

静電気対策材料の放電特性及び 保護素子の効果

Study on discharge characteristics of the ESD protection material and the effect of protection element

大津孝佳¹、堂山英之、鷺坂功一²

Takayoshi Ohtsu¹, Hideyuki Doyama, and Kouichi Sagisaka²

沼津工業高等専門学校¹, (株)油化電子²

National Institute of Technology¹, Yuka Denshi Co., Ltd³

【要旨】

携帯電話、スマートフォン、タブレット端末などユビキタス時代の到来とともに、半導体製品が様々な環境下で使われるようになってきている。特に、静電気により数 kV に帯電した人体からの放電、摩擦や静電誘導によって帯電した機器との接続による放電など、静電気放電による電子機器の破壊や誤動作は深刻な問題である。よって、コンポーネントレベルでの静電気対策のみならず、システムレベルでの静電気対策が急務とされる。本報告では、ESD ガン印加時や静電気放電時の放電電圧波形、放電電流波形、放射電磁波波形が同時に観察できる装置を開発し、各種静電気対策材料の観察結果と共に保護素子との比較結果について述べる。

1. はじめに

携帯電話、スマートフォン、タブレット端末などユビキタス時代の到来とともに、半導体製品が様々な環境下で使われるようになってきている。特に、静電気により数 kV に帯電した人体からの放電、摩擦や静電誘導によって帯電した機器との接続による放電など、静電気放電による電子機器の破壊や誤動作は深刻な問題である[1-8]。2008年米国アリゾナで開催された半導体国際会議(IRPS: International Reliability Physics Symposium)」において、Chrvaika Duvvur 氏 (TI) を始めとする半導体製造グループより、今後、保護素子のみでの継続的対応は不可能であることが報告された[9]。それに基づき、組立工程における静電気対策とシステムレベルでの対応が急務とされ、国内外に於いて取り組みが始まっている。例

えば、半導体高機能化(微細化)と ESD 耐性はトレードオフ関係にあり、コンポーネントレベルでの静電気耐力を従来通りのレベルで維持することが困難であるとし、System Level での対策を行うとの重要性として、Industrial Council や米国 ESD Association の中で White Paper 3 System Level ESD Part I: Common Misconceptions and Recommended Basic Approaches(2010) 等を作成している[10]。また、静電気耐力の評価方法は、HBM (人体帯電モデル) による ESD ガン評価とされ、製品品質の基本とされている。しかしながら、この評価結果だけでは、不良解析の結果とは必ずしも一致していない。今後、半導体のコンポーネントレベルでの静電気仕様を下げるのが提案されている今日、基板レベルや携帯電話等への実装レベルでの実際の使

用環境を考慮した静電気仕様との関係を明確にする必要がある。そこで、本研究の目的は、保護素子への ESD ガン印加時の放電電流波形のみならず、放射電磁波波形及び、放電電圧波形の観察できる静電気放電観察装置により、保護素子による放電電流、放電電圧、放射電磁波の違いを調べ、システムレベルでの静電気放電対策を支援することにある。

2. 実験方法

実験に用いるために新たに構築した静電気放電観察システムの外観を図 2.1 に示す。静電気放電観察システムは、帯電プレート、ロボットアーム、プローブ、高耐圧・高周波アッテネータ、オシロスコープから構成されている。

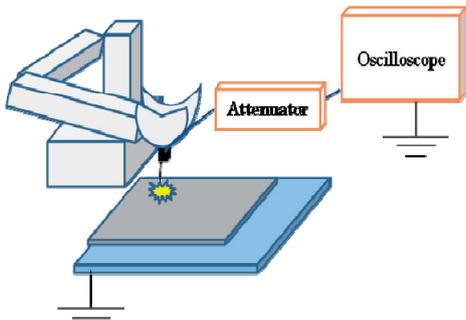


図 2.1 静電気放電観察システム



図 2.2 帯電プレート



図 2.3 プローブ

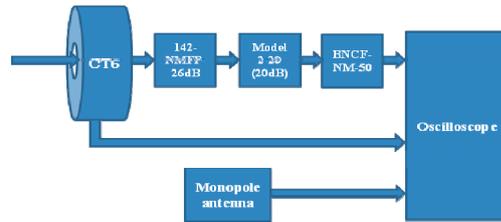


図 2.4 静電気放電観察システムのブロック図

図 2.2 に示す帯電プレートの上に置いたサンプルは 1.2kV に帯電させ、図 2.3 のプローブは、接近速度や接触位置を一定とするためにロボットアームに取り付けた。プローブは、図 2.4 のように、高耐圧・高周波アッテネータ、カレントトランス (CT6)、及びモノポールアンテナ (5mm) を組み合わせ、オシロスコープ (Lecroy Wave Runner 604Zi 4GHz) でそれぞれ放電電圧波形、放電電流波形及び放射電磁波波形を各サンプルにつき 10 回観察した。

サンプルは、導電性ポリカーボネート樹脂 (CNT: カーボンナノチューブ、CF: カーボンファイバー、CNF: カーボンナノファイバーの 3 種類の導電性フィラーがそれぞれ練りこまれたもの)、導電性セラミックス、ステンレスを用いた。表面抵抗は $1E+2 \sim 1E+10 \Omega$ であり、表面抵抗計 (ALC-Staticide ALC-386) によって測定した。導電性複合樹脂に練りこまれた導電性フィラーの繊維径はそれぞれ CF では $8 \mu\text{m}$ 、CNF は 140 nm 、CNT は 10 nm である。また導電性樹脂において、導電性フィラーの占める割合は以下の通りである。

- ・CNT : CNT1-1、CNT 1-2、CNT1-3 (フィラーが占める割合 1.5~2.5wt%)
- ・CF : CF 2-1、CF 2-2 (フィラーが占める割合 13~18wt%)
- ・CNF : CNF 3-1、CNF 3-2 (フィラーが占める割合 12~18wt%)

3. 実験結果及び考察

3.1 測定波形

以下に、典型的な波形の例を示す。黄色 (上:C1) が放電電流波形、赤色 (中:C2) が電圧波形、青色 (下:C3) が放射電磁波波形である。時間軸はいずれも 20 ns/div である。

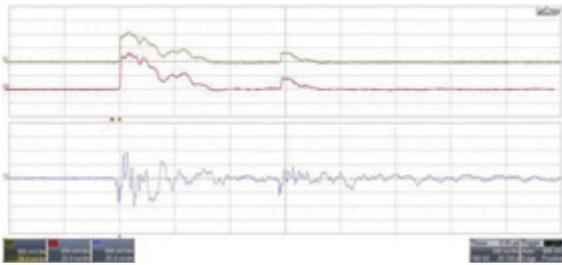


図 3.1 CF1
(C1:5.00V/div, C2:2.00V/div, C3:500mV/div)

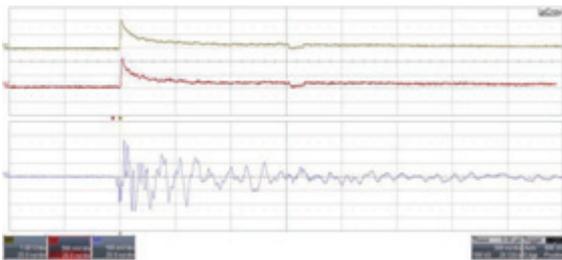


図 3.2 CNF
(C1:1.00V/div, C2:500mV/div, C3:100mV/div)

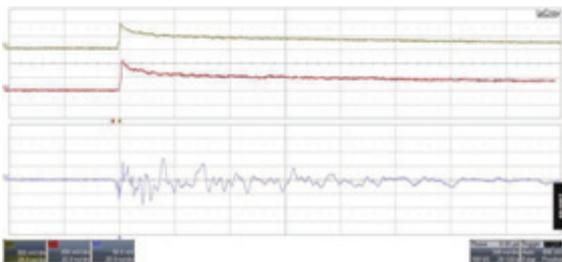


図 3.3 CNT1
(C1:500mV/div, C2:200mV/div, C3:50mV/div)

3.2 放電電流

図 3.4 に放電電流の表面抵抗依存性を示す。横軸は表面抵抗、縦軸は放電電流である。

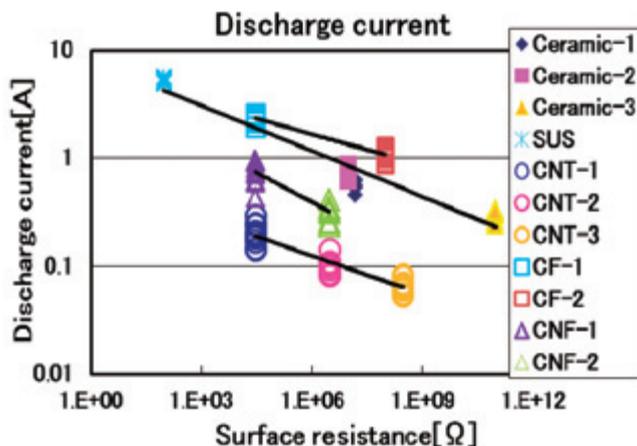


図 3.4 放電電流の表面抵抗依存性

放電電流値は表面抵抗が大きくなるほど小さくなる。CNT の放電電流は他と比べて低く、同じ表面抵抗でも CF より CNT は約 1 桁小さい。放電電流の低いものから CNT、CNF、導電性セラミックス、CF の順となる。

3.3 放電電圧

図 3.5 に放電電圧の表面抵抗依存性を示す。横軸は表面抵抗、縦軸は放電電圧である。

放電電圧は表面抵抗が大きくなるほど小さくなる。CNT の放電電流は他と比べて低く、同じ表面抵抗でも CF より CNT は約 1 桁小さい。放電電圧の低いものから CNT、CNF、CF、導電性セラミックスの順となる。

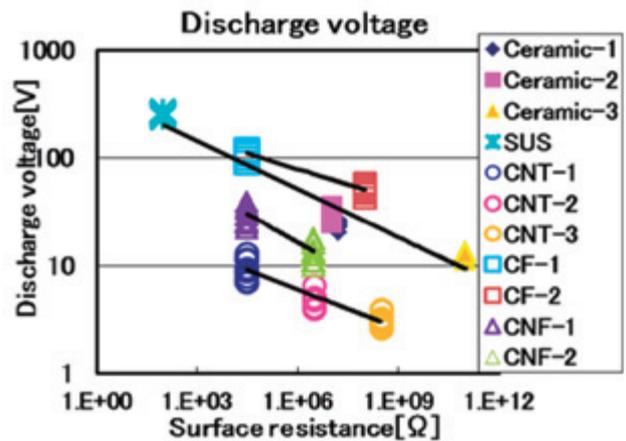


図 3.5 放電電圧の表面抵抗依存性

3.4 放射電磁波

図 3.6 に放射電磁波強度の表面抵抗依存性を示す。横軸は表面抵抗、縦軸は放射電磁波である。

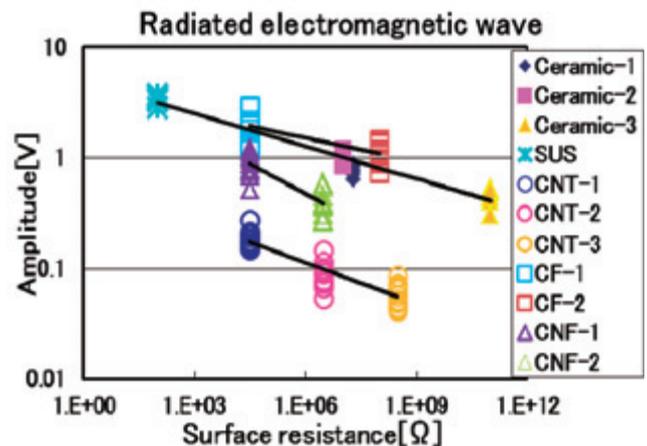


図 3.6 放射電磁波強度の表面抵抗依存性

放射電磁波強度は表面抵抗が大きくなるほど小さくなる。CNTは全ての中でいちばん放射電磁波強度が低い。放射電磁波の低いものからCNT、CNF、導電性セラミックス、CFの順となる。

3.5 残留電圧

図3.7に表面抵抗と残留電圧の関係を示す。ここでの残留電圧とは、放電後に帯電プレートの電圧表示部に表示される電圧のことである。

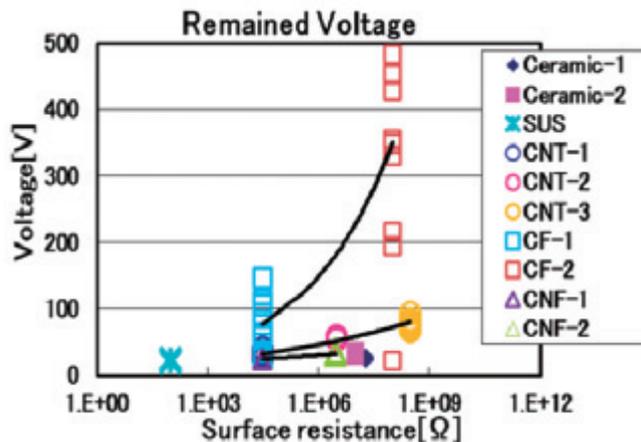


図 3.7 残留電圧

図中には示していないが Ceramic-3 は、1.2kVであった。CFは残留電圧のばらつきが非常に大きい。

4. 保護素子の効果

静電気対策材料の評価を行うために、保護素子の効果について検討し、比較を行った。

4.1 実験方法

図4.1に示すように、静電気放電観察システムを用いてテストボードにESDガンによって印加電圧を直接放電させたときの放電電流・電圧、放射電磁波波形をオシロスコープで観察した。テストボードには、保護素子あり、保護素子なしを用いた。

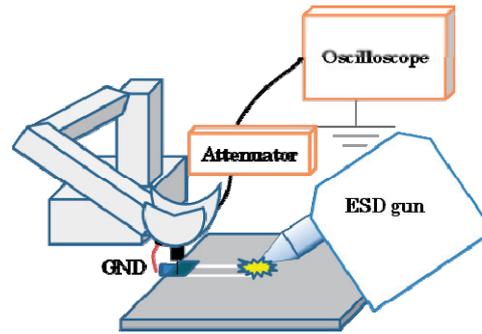


図 4.1 静電気放電観察システム

4.2 波形の観察

以下に、電流波形（上:C1）・電圧波形（中:C2）・放射電磁波波形（下:C3）の観察例を示す。時間軸はいずれも100ns/divである。

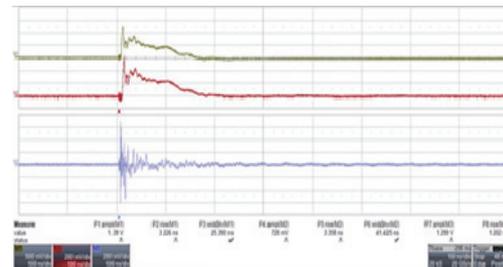


図 4.2 保護素子なし (1kV)

(C1:500mV/div, C2:200mV/div, C3 200mV/div)

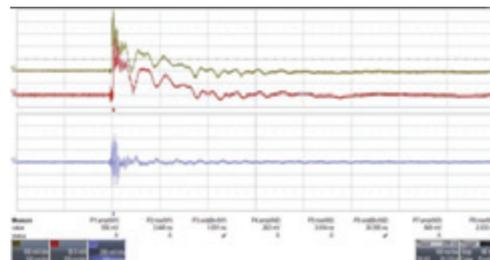


図 4.3 保護素子あり (1kV)

(C1:100mV/div, C2:50mV/div, C3 200mV/div)

4.3 静電気対策材料の放電特性と保護素子の効果の比較

図4.4静電気対策材料と保護素子の比較を示す。保護素子の設計には電圧が用いられているので、ここでは放電電圧について、静電気対策材料、保護素子なし、保護素子ありの結果を用いて比較を行った。図4.4の上側の破線は、保護素子なしの1.2kVの値、下側の破線は保護素子ありの1.2kVの値である。

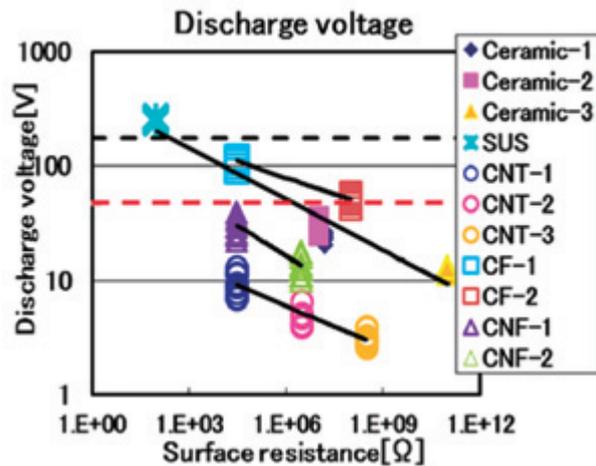


図 4.4 材料の表面抵抗と放電電圧の関係と保護素子の効果の比較

図 4.4 より、CF の表面抵抗値が $1E+8$ のもの (CF-2) が保護素子と同等程度の効果があると考えられる。また、導電性セラミックスや、CNF の表面抵抗値が $1E+5$ のもの (CNF-1) や導電性セラミックス (Ceramic-1、Ceramic-2)、CF の表面抵抗値が $1E+5$ のもの (CF-1) の効果は保護素子より効果が小さいことがわかる。さらに、CNT は保護素子 1.5~3 倍の効果があることがわかる。

これにより、材料の効果と保護素子の効果を対応させることが出来た。このように保護素子の効果と比較することで、静電気対策材料の効果は、保護素子を基準とした評価が出来るようになった。

5. まとめ

静電気放電観察装置にて、保護素子の評価を行い次のことが明らかとなった。

- (1) 同じ表面抵抗を持つ材料でも、放電電流・電圧、放射電磁波は異なることがわかった。特に、導電性ポリカーボネート樹脂の導電性フィラーとして、カーボンナノチューブを用いたものは、放電電圧、放電電流が小さい。また、残留電圧も低く、ばらつきも小さい。また、放射電磁波強度も小さいことがわかった。
- (2) 保護素子の効果との比較を行い、静電気対策材料の放電電圧は、保護素子を基準とする評価が出来るようになった。特に、CF の表面抵抗値が $1E+8$ のもの (CF-2) が保護素子と同等程度の効果があることがわかった。

参考文献

- 1) H.Tian and J.K.Lee: IEEE Trans. Magn., Vol.31, No.5, 2624, 1995.
- 3) Takayoshi Ohtsu, Hitoshi Yoshida and Noriaki Hatanaka: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-23, 173, 2001.
- 4) Takehiko Hamaguchi, Takayuki Ichihara and Takayoshi Ohtsu: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-24, 119, 2002.
- 5) A. Wallash and M. Honda: EOS/ESD Proceedings, EOS-19, pp.382-385.1997.
- 6) M. Honda and Y. Nakamura: EOS/ESD Proceedings, EOS-9, pp.96-103. 1987.
- 7) Takayoshi Ohtsu, "Study on ESD/EMI Phenomena for Magnetic Reproducing Head", IEEJ Trans.FM, Vol.130, No5, 473-478 (2010)
- 8) Takayoshi Ohtsu, "Study on ESD Phenomena of Magnetic Head by 1ns Pulse ESD", APEMC, Beijing, China (2010)
- 9) C. Duvvury, "Paradigm Shift in ESD Qualification" Reliability Physics Symposium, Phoenix, AZ, 27 April - 1 May 2008.
- 10) White Paper 3: System Level ESD. Part I: Common Misconceptions and Recommended Basic Approaches, Industry Council on ESD Target Levels, Dec 2010.

謝辞

本研究の一部は株式会社半導体理工学研究センター(STARC)との共同研究である。