク)に保存される。



(b) 10x1 Analog switch
(left: Analog SW right: Control logic IC)
Fig.2 10x1 Matrix switch unit

4. 研究成果

研究成果として、上記に示した装置を用いて、厚さ0.125mmのポリイミドフィルム(PI:東レ, カプトン, 500H)に直流2kVを印加して試料断面の空間電荷分布(3次元空間電荷分布)を測定した。図3に測定結果を示す。この測定では、10個の各センサを0.4msで切

替えながら、S/N 比を向上させるために各センサ信号について 1000 回の平均化処理を行った。図より電極と試料界面に電圧印加による誘導電荷が測定されていることがわかる。

次に、厚さ 0.1mm の低密度ポリエチレン (LDPE: 三菱化学製, LK-30) の 3次元空間電荷分布を直流電界 15kV/mm において測定した。平均化処理は 100 回とした。測定時間は 2次元空間電荷分布の 1画面測定に約 1秒 (10 センサ×0.4ms×100 回+信号処理と保存 0.6s) かかった。図 4 は、1 秒間隔で LDPE フィルムに発生するパケット電荷の挙動を測定した結果である。LDPE 中で起こる 3次元パケット電荷の挙動を連続的に測定・記録した。

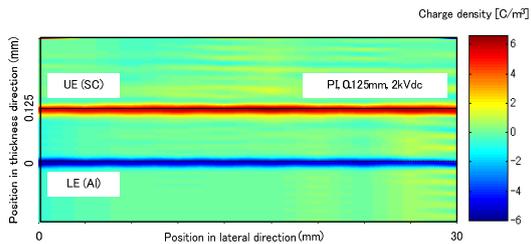


Fig.3 2D space charge distribution in 125µm thick PI film under +2kV dc

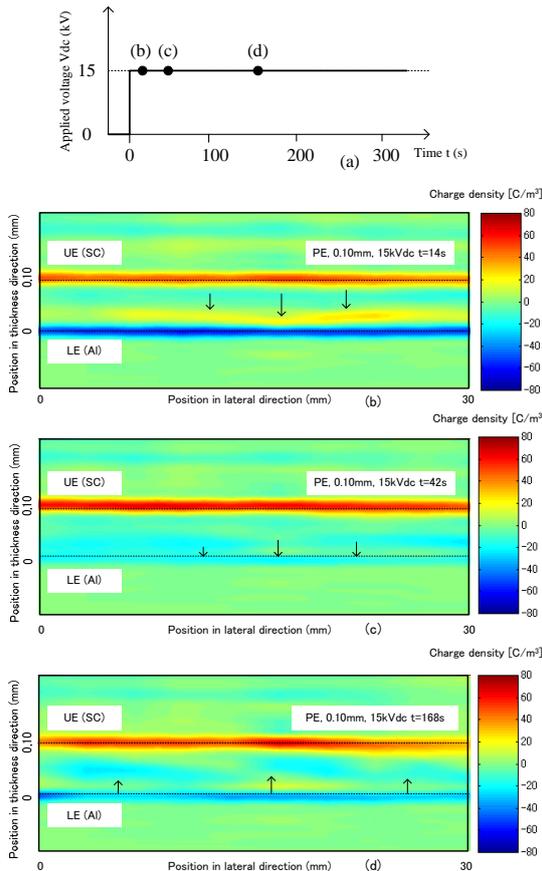


Fig.4 2D space charge dynamics in 100µm thick LDPE film under 15kV step voltage, [t:time after applied voltage, (a) applied voltage, (b) t=14s, (c)t=42s,(d) t=168s, →:movement of packet charge, SC : Semi-conducting electrode ,Al: Aluminum electrode]

パルス静電応力法を利用した 2次元空間

電荷分布測定装置を試作した。結果から、従来よりも装置コストを抑え、絶縁材料中の 2次元空間電荷分布を連続的に測定することが可能な装置を実現できることがわかった。

以上の結果は 2次元の結果である。本結果からセンサ配置を単にマトリックス状に変更するだけで 3次元の空間電荷分布測定装置に実現ができることは明らかである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- (1) 福間真澄, センサ走査型空間電荷分布測定装置の試作, 電気学会論文誌 A (2011.2, 投稿済・掲載決定)

[学会発表] (計 8 件)

- (1) Masumi.Fukuma, Naohiro, Masuda, Kaori.Fukunaga, "Development of Sensor Scanning Type Charge Measurement System", 2010 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Vol.1, pp.278-281 (2010.10.17-20), Purdue University West Lafayette, Indiana, USA

- (2) 福間真澄, 「センサ走査型空間電荷測定装置の試作」, 第 4 1 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, pp.241-242, (2010.11, 15-17), 秋田

- (3) 田中康寛, 福間真澄, 村上義信, 三宅弘晃, 「PEA 法による空間電荷分布測定の校正法標準化と応用測定の開発技術調査専門委員会活動概要」, 第 4 1 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, p.272, (2010.11, 15-17), 秋田

- (4) 益田直弥, 福間真澄, 「空間電荷分布の 2次元リアルタイム測定」, 平成 2 2 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, p. 570, 2010.10.23, 広島市立大学

- (5) 益田直弥, 福間真澄, 「センサ走査型空間電荷分布測定装置の開発 (II) -マトリックススイッチ (1×10) を用いた 2次元 PEA 装置-」, 平成 2 1 年度電気学会中国支部第 2 回高専研究会発表講演予稿集, pp.8-10, (2010.3.5) (広島・中国電力(株))

- (6) 益田直弥, 布野竜二, 福間真澄, 「センサ走査型空間電荷分布測定装置の試作」, 平成 2 2 年電気学会全国大会 講演論文集, 東京, 2 分冊, p.56, (2010.3.17-19)

- (7) 益田直弥, 福間真澄, 「2次元空間電荷分布測定装置用アナログスイッチの試作」, 平成 2 1 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, p.308, 2009.10.17, 岡山県立大学

- (8) 益田直弥, 福間真澄, 「センサ走査型 2次元空間電荷分布測定装置の開発」, 第 4 0 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, pp.205 - 206 (2009.8, 26-28), 松江

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福間真澄 (FUKUMA MASUMI)

松江工業高等専門学校・電気工学科・教授

研究者番号：70228930