Hiện tượng phóng điện do tĩnh điện (ESD) – Phần 1.

Nói theo kiểu khoa học kỹ thuật thì hiện tượng phóng điện do tĩnh điện (Electrostatic Discharge hay ESD) là sự phóng điện xảy ra khi hai vật tích điện có điện thế khác nhau được đưa đến gần hoặc chạm vào nhau. Một ví dụ về tĩnh điện mà chắc ai từng là học sinh đều đã thử qua là dùng một cây bút có vỏ nhựa cọ xát mạnh vào quần hay áo (thường là của thằng bạn ngồi bên cạnh) để hút các mảnh giấy vụn bay lên hay thậm chí dính vào cây bút.

Tất nhiên là trong trò chơi học sinh nói trên không có sự phóng điện bởi vì lượng điện tích khá nhỏ và các mảnh giấy cũng như cây bút đều không dẫn điện tốt. Trong thực tế, hiện tượng phóng điện do tĩnh điện có thể gây ra cho chúng ta cảm giác như bị điện giật trong khoảng thời gian một cái chớp mắt và thậm chí còn gây hư hỏng các thiết bị điện tử.

Nếu bạn chưa xem ESD là một vấn đề đáng quan tâm trong lĩnh vực điện tử thì cũng không có gì là lạ. Thực sự mà nói, tôi đã từng nghĩ rằng ESD không phải là cái gì nghiêm trọng lắm. Tất nhiên không phải là vì lúc đó tôi chưa biết ESD là gì (kiểu như “chẳng biết gì về điện” mà vẫn “điếc không sợ súng”) mà kể cả vào lúc này khi cố gắng nhớ lại về thời kỳ đi học và đi làm ở Việt Nam tôi cũng không tìm thấy một điều gì cho thấy tôi đã từng tiếp xúc với hiện tượng ESD, ngoại trừ cây bút và những mảnh giấy vụn.

Tôi bắt đầu biết về ESD như một phần công việc của mình và có những kiến thức chuyên môn đầu tiên về ESD khi tôi bước chân vào lĩnh vực thiết kế mạch nghiên cứu vi mạch. Nhưng tôi vẫn chưa nhận ra ESD có thể gây ra điều gì nguy hại.

Rồi tôi đi làm và vẫn tiếp tục thiết kế mạch,nghiên cứu vi mạch. Và rồi cuối cùng tôi cũng được “nếm mùi” ESD, nếu không phải là hằng ngày thì cũng khá là thường xuyên. Và tôi không còn xem nhẹ ESD nữa.

Tôi nghĩ có 2 lý do làm cho tôi không nhận ra tầm quan trọng của ESD ngay từ đầu. Lý do thứ nhất là thời tiết. Việt Nam và nơi mà tôi bắt đầu làm về vi mạch đều là những nước nhiệt đới. Với nhiệt độ luôn trên 30 độ C thì tôi có thể tồn tại chỉ với một cái áo và một cái quần. Nhưng nơi tôi làm việc hiện giờ, và cũng là nơi tôi bắt đầu được tiếp xúc với ESD thường xuyên, thì khác. Tôi bắt buộc phải khoác lên mình ít nhất 2 lớp áo, trong đó có một lớp áo bằng len hay dạ, khi trời lạnh. Và vấn đề bắt đầu từ đây. Khi tôi di chuyển hay cử động, các lớp áo cọ xát vào nhau và tạo ra tĩnh điện – giống như cái cách mà tôi tạo ra tĩnh điện trên cây bút thời học sinh. Khi tôi cởi cái áo khoác bên ngoài ra, sự cọ xát còn tạo ra nhiều tĩnh điện hơn (đôi khi tĩnh điện làm cho lông tóc trên người tôi dựng đứng như Sôn-gô-ku). Nếu như lúc này tôi vô tình tiếp xúc với một vật dẫn bằng kim loại (thường là cái nắm đấm cửa) thì tôi chắc chắn sẽ giật bắn người cùng lúc với một tiếng “tạch” rõ to vang lên do lượng điện tích trên người tôi phóng ra (và tiếp theo sau là một tiếng gì đó từ miệng tôi phát ra).

Nói lý do đầu tiên là thời tiết có vẻ thật là buồn cười vì thời tiết thì liên quan quái gì đến ESD nhỉ. Cũng như nếu tôi nói lý do thứ hai là vì ở Việt Nam tôi đi xe hai bánh, sau đó tôi đi xe “hai cẳng”, còn bây giờ tôi đi xe bốn bánh thì liệu có ai tin. Thực tế là khi đi bộ thì quần áo tôi chẳng cọ xát vào đâu được để mà tạo ra tĩnh điện. Khi đi xe hai bánh ở Việt Nam thì cái quần của tôi bị kẹp giữa hai lớp da (của tôi và của cái yên xe) nên cũng chẳng tích tụ được cái gì. Khi lái xe bốn bánh thì khác, nhất là với cái xe hơi cổ của tôi, với lớp bọc ghế bằng nỉ. Chỉ khoảng nữa tiếng đồng hồ ngồi trên cái ghế đó kèm theo các động tác xoay qua xoay lại khi ôm cua, lắc lư theo tiếng nhạc khi xe chạy thẳng, là đủ để tạo ra một lượng tĩnh điện có thể giật tê cả tay tôi ngay trước khi tôi kịp chạm vào tay nắm cửa xe để đóng cửa.

Tóm lại, tôi chậm “giác ngộ” về ESD lẽ bởi vì nó là chuyện của … xứ Tây: mấy cái nơi lạnh ngắt, nhà cửa thì lót thảm, đi lại thì tàu với xe hơi. Chứ ở Việt Nam chơi toàn quần đùi áo ba lổ, nền nhà gạch đất, may mắn lắm thì cưỡi xe có chỗ dựa lưng bằng … thịt thì đào đâu ra ESD. Nhưng sau khi đã bị giật điện vì ESD vài lần thì tôi tin rằng ESD là vấn đề đáng phải quan tâm. Ai dám chắc rằng lượng tĩnh điện đủ làm cho một người nặng vài chục ký phải nhảy dựng lên lại không gây hề hấn gì cho một con chíp điện tử nặng vài gam?

Phần 2: Các mô hình ESD

Trong lĩnh vực bán dẫn, hiện tượng phóng điện do tĩnh điện có thể xảy ra đối với các con chíp trong suốt vòng đời của nó bất kể là nó đang ở trong dây chuyền sản xuất bán dẫn hay đã được đóng gói (package), đang được cất trong kho hay đã được lắp ráp vào sản phẩm và đưa vào sử dụng. Các dữ liệu thống kê cho thấy hư hỏng do ESD trực tiếp gây ra chiếm đến hơn 10% trong các IC bị hỏng. Thực tế, hầu hết các hư hỏng do quá áp (electrical overstress hay EOS), chiếm 50% số lượng IC bị hỏng, đều có nguồn gốc ban đầu là ESD [1].

Khi hiện tượng phóng điện xảy ra sẽ có một xung dòng điện chạy qua chíp bán dẫn. Xung dòng điện này có đặc tính là tăng rất nhanh (trong khoảng vài phần tỷ giây – nanosecond) đến giá trị cực đại và dòng điện cực đại có thể lên đến hàng ampere. Dòng điện quá lớn này sẽ tạo ra một điện áp lớn có thể đánh thủng các lớp cách điện cũng như các lớp ô-xít ở cực gate của các transistor. Dòng điện ESD với năng lượng rất cao cũng có thể tạo ra một lượng nhiệt rất lớn tại một vùng cục bộ và phá huỷ các thành phần mạch cũng như các lớp dây dẫn kim loại tại vùng đó. Dòng điện ESD với cường độ lớn còn gây ra hiện tượng electromigration làm giảm độ tin cậy (reliability) của chíp bán dẫn. (Electromigration là hiện tượng các phân tử vật chất cấu thành nên dây dẫn và via trong chíp bán dẫn bị tác động và di chuyển ra khỏi vị trí ban đầu do va chạm với các electron trong dòng điện. Electromigration có thể làm cho các dây dẫn và via bị đứt hay không còn kết nối tốt.)

Các mô hình ESD (ESD model)

Những gì xảy ra trong khoảng thời gian ngắn ngủi tính bằng nanosecond của hiện tượng ESD có lẽ khá phức tạp vì nó liên quan đến nhiều đặc tính vật lý (nhiệt, điện, vv) của các đối tượng tham gia vào quá trình. Việc xây dựng các mô hình ESD là cần thiết để mô phỏng hoạt động của chip bán dẫn trong điều kiện có ESD.

Về mặt điện, có 3 mô hình ESD được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực bán dẫn để đặc tả hiện tượng ESD:

• Mô hình HBM (Human Body Model – mô hình phóng điện từ cơ thể người)

• Mô hình MM (Machine Model – mô hình phóng điện từ máy móc)

• Mô hình CDM (Charged Device Model – mô hình phóng điện do chíp bán dẫn bị tích điện)

Có lẽ tên của các mô hình cũng đã cho ta khái niệm nào đó về nguồn gốc và mục đích của chúng. Cả 3 mô hình đều có chung một mạch điện mô tả là một mạch RLC nối tiếp như trong Hình 1 nhưng có các giá trị khác nhau cho các thành phần trong mô hình như được trình bày trong Bảng 1.

Mô hình ESD ở Hình 1 có bốn thông số: CESD, RESD, LESD, và VESD. Các thông số có thể được hiểu như sau:

• CESD mô tả khả năng tích điện (bởi vì tụ điện đơn giản là một vật lưu trữ điện tích) của đối tượng phóng điện. Các giá trị của CESD trong Bảng 1 được chọn bởi vì về mặt tích điện, cơ thể người, giống như một cái tụ điện có điện dung 100 pF, máy móc có thể xem như tụ điện 200 pF, chíp bán dẫn, vì khá nhỏ, có thể xem như một tụ điện 10 pF. Ta có thể hỏi: nhưng mà giá trị của CESD còn tuỳ thuộc vào người, hay máy, hay thiết bị tích điện cụ thể nữa chứ? Có lẽ là thế. Vậy nên giá trị của CESD (cũng như RESD và LESD) trình bày trong Bảng 1 chỉ là giá trị trung bình. Nhưng, điều quan trọng là những giá trị này được cộng đồng làm về ESD chọn làm giá trị chuẩn để mô tả hiện tượng ESD. Nói cách khác, nếu ta bàn về HBM thì có nghĩa là ta đang nói về mạch điện với CESD = 100pF chứ không phải bất kỳ một giá trị nào khác, bất chấp trong thực tế cơ thể người có điện dung là bao nhiêu đi nữa.

• RESD và LESD mô tả đặc tính của đường dẫn dòng điện ESD (không kể phần đường dẫn nằm bên trong “Mạch điện chịu tác động của ESD”). Trong mô hình HBM, cơ thể người có điện trở 1.5-kOhm và độ tự cảm (inductance) 7500nH. Máy móc và chíp bán dẫn có khả năng dẫn điện tốt hơn cơ thể người nên có điện trở quy ước được chọn là 20-Ohm. Máy móc có độ tự cảm, 750nH, lớn hơn độ tự cảm quy ước của chíp bán dẫn, 5nH, do có kích thước lớn hơn.

• Ý nghĩa của VESD thì hơi khác một chút. VESD không phải là một thông số cố định trong các mô hình ESD và các giá trị VESD trình bày trong Bảng 1 cũng không phải là giá trị quy ước trong các mô hình ESD. VESD là một thông số được dùng để đánh giá khả năng chịu đựng ESD (ESD tolerance hay ESD robustness) của chíp bán dẫn. Chíp có giá trị VESD càng cao thì khả năng tồn tại dưới tác động của ESD càng lớn. Các giá trị VESD trình bày trong Bảng 1 là các giá trị tối thiểu mà các chíp bán dẫn thương mại thường cố gắng đạt được. Khi ta đọc các báo cáo chi tiết về thông số kỹ thuật (specifications hay specs) của các chíp bán dẫn ta có thể gặp các dòng như: “HBM = 1.5kV” hay “CDM = 500V” thì các giá trị 1.5kV và 500V là giá trị VESD tối đa mà con chíp được đảm bảo là có khả năng chịu đựng.

• CESD cùng với VESD xác định lượng điện tích tĩnh điện được tích luỹ trước khi có ESD và sau đó được phóng ra trong suốt thời gian có ESD. Lượng điện tích này là: QESD = CESD x VESD. VESD càng lớn có nghĩa là lượng tĩnh điện được tích luỹ cũng lớn và khi xảy ra hiện tượng phóng điện thì dòng điện ESD cũng lớn tỷ lệ thuận. Con chíp có VESD càng cao thì càng có khả năng chịu đựng ESD. Còn bản thân người thiết kế mạch như tôi lại thích VESD thấp – vì nó dễ thiết kế hơn.

Tài liệu tham khảo:

[1] A. Amerasekera and C. Duvvury, ESD in Silicon Integrated Circuits, 2nd ed. New York, NY: Wiley-Interscience, 2002.

