

【半導体デバイスの静電破壊試験(ESD)】

半導体デバイスの静電破壊(ESD)とは

デバイスの静電破壊は、静電気放電(Electrostatic Discharge : ESD)により起こります。デバイス内に放電電流が流れ、局所的な発熱、電界集中により破壊するものです。ESDによるデバイスの破壊は、帯電した導体(デバイスを含む)が瞬時に放電して起こるもので、エネルギーが小さいため微細な損傷痕が残ります。静電気放電モデルに対して、現在適用されている試験方法は大きく分けて3種類あります。

- ・人体モデル(Human Body Model : HBM)
- ・マシンモデル(Machine Model : MM)
- ・デバイス帯電モデル(Charged Device Model : CDM)

1. 人体モデル試験(HBM)の特長

帯電した人体がデバイスに接触し、デバイスのピンに放電するモデルを人体モデル(HumanBody Model: HBM)といいます。このとき、他のピンが接地されるなど、何らかの電位に接続されている場合に、放電電流がデバイス内を貫通します。

このHBMに対するESD試験回路を図1に示します。コンデンサCは人体の静電容量、抵抗Rは皮膚の抵抗値を参考にしており、JEITA、JEDEC、MIL規格には $R=1500(\Omega)$ 、 $C=100(\text{pF})$ と定められています。

図2に人体の放電波形と静電破壊試験装置の放電波形例を示します。このときの人体の静電容量は約300pF(DC的測定方法によるもの)でしたが、放電波形を解析するとデバイスを破壊する大電流を発生させる時間帯の容量は実効的に数pF~数十pF程度であることが分かります。完全に放電するには数秒を要しますので、放電は周辺の高抵抗体を経由しているものと考えられます。一方、試験装置は1.5k Ω の単一の抵抗で構成されていますので、単純な減衰波形を示しており、人体放電に対してエネルギーの面では数倍~10倍程度と厳しく、配線を用いて構成しているため、インダクタンスなどにより立ち上がりが遅くなっていることが分かります。ピーク電流はデバイス内で発生する電圧を、ピーク電流の維持時間はデバイスの中で発生する電力に影響しますので、HBM試験方法は実際のデバイス破壊より電力による破壊を強調する傾向があります。

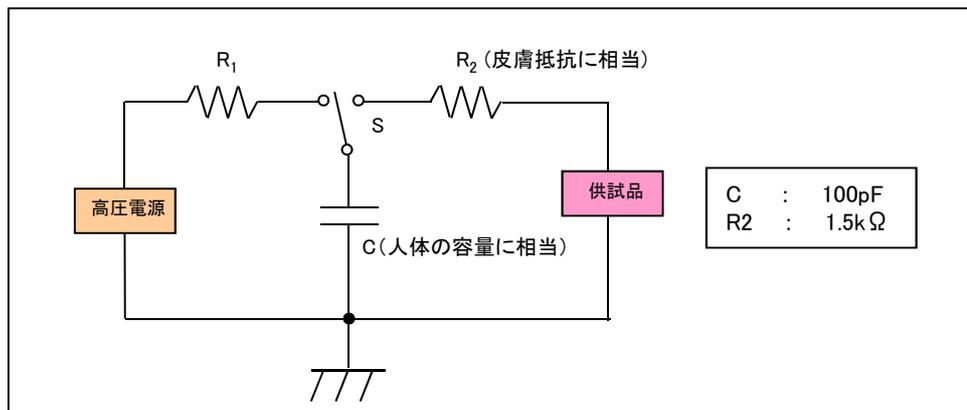


図1 人体モデル試験回路

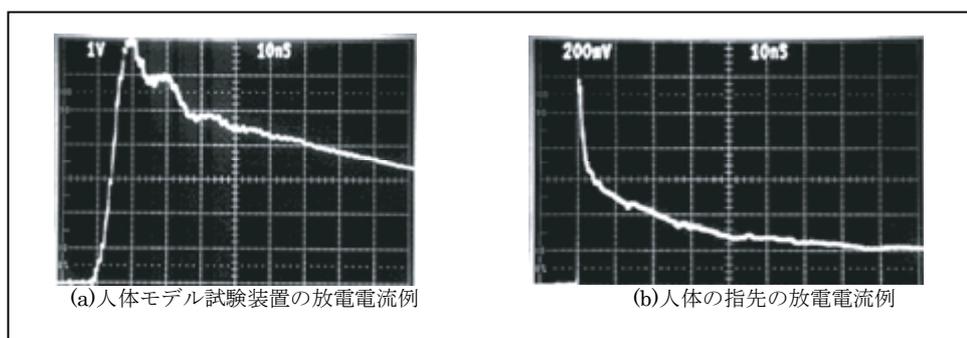


図2 人体の放電と人体モデル試験装置の放電電流比較

2. マシンモデル試験(MM)の特長

この方法は、200pF、0Ωの条件が皮膚抵抗を考慮していない(0Ωとしている)ためマシンモデル法と呼ばれていますが、金属の放電を意味する『マシンモデル』という名称は誤解によるもので、この方法は、金属の放電とは関連がありません。

1996年に米国/JEDECでこの試験方法が規格化されていますが、AEC-Q-100などの認証試験の実施規格では、静電破壊試験はCDMやHBMが重視されており、このマシンモデル試験の実施は推奨されていません。

マシンモデル試験の出力波形は試験回路のインダクタンスの影響で減衰振動波形となります。図4(a)はJEDEC規格のものより配線が短い装置の波形で、立ち上がりが早い装置の例です。

一方、半導体を取り扱う工程の中で、帯電しやすい金属類は工具やツール類と考えられます。大型の装置類は接地されていますので、接地の断線等がない限り帯電することはありません。図4(b)は帯電した金属製ピンセットの放電波形例です。特長は、立ち上がり時間が極めて短く、3.5GHzのオシロスコープでほぼ測定限界の100ps程度であることが分かります。さらにその他の小型金属製ツール類の放電波形も同様な波形になります。

金属塊の放電はこのように極めて高速の放電を示し、後で示すCDM放電に似ています。このように、金属の放電が早い理由は、帯電している金属がインダクタンスをほとんど持たないためです。

以上のように、マシンモデルは試験方法の名称が示すような金属の放電と全く異なった特性を持っており、一般の半導体の取り扱い工程で見ることができない波形となり、試験結果とフィールドとの相関性も認められないことから、JEITA規格では参考試験に降格されています。

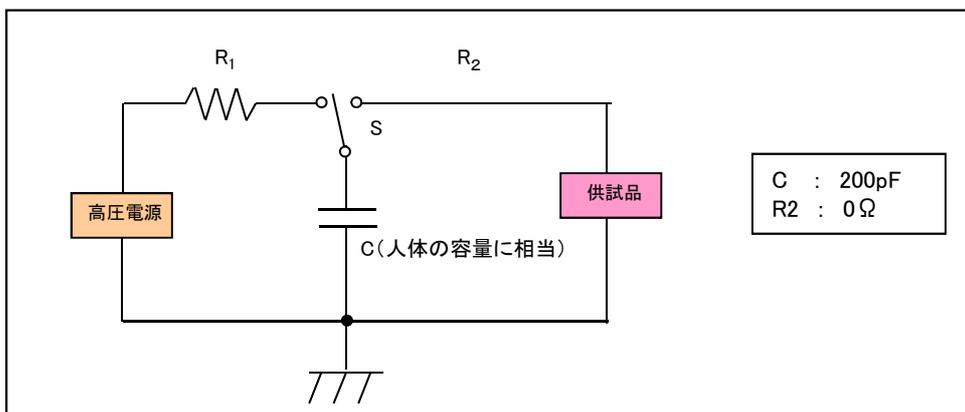


図3 マシンモデル試験回路

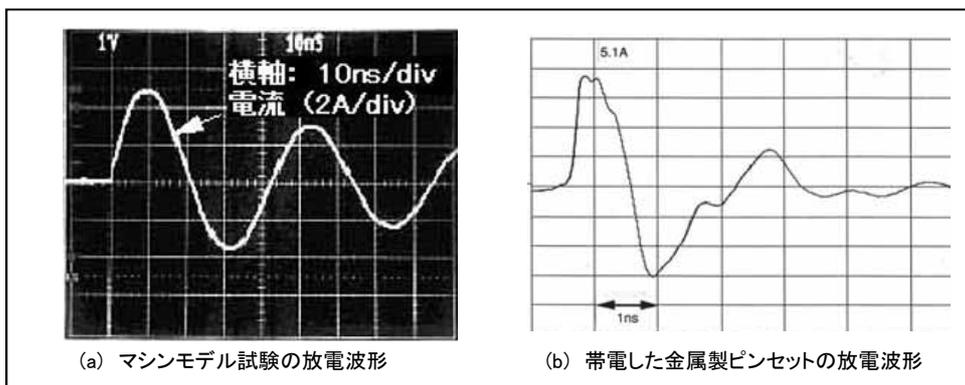


図4 マシンモデル/帯電した金属製ピンセットの放電波形

3. デバイス帯電モデル試験(CDM)の特長

最近の機器組み立て工程の自動化により、人がデバイスに触れる作業は減り、HBMによるESD不良は減る傾向にあります。一方、自動装置内でデバイスが摩擦や静電誘導を受け、さらにデバイスが金属類に接触する機会が増えています。

以上の帯電したデバイスが金属類に接触して起こるCDM放電は、工程の自動化にともない増える傾向にあり、注意すべき放電モデルと考えられます。

CDM放電は、帯電したデバイスが装置や治工具類などの金属部に接触して起こるものです。

放電は極めて高速であり、図5はCDM放電例の波形測定結果です。波形の立ち上がり時間はオシロスコープの測定限界の100ps未満であり、人体モデルやマシンモデルの2桁以上早いことが分かります。

一方、すでに説明したようにCDM放電は、図4(b)の金属の放電に似ていることが分かります。

CDM放電によるESD破壊はデバイスの導体部に一様に帯電した電荷が、放電ピンのパッド部に集中して起こります。放電電流は高速の振動波形のため、デバイス内に厳しい過渡現象をともないです。したがって、大半の破壊は過渡電圧の印加による酸化膜などの絶縁破壊ですが、エネルギー集中による熱的破壊が起こることもあります。

図6にデバイス帯電モデルの試験回路を示します。

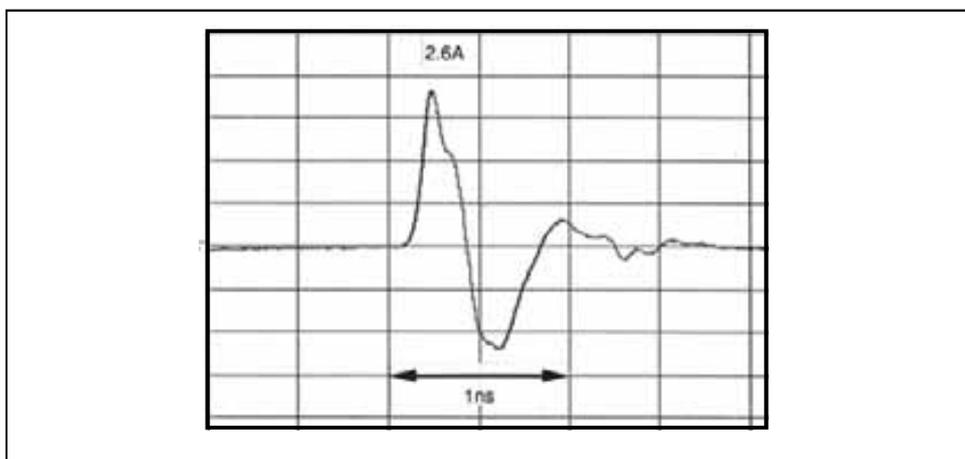


図5 デバイス帯電モデルの放電波形

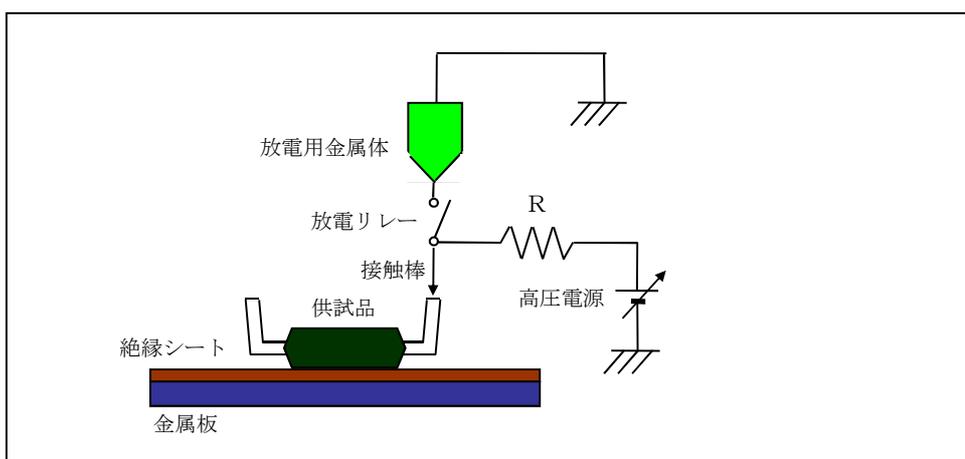


図6 CDM試験回路

4. 各ESD試験の試験方法例

① 人体モデル(HBM)の試験方法例

帯電した人体がデバイスに接触し、デバイスのピンに放電するモデルを人体モデル(HBM)といいます。コンデンサCは人体の静電容量、抵抗Rは皮膚の抵抗値を参考にしており、JEITA、JEDEC、MIL規格には $R=1500(\Omega)$ 、 $C=100(\text{pF})$ と定められています。

【一般的な試験条件例】

容量 : 100pF
抵抗 : 1.5k Ω
印加電圧 : 200V開始、200Vステップ、2000V最終
印加極性 : +, -の両極性
印加回数 : 1回
印加方法 : 1ピンより開始し最終ピンまで順番に実施
印加端子 : 基準ピンを除く全ピン
基準端子 : GND
その他 : その他のピンはオープン

② マシンモデル(MM)の試験方法例

金属の放電と全く異なった特性を持っており、一般の半導体の取り扱い工程で見ることができない波形となり、試験結果とフィールドとの相関性も認められないことから、JEITA 規格では参考試験に降格されています。

【一般的な試験条件例】

容量 : 200pF
抵抗 : 0 Ω
印加電圧 : 50V開始、50Vステップ、500V最終
印加極性 : +, -の両極性
印加回数 : 1回
印加方法 : 1ピンより開始し最終ピンまで順番に実施
印加端子 : 基準ピンを除く全ピン
基準端子 : GND
その他 : その他のピンはオープン

③ デバイス帯電モデル(CDM)の試験方法例

CDM放電は、帯電したデバイスが装置や治工具類などの金属部に接触して起こるものです。

【一般的な試験条件例】

印加電圧 : 100V開始、100Vステップ、1000V最終
印加極性 : +, -の両極性
印加回数 : 1回
印加方法 : 1ピンより開始し最終ピンまで順番に実施
印加端子 : 全ピン

(備考)

- * 判定基準は、特に指定が無い場合は、2端子間(対GND)のV-I特性で、初期電流値に対して $\pm 10\%$ 以上変化した時を故障とします。(印加電圧値は、-1.0/-0.5/0.5/1.0Vの4ポイントを基本としています)
- * 弊社で実施する試験は、JEITA規格に準拠した内容で実施します。
- * 各試験共に、試験実施には、試験機に使用する試験用ボードを作製する必要があります。
- * 各試験共に、ソケットが必要となります。(①/②は2個、③は1個、必要となります)