

ESDとEMCの接点についての諸問題

Some EMC Aspects of ESD Phenomena on System Level Problem

日本ユニシス株式会社 藤ヶ丘研究室

本田 昌實

Masamitsu Honda

Fujigaoka Laboratory, Nihon Unisys LTD.

1. はじめに

現代社会の根幹を支えているマイクロエレクトロニクスの実体は何か。筆者は唐突かも知れないがそれは「石ころ」と考えている。そこら辺にいくらかでも転がっている石、その多くは珪素やその酸化物等を多量に含んでいる。つまり大規模集積回路(VLSI)の原始の姿であると見ることも出来る。VLSIの原材料は珪石であり、これから精選され微細加工されている為に、凡ゆる環境ストレス(機械/化学/電気的等)に敏感にならざるを得ない。元々が脆い上に一時的に調和しているに過ぎないからである。エントロピーの増大は決して避けられない事を考えると、この超純粋なシリコンの欠片に支えられた高度情報化社会は、真に脆い存在ではなかろうかと考えるのである。例えるならば、今の状況はまさに「砂上の楼閣」とでも言えよう。

このストレスの一因に静電気(摩擦電気)がある事は専門家の間では常識となっているが、残念ながら一般には余り知られていない。「ハイテクの塊」に対し古色蒼然たる摩擦電気の影響など有る訳がないと決めつけられている。しかも技術が進歩すればする程、改良/改善されて行くから、過去に静電気で問題が出たとしても現在は「有り得ない」とされるのも当然であろう。そこから芽生えるのは、電子化への過信であり、高度情報化社会への過剰な期待(盲信)である。マイクロエレクトロニクスに対する絶大な信頼が有るからこそ成立するパラダイムであるにも関わらず、この本質的な脆弱性の問題が議論から外され隠べいさ

れている。静電気そのものが持つ曖昧さが本質論を遠ざけている面も否定出来ないと考えられる。

2. エレクトロニクス分野における静電気障害

静電気の影響は素子/部品(通電されていない)に対する問題と、システムレベル(通電されている)の問題に大別される。何れも金属物体上の静電気と、これが急に放電した時、つまり静電気放電(ESD:Electrostatic Discharge)による衝撃的な作用が問題となる事が多い。放電により、物体に蓄えられていた静電エネルギーは、熱・光・音と過渡的な電磁界エネルギー等に変換される。そして基本的にはこの過渡電磁界が全ての現象(障害)に寄与することになる。この過渡電磁界の振る舞いはシステムレベルのみならず、デバイスレベル(特に小容量、低電圧)のESD問題にも貢献する(図1参照)。

ESDによる非熱的な影響としては;

- ① 半導体素子/VLSIに対する破壊作用(EOS:Electrical Overstress)→永久障害又は間欠障害の発生
- ② 稼働中のシステム・装置・機器に対する電磁干渉(EMI:Electromagnetic Interference)作用→間欠障害発生

前者の問題(症状)は必ず材料の変形/変質を伴う。微細パターンが焼き切れたり、接合部に穴が開いたり、また外見上はわからないが電気特性が変化(潜在劣化)してしまう事もある。EOSによる不具合は結果的に「故障」として認識できるので、信頼性理論の枠組みの中で解析が行える。

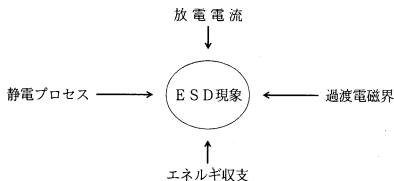


図1 エレクトロニクスにおけるESD現象の捉え方

この問題に伴う対策技術もほぼ確立されていると
考えてよい。

一方、動作中のシステムに対するESDの問題
は、放電時の過渡的な電磁波雑音(又は放電電流)
が原因でEMIが発生する場合が殆どである。

(通電されたCMOS等で発生するラッチアップ
による素子破壊の問題はここでは触れない)

その現象(症状)は多岐にわたるが、共通して
言える事は障害は一過性であり、システムの電源
を入れ直せば電子回路そのものは正常に動作する。
従って、故障部品は存在せず人間側とシステム側
の認識の違い(後述)の問題もあり、ストレート
に従来理論を適用する事は出来ない。またシステ
ム周囲の電磁気的な環境に依存してEMI作用が
変化する場合があり、電磁環境との調和/共存
(EMC: Electromagnetic Compatibility)の
観点からの捉え方が必要になる。以降は、ESD
によるEMI問題に的を絞って議論を進める事に
する。

3. ESDによるEMI問題の全貌

ESDによるEMIを時系列的に発生、伝搬、
侵入、誤動作の各フェーズについて眺めると;

① インパルス電磁界の発生

低電圧(約3kV以下)に帯電した金属物体
(例: スチールパイプ椅子)ともう一つの金属
物体が接近/衝突し、ESDが発生する。即ち、
間接ESD(現象)である。この時、金属物体

から近辺の空間に極めて強力なインパルス電磁
界が放射される。その強さは数百V/m/nsにも及
ぶ事がある。またインパルス状電波の継続時間
は数百psから数nsである。つまりこれらの金属
物体は一瞬だけ“放射アンテナ”として作用し
ている。尚、人体の帯電による指先から電子機
器への直接的な放電は、最近では殆ど問題にな
らない。

② インパルス電磁界の伝搬

金属物体の形状によっては、ここから出たイン
パルス電磁界は偏波面が強く現れたり、特定
方向へビーム状になって伝搬する。周波数成分
がマイクロ波やミリ波領域まで及ぶ為、ESD
波源近辺にある導体や誘電体は反射・導波・吸
収・散乱作用を示す事もある。特に細長い金属
の構造体は、相当遠方までインパルス状電磁エ
ネルギーを伝達する媒体となる。またOA室の金
属上げ床(false floor)構造は床板間のES
Dによるインパルス電磁界の良好な伝搬路にな
る。

③ インパルス電磁界の侵入

収容ケース/キャビネット(金属メタライズ
加工されたプラスチック等)にある空気取り入
れ口等の細長い隙間は、インパルス電磁界の
“受信アンテナ”(slot antenna)として作用
する。例えば金属ケースの繋ぎ目に垂直の隙間
(長さ: 例えば50mm、幅: 例えば1mm)が有る
とする。この隙間はインパルス電磁界の垂直成

分の磁界を受信し、今度はこの隙間が内部に水平成分のインパルス電界を送信するアンテナになる。主たる周波数成分は理論上 3 GHz である。

④ デジタル回路の誤動作

このインパルス電波（水平の電界成分が主）はケース内部にある水平方向に長さがある導体に乗る。磁界成分であればループ状の導体に対してインパルス状電流を誘導する。実際には細長い隙間があれば内部のあらゆる導体にインパルス状雑音を誘起させる事になる。そして布線やプリント基板等に分布する LC の共振系で周波数が通減され、振動の時間幅は増大する。更に、半導体素子の PN ジャンクションや他の非線形素子により“包絡線検波”が行われ、そこで使用されているデジタル回路にとって充分に意味のあるパルス幅になる。その結果、回路の一部に論理上有り得ない信号が生じ、その回路又は次段の回路で意図しない動作が一瞬起きてしまうことになる。

⑤ 障害/誤動作の連鎖的波及

不具合が局部的に留まる場合は他の回路がこの異常を察知し、診断プログラムの介入によりシステム側（OS 含む）で障害を認知する事ができる。この場合は直ちに再起動がかかり、負荷分散や一部機能を切り離して縮退モードで業務を続行する事が出来る。しかしシステムの中核部（CPU、緩衝記憶機構等）にインパルス状雑音が侵入すると、システム全体が停止してしまう事もある。心臓の鼓動に相当するマスタークロックを強制的に停止させることによって、仕掛り中の各種レジスタを凍結させ、回復時の手がかりを保存しておく為である。しかしこのようにハード上の障害回復処理が充分行えず、結果的にシステム全体に異常が波及（伝播）してしまい麻痺状態に陥る場合もある。

4. 間欠障害の原因追求の困難さ

この一過性のしかも間欠的な EMI 現象は、信頼性の理論解析の観点から見ると非常に困難な問題を派生する事になる。ESD によるトラブル

（結果的に後からわかるのであるが）はともかく原因追求が難しいのである。大規模システムでは問題が長期化し、相当のマンパワーを投入する事が多い。その理由は幾つかあるが、それを ESD 側（測定系含む）、人間側、システム側に分けて俯瞰してみる。

▶ ESD 側の問題

金属物体上の電荷分布とそれに伴う静電界を現場で正確に測定するのは非常に困難である。また非接地のしかも運動/移動可能（非固定）な金属物体の特定も難しい。低電圧（約 3 kV 以下）で低容量（約 100 pF 未満）の金属物体間での放電は、放射される過渡電磁界の姿はピークの大きいインパルス状になり、通常の連続波（CW）/周期現象を前提とした測定器では充分に捕捉することが出来ない。特に時間領域での波形測定では非常に問題が多い。波源近傍に設置した高感度で広帯域の測定器はそれ自身が強力な過渡電磁界にさらされる為、しばしば誤動作してしまう事も経験している。

また、接近/衝突を伴う ESD において、運動軸上の電磁界分布をどのように調べるかという問題もある。

▶ 人間側の問題

先にも触れたように、金属物体の帯電電圧が約 3 kV かそれ以下の場合、人はこれに触れても電撃を感じない為、静電気の存在を知る事は出来ない。また仮に帯電電圧が高くても、金属物体間で ESD が発生した場合、これに全く気がつかない。操作中に目前でエラーが発生しても普通は自分の操作ミスかプログラムバグを疑うから、上司に報告しないでやり直しをしてしまう事が多い。当然メーカー側には事実が伝わらないことになる。保守技術の観点からは、このような一過性の、しかも証拠（例：故障部品、障害記録等）が残らない類のトラブルに対する解析追求手法が殆ど確立されていないところにも大きな問題がある。

▶ システム側の問題

間接 ESD 現象に対して人間は鈍感であるが、

最近の高速化されたデジタル回路が敏感にこの現象に反応してしまうところに大きな問題がある。つまり人間よりもシステムの方が先に事態を認識してしまうのである。(普通の道具ではこのような事はない)

先にも触れたように、低電圧の間接 ESD によるシステム中枢部のトラブルは、故障状態が継続せず正規の論理に従わない為、種々の診断回路/プログラムは動かない事が多い。システムは完全に沈黙したのに、障害記録や客観性のあるデータが残らないこともある。システム側の仕掛(例: CPU 系の多重構成)が大規模で複雑になればなる程、全体の回復処置は困難になる。通信機能の強化は時間・空間的に離れて

いる他の情報システムに対しても重大なインパクトを与える事になる。

5. まとめ

静電気とエレクトロニクスの関係について、特にシステムレベルにおける ESD 問題を EMC の立場から概観した。現状の半導体設計・製造・検査技術だけで ESD 問題を負担するには限界がある。周囲の電磁環境との調和と共存を計るためにも、機器レベルにおける実装技術や収容ケースの機構設計等、広範囲(静電界からミリ波帯まで)に及ぶ電磁スペクトルを意識した信頼性向上の為のアプローチが必要となる。

