

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560375

研究課題名(和文)レーザー援用微粒子ジェット噴射埋込法による高精度静電容量素子の高速形成技術の開発

研究課題名(英文)Development of high speed formation technology of high precise capacitance element by laser assisted powder jet implantation method

研究代表者

鈴木 勝彦 (SUZUKI, Katsuhiko)

仙台高等専門学校・総合科学系理数科・教授

研究者番号：80187715

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：熱可塑性樹脂基板内に、静電容量素子を4つ同時に埋込形成できる装置を設計・製作し、それを制御するソフトを完成させた。同じ形成時間で4つ同時に形成可能になり、高速化が実現された。装置が高精度形成可能かどうか確認するため、1素子形成に限定して、積層数変化及び電極面積変化については、決定係数0.999の高精度に形成可能ことが確認された。一方、誘電体層の厚さ変化について、当該方法で誘電体層を往復形成すると、静電容量が往復回数に関して粉碎効果のため、指数関数変化することが見出された。最終的に赤外線レーザーでもグリーンレーザーでも4つ同時に作製可能ことが確認され、高速化、高精度化が実現された。

研究成果の概要(英文)：I designed the manufactured device which could form implanted four capacitance elements at the same time in a thermoplastic resin substrate, and the software for the equipment was also completed, which means that speedup of manufacturing was realized. It was confirmed that the decision coefficient on number of the laminating dependence and electrode area dependence was highly precise such as about 0.999. On the other hand, it was found that the capacitance value changes exponentially on the number of times to commute of formation of electrode layer because of crush effect of particles by jetting. Finally it was confirmed that the implanted four capacitance elements could be formed at the same time by using either of the infrared laser and the green laser.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：作製・評価措置 プリント基板 静電容量 埋め込み

1. 研究開始当初の背景

現在、プリント基板の材料はほとんど熱硬化性樹脂を使用しているため、難燃性のため環境負荷が大きく社会問題になっている。そのため、(株)デンソーではPALAP技術と呼ばれる技術を開発している。メッキ配線した熱可塑性樹脂にチップ型積層コンデンサー素子やチップ抵抗素子、チップインダクタ素子の他にICチップをマウントして、圧縮加熱してこれらを埋め込む方法である。この方法では、これらの能動素子、受動素子は予め作製しておいたものを使用するので、圧縮加熱時に、少なからずこれらの影響を受けてしまいかねないというデメリットがあり、在庫管理も必要とされる。また、レーザー援用インクジェット法という方法も考案されているが、飛散防止やインクジェットの威力の制限から基板に埋め込むということは得意としない。このように、熱可塑性樹脂基板に有利な技術、回路形成技術が開発されているものの、いくつかの難点を抱えていた。

2. 研究の目的

一方、本技術は、熱可塑性樹脂基板にレーザーを照射しながら、受動素子、配線を直接埋め込み形成する方法なので、圧縮加熱が不要なため素子の形成時の値からのずれや歪が生じないというメリットがあると共に素子の在庫管理は不要というメリットも兼ね備えている。PALAPでは既成素子を使用するので、その製造時間が短縮されるものの、本技術では、直接素子を形成するため、その形成時間を必要とするデメリットがある。しかし、PALAP技術において、使用する素子の製造時間まで含めて考えて比較すると、本技術の方が非常に製造時間の短い方法と言える。本技術のこの有利な点を更に優れた技術とするために、素子形成時間をなるべく短縮する必要がある。そこで本研究では、一番時間のかかる積層キャパシタの高速形成技術を開発することを目的とした。更に、本技術を実用化するため、高精度化を開発の目的とした。

3. 研究の方法

今回、レーザー光をハーフミラー、ビームスプリッター、反射鏡、レンズを使い4つに分岐して4素子を同時に高精度に積層キャパシタを形成する技術を開発対象とし、開発研究を行った。

4. 研究成果

(1) 装置作製および制御ソフト

赤外線レーザー用とグリーンレーザー用のハーフミラー、スプリッター、反射鏡、レンズを組み合わせると一つのレーザーで4つ同時に照射でき、同時に微粒子を同一カ所にジェット噴射できる装置を設計・作

製した。その正面、側面からの写真を図1、図2に示す。赤外線レーザーは可視光でないので写真はグリーンレーザーのモノで示す。同時にこれらの制御用のソフトも作成した。その画面も図3に示す。

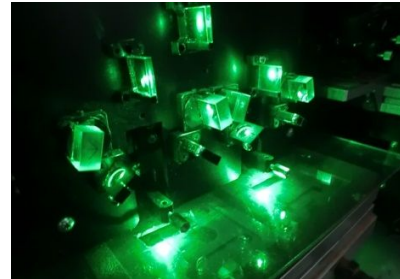


図1 装置正面



図2 装置側面



図3 Visual Basicで作成したプログラム画面

(2) 実験結果及び考察

(a) 静電容量の積層数変化、電極面積変化、誘電体層厚さ変化

高精度に積層キャパシタを形成可能かどうか確認したところ、図4に示すように、6層まで高精度で層数と比例して増加できることが確認された。また、電極面積を変化させて、3層の積層キャパシタの電極面積を変化させて作製したところ、図5に示すように、静電容量の値が電極面積に高精度で変化可能であることが確認された。一方、誘電体層を増加させて容量変化を調べる際に、ジェット噴射の往復回数を変化させて作製したところ、図6に示すように、静電容量が往復回数(誘電体層厚さに相当)と指数関数的な関係になることが見出された。これはその後の考察により、噴射往復回数に応じて誘電体微粒子が層を

形成する時、ジェット噴射時の粉碎効果により誘電率が減少する一方、積層数の増加と共に静電容量が層数に反比例するため、急激に往復回数の増加と共に静電容量が減少したため起きた現象と考えている。AFM 画像などで層内の平均粒径を観察して明らかに粒径が変化していることが確認されている。更に 150 nm 程度の微粒子粒径の時に誘電率が増大するのが見出された。

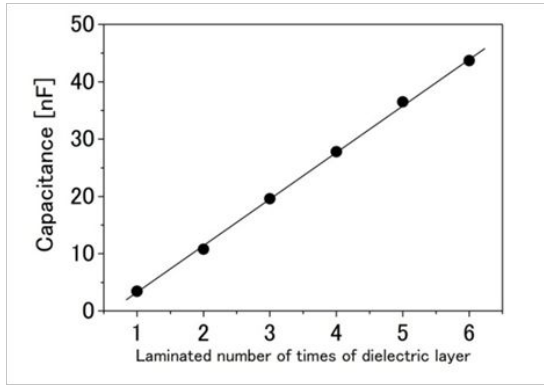


図4 静電容量の積層変化

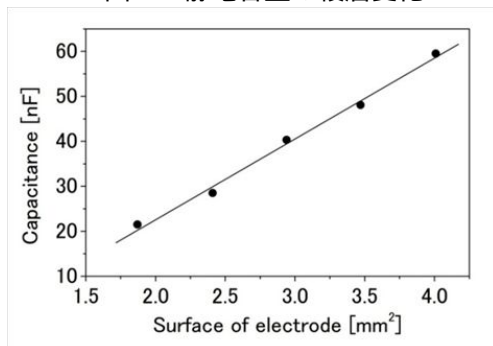


図5 静電容量の電極面積変化

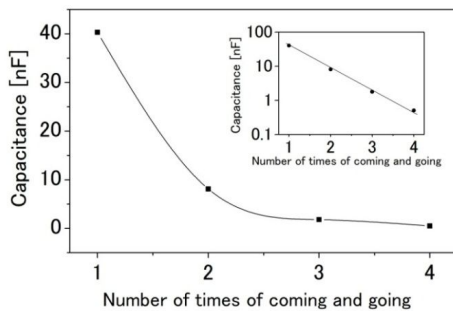


図6 静電容量の誘電体層のジェット噴射往復回数変化

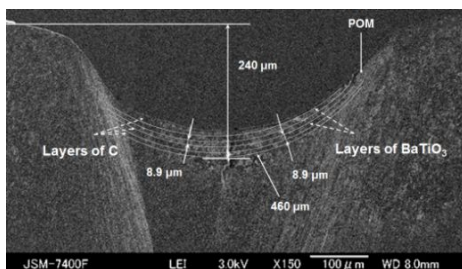


図7 3層積層キャパシタの断面 SEM 像

結果的に、現在、積層数、電極面積、誘電体層厚さを変化させて、600 pF ~ 60 nF までの範囲で高精度に当該技術で静電容量素子を形成可能なことが確かめられた。尚、3 層の積層キャパシタの断面の SEM 像を図 7 に示す。

(b) 静電容量の誘電率変化、印可電圧変化、温度変化

誘電体層の誘電率を異種の誘電体 ( $\text{BaTiO}_3$  と  $\text{SrTiO}_3$ ) 微粒子の混合微粒子 (ボールミル処理) で形成して静電容量変化を調べたところ、混合比に比例して変化可能なことが確かめられた (図 8)。更に、この混合により、静電容量の温度変化 (図 9)、印可電圧変化 (図 10) を改善できる効果もあることが見出された。

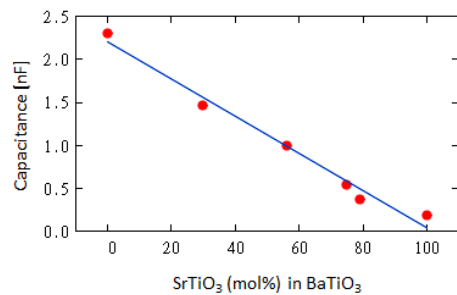


図8 静電容量の  $\text{BaTiO}_3$  と  $\text{SrTiO}_3$  の混合比 (モル) 変化

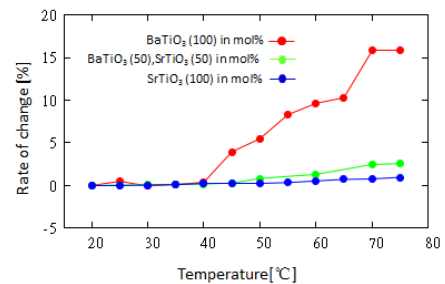
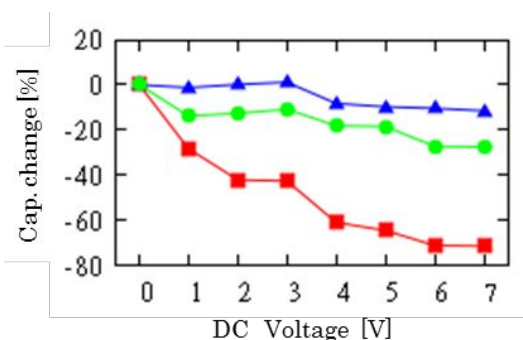


図9 静電容量の温度変化



- BaTiO<sub>3</sub> (100) in mol%
- BaTiO<sub>3</sub> (50), SrTiO<sub>3</sub> (50) in mol%
- ▲ SrTiO<sub>3</sub> (100) in mol%

図10 静電容量の印可電圧変化

(c) 4素子同時形成

精度よく4素子を同時作製可能とするために、ビームスプリッターにより均等に光量を分けられるように、赤外線用フォトセンサー回路を2回路(図11)作製した。その感度を図12に示す。それを使い、同時に2素子作製し、さらに、予め形成された溝幅の情報を反映させて、角度を微調整して形成した溝に2素子を形成して、精度を約17%(表1)から6%弱(表2)に向上させることに成功した。

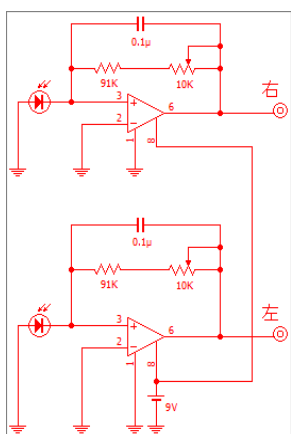


図11 製作した2素子用の回路図

装置設置時(入射角22.5°用使用)

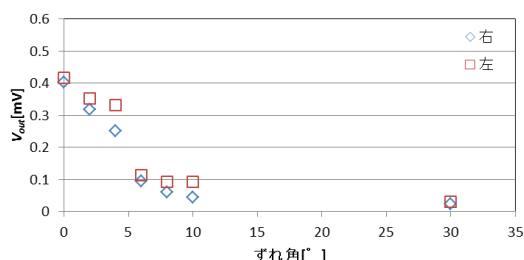


図12 作製した分光用赤外線フォトセンサーの感度

表1 溝幅調整なしの時の2つの静電容量値

	溝		キャパシタ		精度
	幅(mm)	長さ(mm)	幅(mm)	長さ(mm)	
サンプル1	0.670	3.561	0.876	4.004	30
サンプル2	0.808	3.626	1.057	4.064	36

表2 溝幅調整した時の2つの静電容量値

	溝		キャパシタ		精度
	幅(mm)	長さ(mm)	幅(mm)	長さ(mm)	
サンプル1	1.169	4.365	1.074	4.184	32
サンプル2	1.203	4.331	1.117	4.150	34

その後、精度よく4素子同時形成を実施できるように装置を整備し作製しようとした矢先に、赤外線レーザー発振器が故障し、確

認ができなかった。しかし、グリーンレーザーで素子を形成可能のように、光学部品を調整して設置して2素子の形成を試みた。全面での2素子の形成(赤外線レーザー使用と)、側面(ハーフミラー使用して前面と後面にレーザー光を分離)での2素子の形成(グリーンレーザー使用)が確認できたので、これらを組み合わせることにより4素子同時形成可能なことが確認された。

(d)まとめ

積層キャパシタの4素子同時作製装置をハーフミラー、ビームスプリッター、ミラー、レンズの光学部品を使い、作製した。これを使用して、赤外線レーザー及びグリーンレーザーで積層キャパシタを作製したところ、高速(4素子同時作製)で高精度に積層キャパシタが作製可能なことが確認された。

積層数変化、電極面積変化においては決定係数.999もの高精度で作製可能なことが確認された。また、ジェット噴射による誘電体層を作製するため粉砕効果が生じることが指摘された。さらに、2種類の誘電体混合微粒子を使い、当該技術により誘電率を変化可能なものと確認された。このように、今回の開発研究により、本技術の実用化を大きく進展させることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

K. Suzuki, S. Kameya, T. Sugai, T. Ohuchi, K. Miura and T. Kuriyagawa, Laminated Capacitor Formed in Thermoplastic Resin Substrate by Laser-Assisted Micropowder Jet Implantation, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 06GL02-1~4. 査読有

鈴木勝彦

「回路素子自動成型熱可塑性樹脂基板への埋込方式技術」日本プラスチック工業連盟誌「プラスチック」第64巻2013年4月号 57~61. 査読有

〔学会発表〕(計 4件)

加藤大貴、亀谷翔太郎、三浦賀一、鈴木勝彦:(レーザー援用微粒子ジェット法におけるキャパシタの高速形成技術)第19回高専シンポジウム in 久留米、2014年1月25日、久留米高専。

K. Suzuki, S. Kameya, T. Sugai, H. Ohuchi, K. Miura and T. Kuriyagawa: (Laminated Capacitor formed in Thermoplastic Resin Substrate by Laser-Assisted Micro Powder Jet Implantation), 第25回マイクロプロセス・ナノテクノロジー国際会議、2012年10月2日、神

戸メリケンパークオリエンタルホテル。  
菅井亨、鈴木勝彦  
(レーザー加工を応用したキャパシタ埋込  
形成)、第17回高専シンポジウム in 熊本、  
2012年1月28日、熊本県崇城大学市民ホ  
ール。  
渡邊翔太、鈴木勝彦  
(レーザーパルス周波数変化による抵抗の  
変化)、第17回高専シンポジウム in 熊本、  
2012年1月28日、熊本県崇城大学市民ホ  
ール。

〔産業財産権〕

出願状況(計 3件)

名称：インダクタ製造装置およびインダクタ製  
造方法

発明者：鈴木勝彦

権利者：(独)国立高等専門学校機構

種類：特許

番号：特願2013-145494

出願年月日：2013年7月11日

国内外の別：国内

名称：電子デバイス、センサーまたは配線の形  
成方法

発明者：鈴木勝彦

権利者：(独)国立高等専門学校機構

種類：特許

番号：特願2013-085285

出願年月日：2013年4月15日

国内外の別：国内

名称：コンデンサ製造装置及び積層コンデン  
サ製造方法

発明者：鈴木勝彦

権利者：(独)国立高等専門学校機構

種類：特許

番号：特願2012-211917

出願年月日：2012年9月26日

国内外の別：国内

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 勝彦 (SUZUKI, Katsuhiko)

研究者番号：80187715

(2) 研究分担者

武田 光博 (TAKEDA, Mitsuhiro)

研究者番号：20342454