

論 文

金属ステージと TFT-LCD 用ガラスの接触帶電特性

北林 宏佳^{*,1}, 藤井 治久^{*}, 大石 貴之^{**}

(1997年12月22日受理)

Charging of Glass Substrates Caused by Contact with Metal Plates

Hiroyoshi KITABAYASHI,^{*,1} Haruhisa FUJII^{*} and Takayuki OOISHI^{**}

(Received December 22, 1997)

In the fabrication of TFT-LCD, the charging of glass substrate induced in separation process is probable to cause the ESD to the devices. We measured the charging potential of glass substrate by using electrostatic voltmeter when the glass substrate was separated from metal plate. From the experiment, we obtained the following results. The charge quantity on glass depended on the number of contact with metal. Furthermore, it was higher in the smooth surface than in the rough surface. The contact charging potential of glass substrate with Al substrate was negative and that with Au substrate was positive. This phenomenon was related to the work function of metal.

1. はじめに

液晶ディスプレイ (TFT-LCD : Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) 製造工程において静電気に起因する歩留り低下が顕在化しており、要因の一つとして、静電気発生による表示素子の絶縁破壊による不良があげられる。液晶ディスプレイの製造では絶縁体である無アルカリガラスを基板として用いることから、シリコンウエハを用いるLSI 製造工程での静電気の問題^{1,2)}とは状況が異なっている。ガラス基板が帶電する主な要因としては、プラズマ処理工程でのプラズマによる帶電³⁾、回転水切りによる帶電、液晶注入の前工程である配向膜を擦るラビング工程での帶電、さらに搬送や固定の際にステージから剥離するときの帶電があげられる。とくに接触剥離帶電はすべての工程で発生する可能性があり、静電気抑制対策を行う必要がある^{4,5)}。

さまざまな高分子の接触帶電については、研究報告が多く行われ⁶⁻¹⁹⁾、帶電メカニズムが解明されつつあるが、ガラスの接触帶電についての報告例²⁰⁾は少ないのが現状である。

キーワード: TFT-LCD, 静電気, 帯電特性, 接触電位差, 仕事関数

* 三菱電機(株)先端技術総合研究所 (661-8661 尼崎市塚口本町 8-1-1)

Mitsubishi Electric Corp., Advanced Technology R&D Center, 1-1, Tsukaguchi-Honmachi 8-chome, Amagasaki, Hyogo 661-8661, Japan

** ADI (861-1198 熊本県菊池郡西合志町御代志 997)
Advanced Display Inc., 997, Miyoshi, Nishigoshi, Kikuchi, Kumamoto 861-1198, Japan

¹ kita@ele.crl.melco.co.jp

ある。

そこで本論文では接触帶電評価装置を用いて、ガラス基板と金属ステージの接触剥離後のガラス基板上電位を表面電位計にてさまざまな条件のもとで測定し、接触剥離によるガラス基板帶電の解析を行った。条件は金属ステージの表面形状または材質を変化させた場合と、ガラス基板との接触時間を変化させた場合である。

2. 実験方法

2.1 表面電位の測定方法

接触帶電評価装置の断面図と正面図を図1に示す。

この装置はクラス1000のクリーンルーム内で、塩化ビニルの箱中に取り付けられている。箱中は窒素ガスにより、温度は23°C、湿度は50%に保たれている。ステージにガラス基板を接触吸着後、剥離し、上部に取り付けたMonroe社製の非接触表面電位計(MODEL 174)に接続された3本のプローブ(1017S)にて、ガラス基板上の面内分布を測定する。このプローブの測定位置は固定されており、ガラス基板上の3点(図1(b))でプローブ番号1, 2, 3)を計測する。また、電位測定時ガラス基板とステージのギャップはステンレス製のピンにより13mmであり、ガラスとプローブとの距離は2mm一定である。金属ステージは接地されている。

まず、ステージから13mm離したステンレス製ピン上に、ガラス基板を置き、次にピンを下げるにより、ガラスをステージと一定時間接触吸着させた後、再び、13mmギャップのピン上で、接触していないガラス表面側から電

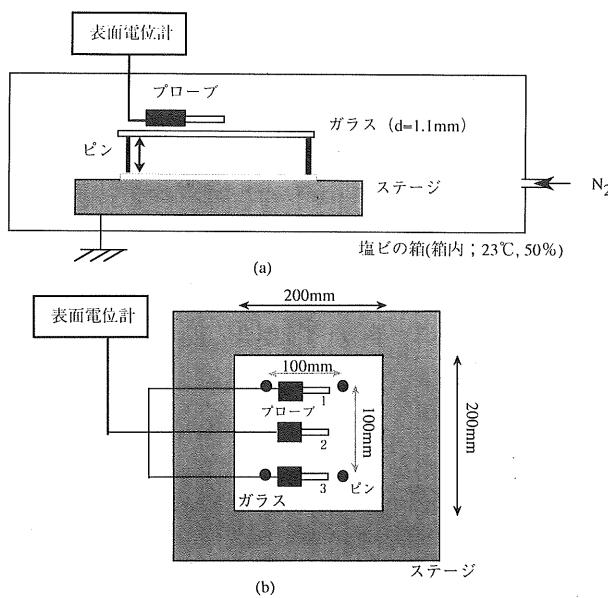


図 1 接触帶電評価装置の概略図

Fig. 1 Schematic view of experimental apparatus for contact electrification.

(a) 断面図, (b) 正面図。

(a) cross section, (b) front view.

位を測定した。また、1回当りの接触吸着時間を1, 5, 10, 20, 100秒と変えて、連続的に接触、剥離を繰り返したときの電位測定（繰り返し接触帶電測定）を行った。その際、剥離状態での保持時間は接触吸着時間に関わらず10秒間とする。

おののの条件においてガラス基板を2枚用い、3本のプローブによって、合計6ポイント測定し、平均値をプロットした。

2.2 ガラス基板とステージ

測定用ガラス基板はTFT-LCD用に使用されているガラスを200×200 mm, 厚さ1.1 mmに加工したものを用いた。購入したガラスを真空中で100°Cまで加熱した後、湿度30%のデシケーターに入れて保管した。実験直前に、ガラス両面をイオン送風器で除電し、表面電位計で±5 V以下になったものを帶電測定用ガラスとした。また、再現性の向上のため、一度、測定に使用したガラスは次の測定には使用していない。

ステージは300×300 mm, 厚さ8 mmである。ステージに均等に開けられた直径1 mmの23個の孔にて、ステージ下面に取り付けた空圧駆動真空装置に0.2 MPaの窒素ガスを流すことにより、ガラス基板をステージに真空吸着させる。また、ステージ材質にはアルミニウム(Al)を用い、形状は面の細かい場合と粗い場合（滑らかなものから上仕上げ、中仕上げ、荒仕上げ）を作製した。ステージ上の粗さは(株)東京精密の超小型表面粗さ測定機(Handy surf E-30A)を用いて計測した。プローブの下部に面した位置の面

表 1 おのののステージ材質の粗さ
Table 1 Surface roughness of each material stage.

ステージ状態	平均粗さ R_a (μm)	最大粗さ R_{\max} (μm)
Al 上仕上げ	0.13	1.36
Al 中仕上げ	2.24	10.43
Al 荒仕上げ	11.30	86.07
Al 蒸着	0.43	6.93
Ni 蒸着	0.51	5.33
Au 蒸着	0.38	4.60

粗さを計測し、その平均を各々のステージの粗さとした。粗さのパラメータには平均粗さ(R_a)と最大粗さ(R_{\max})がある。その値を表1に示す。

さらに違う材質ステージの比較のために、上仕上げ面のAlステージにCrを400 Å蒸着した後、Al, Ni, Auをおののの、2,000 Å蒸着した場合のステージ作製も行った。これら蒸着膜上の粗さについても表1に示したが、各材質によって粗さに大きな違いはない。

3. 実験結果

3.1 表面形状の違いによる電位特性

ステージにAl材質の上仕上げ面を用いた場合の繰り返し接触帶電での、接触回数とガラスの表面電位（プローブ番号1, 2, 3で測定した表面電位の平均）の関係を図2(a)に示した。1回当りの接触吸着時間は1, 5, 10, 20, 100秒とし、真空吸着しなかった場合もプロットした。さらに同図(a)をもとに図2(b)に接触時間と電位との関係をプロットした。図2(a)より接触回数とともに表面電位は負極性側に増加することが確認できる。1回当りの接触吸着時間が5秒以上のときに図の範囲内での電位増加率は接触吸着時間に関わらず、同じであるが、1回当りの接触吸着時間が1秒または、真空吸着なしの場合には5秒以上の場合より電位の増加率が小さい。また、同図(b)より接触時間が増加すれば電位は高くなるが、1回当りの接触吸着時間が5秒以上では、同じ接触時間でも1回当りの接触吸着時間が短いほうが高くなる。これらのことから繰り返し接触帶電では、電位の増加は接触回数に大きく依存することがわかる。

また、図3に1回当りの接触吸着時間は10秒で10回繰り返した面内の電位分布を示す。中央部(プローブ番号2)で電位が高く、外側(プローブ番号1と3)では低いことが確認できる。

図4にAlのおののの表面形状のステージにおける、1回当りの接触吸着時間10秒で10回繰り返した電位の関係を示す。どの特性も電位は負極性であり、接触回数とともに増加する傾向にある。電位が高い順に、Al上仕上げ>Al

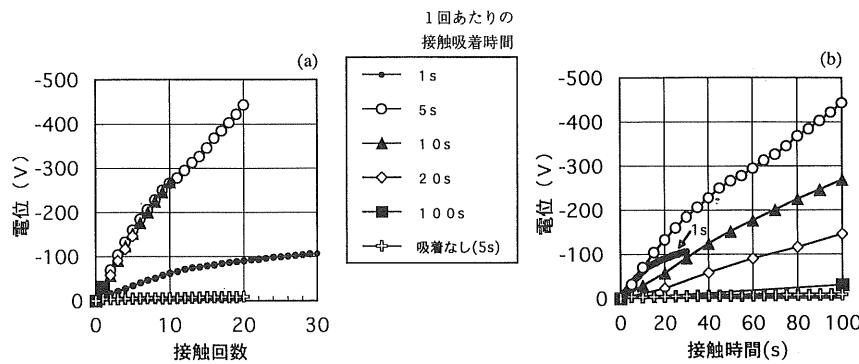


図 2 Al 上仕上げステージでの接触回数、時間と電位との関係

Fig. 2 Surface potential of glass substrate vs as functions of contact number and contact time on a smooth stage of aluminum.

(a) 接触回数と電位, (b) 接触時間と電位.

(a) relationship between surface potential and contact number, (b) relationship between surface potential and contact time.

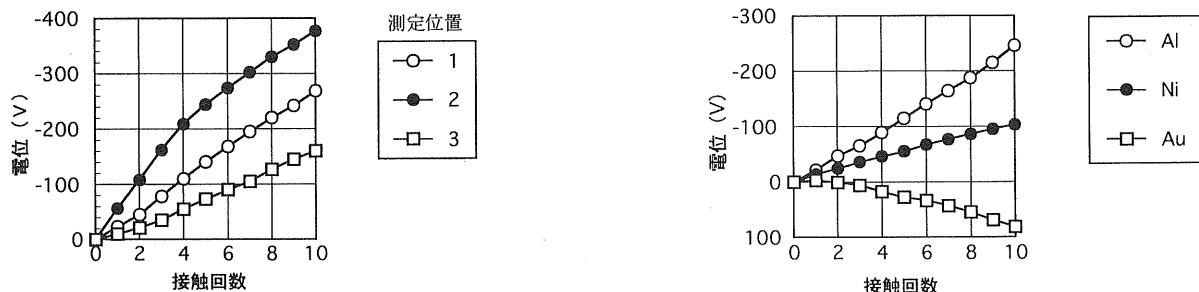


図 3 Al 上仕上げステージでの面内電位分布

Fig. 3 Characteristics of the potential distribution on a smooth stage of aluminum.

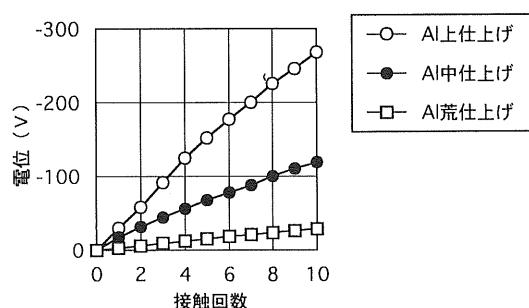


図 4 Al ステージの粗さの違いによる接触回数と電位との関係

Fig. 4 Relationship between the surface potential and the contact number as a parameter of roughness.

中仕上げ > Al 荒仕上げである。したがって表面が滑らかなステージの方が粗いステージよりガラス電位が高くなっていることが確認できる。

3.2 材質の違いによる電位電荷特性

おのこの金属ステージ (Al, Ni, Au 蒸着) を用いて、1 回当たりの接触吸着時間 10 秒で 10 回繰り返した場合の接触回数とガラス電位との関係を図 5 に示す。ステージ材質の

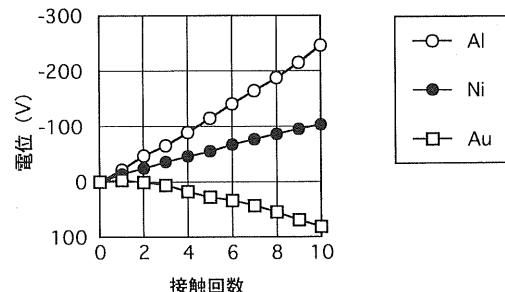


図 5 ステージ材質の違いによる接触回数と電位との関係

Fig. 5 Relationship between the surface potential and the contact number as a parameter of stage materials.

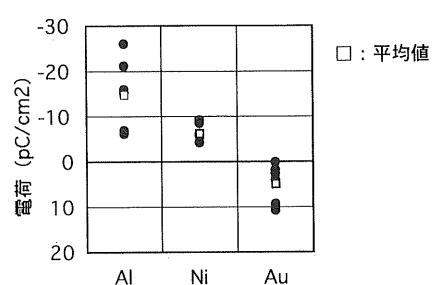


図 6 ステージ材質の違いによる表面電荷

Fig. 6 Charge quantity on glass surface and stage materials.

違いにより、電位と極性が大きく異なることがわかる。Al と Ni に対して、ガラスはすべて負極性の電位であり、接触回数とともに電位は負極性に増加する。Al の方が Ni よりもガラスの電位が高いことがわかる。また Au の場合は Al, Ni とは極性が異なり、ガラスは正極性に帯電する。

さらに図 6 に 1 回当たりの接触吸着時間 10 秒で 10 回繰り返した後のガラス表面電位から計算した接触面側の表面電

荷量を示す。平均値で比較すると、負極性で Al のほうが Ni よりも大きく、Au は正極性を示す。

4. 考 察

4.1 表面形状の違いによる帯電メカニズム

4.1.1 繰り返し接触帯電

図 2 で明らかのように繰り返し接触帯電では、ガラスの表面電位はほぼ接触回数に比例して増加する。これはガラスがステージから剥離され、ステージに再度、接触するごとに少しずつのが観察できることから、ガラスとステージ間の接触点が微視的にずれて、接触回数とともにトータルの接触面積が増加することが主な原因であると考えられる。

また、1 回当りの接触吸着時間が 1 秒と吸着なしでは接触吸着時間が 5 秒以上の場合より、電位の増加率が小さい(図 2)。吸着なしの場合に電位の増加率が小さくなる理由としては、ガラスの重量のみにより接触し、界面に空気が介在するためステージからの吸着力が小さく、接触面積が小さくなることに起因すると考えられる。また、接触吸着時間が 1 秒の場合は電位の増加率が小さくなる理由として二つ考えられる。一つは吸着なしの場合と同様に界面で十分に真空引きされず、接触面積が小さくなること、二つ目はガラスがステージと接触したときにキャリアが移動を終

了する熱平衡状態となるための時間が 1 秒では短く、熱平衡状態となる時間に 5 秒以上を必要とすることである。しかし、真の接触面積とキャリア移動を測定することは困難であるので、どちらが主原因であるか現時点では明らかではない。

次に図 3 に示した面内分布であるが、中央部で電位が高く、外側で低い。これは表面形状では面内に差はないので、ステージ下部からの真空引きによる吸着力の違いが、電位分布に影響していると考えられる。つまり、吸着力が中央部で大きいため接触面積が増加し、電位が高くなる。

4.1.2 表面粗さと表面電位

図 4 に Al ステージの粗さの違いによる繰り返し接触帯電での電位の関係を示したが、詳細にステージ粗さと接触帯電の相関を見るために、各種 Al ステージの表面形状パラメータとそれら Al ステージに接触させたガラス表面電位の平均値との関係を図 7 に示す。表面形状パラメータとして平均粗さを用いた場合は図 7(a)、最大粗さを用いた場合は図 7(b) に示した。これらのデータから平均粗さや最大粗さが大きいほど、電位は低くなる。

加工技術では表面粗さの指標として、平均粗さや最大粗さがよく使用されている。ガラスとステージとの真の接触面積は現段階では不明であるが、これらの粗さ指標によって、ガラスとステージとの接触面積を定性的に表していると考えられる。つまり、平均粗さや最大粗さが大きいということは、ステージとガラスの接触面積が小さくなっているためガラス電位も低くなると推定できる。

4.2 材料の違いによる帯電メカニズム

図 5 に示したステージ材質の違いによる繰り返し接触帯電特性の結果を用いて、電位と各金属の仕事関数との関係を図 8 に示す。ガラスの電位は接触吸着時間が 10 秒で 10 回繰り返した後の値をすべてプロットし、平均値を示した。また、仕事関数は Al ステージ上に蒸着した金属(AI, Ni, Au)を用いて、理研計器(株)の光電子放出測定装置(AC-1)にて大気中で測定した値をプロットした。

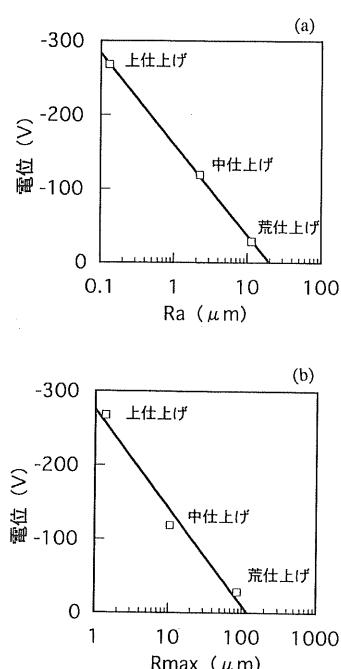


図 7 Al ステージ形状と表面電位との関係

Fig. 7 Relationship between the surface potential and the roughness on Al stages.

(a) 平均粗さと電位との関係、(b) 最大粗さと電位との関係。

(a) the case of the average roughness, (b) the case of the maximum roughness.

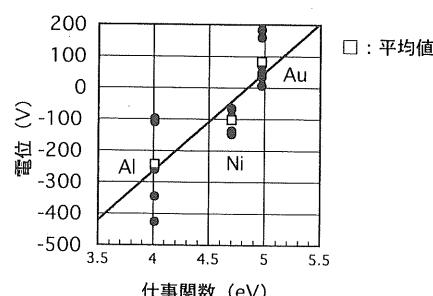


図 8 ステージ材質の仕事関数と電位との関係

Fig. 8 Relationship between the surface potential and the work functions of several metals.

金属の仕事関数と表面電位との関係は比例関係にあり、この結果より金属とガラスの接触帶電では、電子が主なキャリアになっていると予測できる。また、このグラフより等価的にガラスの仕事関数は約 4.85 eV であると予想できる。高分子材料の帶電現象は接触する金属の仕事関数に関与すると報告されている⁶⁻⁸⁾が、ガラス基板と金属ステージとの仕事関数による関係を考察すると、金属の仕事関数がガラスの仕事関数より大きい場合（例えば Au）は、接触させた後で熱平衡状態となった場合に電子が金属側へ移動する。したがってガラス基板上には正極性の電荷が存在する。逆に金属の仕事関数がガラスの仕事関数より小さい場合（例えば Al, Ni）は、接触させた後で熱平衡状態となつた場合に電子がガラス側へ移動する。したがってガラス基板上には負極性の電荷が存在すると考えられる。この電荷量は金属とガラスの仕事関数差が大きいほど大きい。つまり、Al のほうが Ni よりも仕事関数が小さいのでガラスとの仕事関数差は大きくなり、ガラス上の帶電電位は高くなる。

5. まとめ

ガラス基板と金属ステージとの接触時間や、ステージの表面形状、材質を変化させることでガラス表面の電位を測定し、以下のことがわかった。

1) 接触回数と電位

ガラス基板の繰り返し接触帶電では、電位の増加は接触時間ではなく、接触回数に依存する。

2) ステージ表面形状の変化

ステージの加工パラメータである平均粗さと最大粗さから、ガラスの帶電を定性的に評価できる。この現象はガラス基板とステージとの接触面積に依存していると考えられる。

3) ステージ材質の変化

ステージ材質を変えた結果から、ガラスの帶電の主たるキャリアは電子であり、ガラスの仕事関数は等価的に約 4.85 eV である。ガラスと金属との仕事関数から帶電メカニズムを考察し、ガラスとの仕事関数差が大きい金属との接触では、ガラスの表面電位は高く、仕事関数差が小さい金属との接触では、ガラスの表面電位は低いことがわかった。

参考文献

- 1) 辻 幹生：静電気学会誌, **19** (1995) 28
- 2) 浅田敏勝：静電気学会誌, **16** (1992) 493
- 3) H. Kitabayashi, H. Fujii and T. Ooishi : J. Electrostat., **40 & 41** (1997) 103
- 4) 大石貴之, 谷 功 : クリーンテクノロジー, **6**(5) (1996) 37
- 5) 桜井猛久, 水嶋繁光 : 静電気学会誌, **21** (1997) 100
- 6) D.K. Davies : Br. J. Appl. Phys., **D2** (1969) 1533
- 7) R.G.C. Arridge : Br. J. Appl. Phys., **18** (1967) 1311
- 8) R.G. Cunningham and H.P. Hood : J. Colloid Interface Sci., **32** (1970) 373
- 9) 葛西昭成 : 静電気学会誌, **1** (1977) 46
- 10) Y. Murata : Jpn. J. Appl. Phys., **18** (1979) 1
- 11) 日吉 功, 村田雄司 : 静電気学会誌, **21** (1997) 28
- 12) T. Mizutani, Y. Takai, T. Osawa and M. Ieda : J. Phys. D., **9** (1976) 2253
- 13) T.J. Fabish and C.B. Duke : J. Appl. Phys., **48** (1977) 4256
- 14) C.B. Duke and T.J. Fabish : J. Appl. Phys., **49** (1978) 315
- 15) C.B. Duke : J. Vac. Sci. Technol., **A3** (1985) 732
- 16) 柳田和彦 : 表面科学, **15** (1994) 560
- 17) G.S.P. Castle : J. Electrostat., **40 & 41** (1997) 13
- 18) 村田雄司 : 表面・薄膜分子設計シリーズ 5 「表面・高分子と静電気」, 共立出版, p. 13 (1988)
- 19) 村田雄司 : 固体物理, **27** (1992) 501
- 20) H. Graf von Harrach and B.N. Chapman : Vacuum, **22** (1972) 535