

**ĐIỆN TỬ HỌC**

**SPIN**

## TƯƠNG LAI CỦA CÔNG NGHỆ MÁY TÍNH

>> GS.TS NGUYỄN HỮU ĐỨC

Điện tử học spin đang mở ra cuộc cách mạng thứ tư trong lịch sử loài người bằng việc cho ra đời những thế hệ linh kiện điện tử kim loại kích thước nano không chỉ có khả năng truyền tải và xử lý tín hiệu tốc độ cao; lưu trữ dữ liệu mật độ cao và chính xác gấp nhiều lần công nghệ điện tử học truyền thống mà còn giúp tiết kiệm năng lượng.



GS.TS Nguyễn Hữu Đức vừa được mời tham gia vào Ban biên tập tạp chí *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* – Tạp chí khoa học chuyên ngành hàng đầu thế giới trong lĩnh vực từ và vật liệu từ, do Nhà xuất bản Elsevier Science (Hà Lan) phát hành hàng tháng.



>> GS. Peter Gruenberg và GS. Abert Fert

## ĐIỆN TỬ HỌC SPIN

Điện tử có hai đặc tính rất quan trọng là điện tích và spin. Spin của điện tử có nguồn gốc từ chuyển động quay của điện tử quanh trục của nó giống như Trái đất và các hành tinh tạo nên mô men từ spin với hai trạng thái spin thuận (hướng lên) và spin nghịch (hướng xuống). Điện tử học truyền thống (electronics) là kỹ nghệ tạo ra các linh kiện và điều khiển điện tích của điện tử trong các linh kiện đó bằng điện trường để chuyển tải, thu nhận và xử lý thông tin. Đỉnh cao phát triển của các linh kiện truyền thống là các transistor hoặc các mạch tích hợp chế tạo bằng vật liệu bán dẫn với các mạch logic biểu diễn dữ liệu bằng các trạng thái nhị phân "1" và "0" tương ứng với trạng thái "có" hoặc "không có" điện tích. Trong khi đó việc lưu giữ thông tin lại được thực hiện nhờ thuộc tính spin của điện tử trong các đĩa cứng và đĩa mềm chế tạo bằng vật liệu từ. Điều đó có nghĩa là điện tích và spin của

ĐIỆN TỬ CÓ HAI ĐẶC TÍNH RẤT QUAN TRỌNG LÀ ĐIỆN TÍCH VÀ SPIN. ĐIỆN TÍCH CỦA ĐIỆN TỬ ĐƯỢC GỌI LÀ ĐIỆN TÍCH NGUYÊN TỐ MANG DẤU ÂM VÀ CÓ GIÁ TRỊ ĐẶC TRUNG LÀ  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

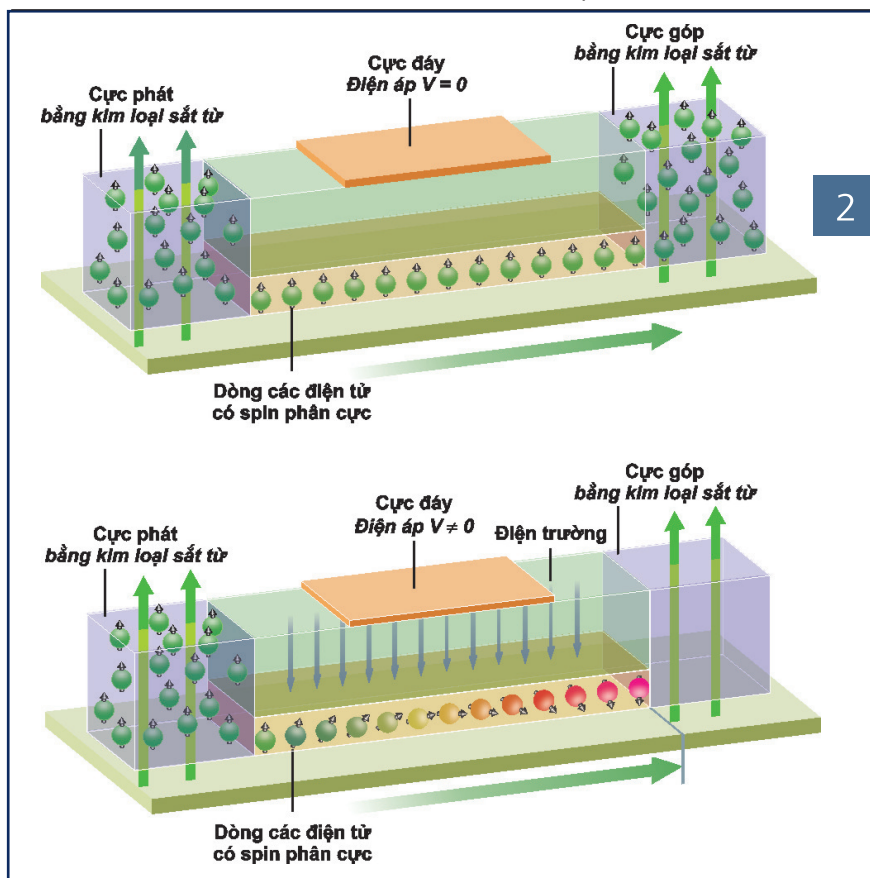
điện tử đã được sử dụng riêng rẽ trong các linh kiện khác nhau. Nếu quan tâm một cách đồng thời cả thuộc tính điện tích và spin của điện tử thì có thể thấy rằng, khi điện tử chuyển động, đồng thời với quá trình thu nhận và xử lý tín hiệu truyền thống, nhờ vào hai trạng thái spin thuận và spin nghịch của mình mà spin của điện tử cũng có thể cho ta một kiểu mạch logic hai trạng thái "1" và "0" mới. Do vậy, spin của điện tử cũng có thể tham gia vào quá trình vận chuyển thông tin, làm biến đổi điện trở, điện thế, ... của các vật liệu và cấu trúc có từ tính. Quá trình chuyển tải thông tin dựa trên trạng thái spin này tạo ra một kiểu kỹ thuật điện tử mới gọi là kỹ thuật điện tử - spin hoặc điện tử học spin (spin electronics hoặc spintronics).

Điện tử học spin nghiên cứu khả năng sử dụng đồng thời cả hai thuộc tính điện tích và spin của điện tử trong cùng một linh kiện, thực hiện cả hai quá trình xử lý và lưu giữ thông tin trên cùng một khối cơ bản trong các mạch tích hợp và phát triển các chức năng mới vốn không thể tồn tại trong các linh kiện bán dẫn và linh kiện từ tính truyền

thống.

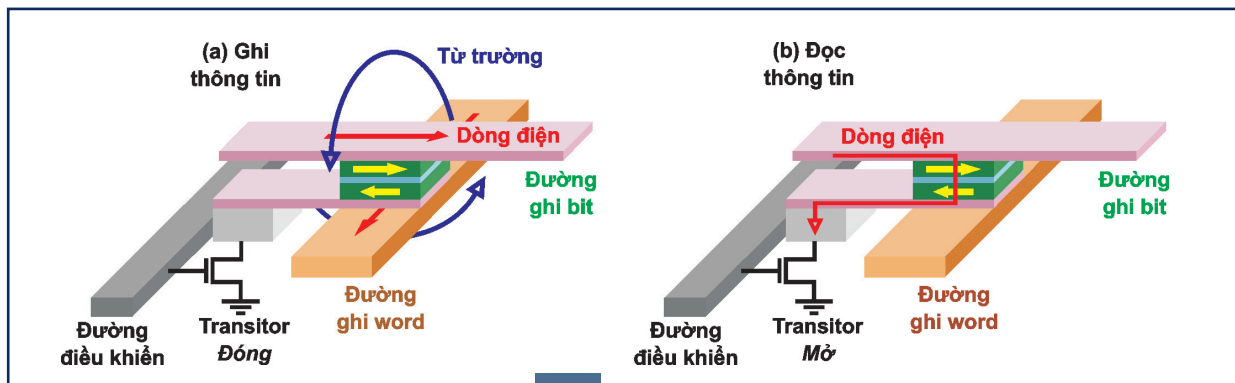
## CÁCH MẠNG CÔNG NGHIỆP LẦN THỨ TƯ

Điện tử học spin khởi nguồn từ phát minh hiệu ứng từ - điện trở khổng



2

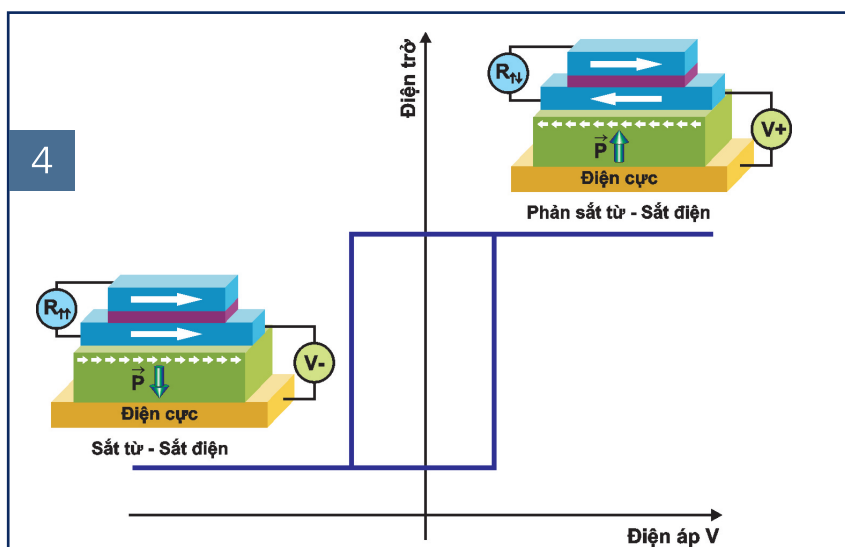
>> Cấu tạo và hoạt động của transistor trường spin. Tương tự như transistor trường bán dẫn, transistor spin trường cũng bao gồm cực phát, cực góp và cực đáy. Cực phát và cực góp bằng kim loại sắt từ nối với nhau thông qua một kênh bán dẫn hẹp. Các điện tử có spin phân cực được gửi từ cực phát đến cực góp qua kênh bán dẫn. Các điện tử này sẽ chuyển động dễ dàng (tương ứng với trạng thái dòng điện lớn) nếu chúng đến cực góp với định hướng spin không thay đổi (a). Khi đặt thế hiệu ở cực đáy, dòng spin chuyển qua hai cực phát – góp bị đảo hướng do chuyển động tuế sai (tương ứng với trạng thái dòng điện nhỏ).



3

>> Nguyên tắc ghi và đọc thông tin trong các bộ nhớ MRAM

>> Sơ đồ minh họa nguyên lý hoạt động của một ô nhớ thông tin MERAM sử dụng tổ hợp vật liệu multiferroics và cấu trúc từ - điện trở: thông tin được lưu giữ bởi các trạng thái spin giữa các lớp sắt từ và được ghi nhờ một hiệu điện thế tác dụng lên ô nhớ từ thay vì từ trường ngoài như phương pháp ghi từ truyền thống.



4



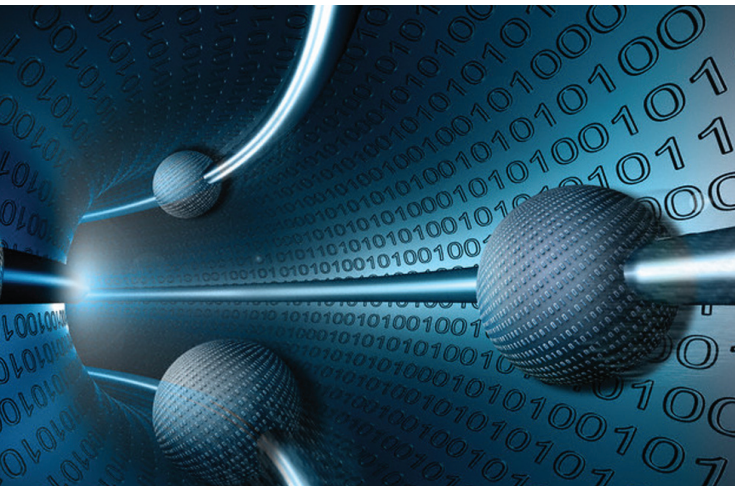
>> Nghiên cứu chế tạo linh kiện điện tử spin ở PTN Công nghệ Micro – Nano, Trường ĐH Công nghệ - ĐHQGHN.

lở (Giant MagnetoResistance – GMR effects) vào năm 1988 của hai nhóm vật lý người Pháp và người Đức do Albert Fert và Peter Gruenberg đứng đầu trong các hệ màng mỏng gồm các lớp kim loại sắt từ và kim loại không từ có độ dày cỡ nanô mét xếp xen kẽ nhau. Chính phát minh này đã cho phép hiện thực hóa khả năng phát triển các linh kiện điện tử dựa vào spin của điện tử và chế tạo các linh kiện điện tử bằng kim loại thay cho các linh kiện điện tử bằng bán dẫn truyền thống. Từ phát minh này và các kết quả nghiên cứu phát triển về hiệu ứng từ - điện trở xuyên ngầm (tunneling magnetoresistive -TMR effects), điện tử học spin đang mở ra cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư của loài người. Với tầm quan trọng đó, phát minh của Albert Fert và Peter Gruenberg đã giành Giải Nobel Vật lý 2007 (ảnh 1).

Trong 20 vừa qua, các linh kiện kim loại của điện tử học spin đã nhanh chóng phát triển qua ba

thế hệ. Thế hệ thứ nhất gồm các linh kiện dựa trên các hiệu ứng GMR, TMR, ví dụ như các cảm biến, đầu đọc trong các đĩa cứng, các bộ truy cập ngẫu nhiên (MRAM), các transistor kim loại (hay transistor lưỡng cực), transistor trường spin (spin FET) (ảnh 2), transistor van-spin... Thế hệ thứ hai gồm các linh kiện hoạt động dựa trên việc tiêm hoặc bơm dòng spin phân cực qua tiếp xúc dị thể bán dẫn sắt từ. Đó là các mạch khoá siêu nhanh, các bộ vi xử lý spin và mạch logic lập trình được... Thế hệ thứ ba là các linh kiện sử dụng các cấu trúc nanô dạng chấm lượng tử, dây và sợi nanô có các trạng thái spin điện tử đơn lẻ như cổng logic lượng tử (là cơ sở cho máy tính lượng tử), các transistor đơn spin (SSET)...

Các linh kiện điện tử spin có rất nhiều ưu điểm. Trước hết, chúng tiêu thụ ít năng lượng hơn và thao tác nhanh hơn vì trong các linh kiện điện tử spin việc đảo trạng thái chỉ dựa trên việc đổi định hướng spin chứ không cần dịch chuyển



điện tích. Thứ hai, spin hầu như không liên kết với điện trường nên tránh được nhiễu của điện tích.

Một số linh kiện điển hình của thế hệ linh kiện điện tử spin đầu tiên như đầu đọc, đầu ghi trong các ổ cứng tốc độ cao, phím bấm không tiếp xúc, động cơ không chổi than, giải mã vạch, đếm tốc độ, máy trợ thính... đã được chế tạo và đưa vào sử dụng ở mức độ thương phẩm từ cuối thế kỷ 20. Các bộ nhớ MRAM không tự xóa đã có sản phẩm thương mại và đang bắt đầu chiếm lĩnh thị trường.

### THÁCH THỨC VÀ CƠ HỘI...

Điện tử học spin liên quan đến quá trình điều khiển các trạng thái spin. Cho đến nay, quá trình điều khiển này chủ yếu được thực hiện nhờ từ trường. Với xu thế phát triển của công nghệ nano, các linh kiện điện tử spin có kích thước ngày càng nhỏ hơn và mức độ tích hợp ngày càng cao hơn. Khi đó, kỹ thuật điều khiển trạng thái spin cần từ trường lớn hơn, đồng thời từ trường điều khiển trạng thái spin cho một vị trí xác định dễ làm ảnh hưởng đến trạng thái spin của các vị trí lân cận, dẫn đến sai lệch và nhiễu cũng tăng lên. Đây là các hạn chế đối với sự phát triển công nghệ lưu giữ thông tin trong tương lai. Hiện nay, các bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên MRAM được sử dụng chủ yếu dựa trên hiệu ứng từ - điện trở được thực hiện thông qua trạng thái "1" và "0" tương ứng với trạng thái điện trở cao và thấp phụ thuộc vào cấu hình phản song song hay song song của các spin giữa các lớp sắt từ trong cấu trúc TMR. Đối với các MRAM này, quá trình ghi thông tin hoạt động nhờ dòng xung đồng bộ để tạo ra một từ trường tại ô nhớ đang xem xét (*hình 3a*). Tùy theo chiều của dòng điện, hướng của spin và trạng thái điện trở của ô nhớ sẽ được xác định. Khi đọc dữ liệu, một dòng xung công suất thấp sẽ đi

vào địa chỉ ô nhớ được chọn, điện trở của ô nhớ được xác định bằng thế hiệu tương ứng (*hình 3b*). Nguyên lý hoạt động như vậy đã được sử dụng rất hiệu quả trong thế hệ MRAM đầu tiên. Tuy nhiên, khi kích thước ô nhớ giảm xuống dưới 100 nm sẽ gặp phải một số hạn chế như đã nêu ở trên.

Để giải quyết vấn đề này, các nhà khoa học đang cố gắng tìm ra một cơ chế ghi từ mới thay thế quá trình điều khiển spin bằng từ trường bởi khả năng điều khiển spin bằng điện trường. Dựa trên nguyên lý điều khiển này, thế hệ lưu trữ thông tin mới với tên gọi MERAM (Magneto-Electric Random Access Memories) đang rất hứa hẹn. Ý tưởng này đang được triển khai dựa trên hiệu ứng từ - điện của các vật liệu lưỡng tinh sắt từ - sắt điện (hay còn gọi là vật liệu multiferroics). Khác với các cơ chế đảo từ truyền thống, nhờ liên kết từ - điện giữa các pha sắt từ và sắt điện trong cùng một vật liệu mà quá trình thay đổi định hướng spin có thể được thực hiện dưới tác dụng của điện trường ngoài. Bằng cách tổ hợp đồng thời cả hai hiệu ứng từ - điện trở khổng lồ trong các cấu trúc GMR đã mô tả ở trên với hiệu ứng từ - điện của vật liệu multiferroics, hai nhà khoa học Pháp Manuel Bibes và Agnès Barthélémy vừa đề xuất ý tưởng của mình cho bộ nhớ MERAM như trên *hình 4*. Theo cấu hình này, điện trường điều khiển được hướng của độ phân cực điện P (mũi tên màu xanh) và hướng spin (mũi tên nhỏ màu trắng) trong vật liệu multiferroics. Thông qua liên kết giữa vật liệu multiferroics và cấu trúc GMR, trạng thái spin phản song song hoặc song song có thể được thiết lập tương ứng với trạng thái "1" và "0".

Tháng 9 năm 2008, các nhà khoa học của trường Đại học Tohoku, Nhật Bản đã công bố nghiên cứu thành công khả năng đảo spin bằng điện trường đối với các chất bán dẫn sắt từ (Ga,Mn)As. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu này chỉ mới xảy ra ở nhiệt độ thấp. Ở Việt Nam ta, hiệu ứng từ - điện trở đã có nhiều nhóm nghiên cứu quan tâm và thu được một số kết quả tốt trong nhiều năm qua. Kết hợp hiệu ứng đó với hiệu ứng áp điện, nhóm nghiên cứu của Trường Đại học Công nghệ, ĐHQG Hà Nội đang tiếp cận đến các nguyên lý của các bộ nhớ MERAM dựa trên cấu trúc tổ hợp PZT/GMR ở nhiệt độ phòng. Các kết quả bước đầu này đã góp phần đưa nhóm nghiên cứu của Việt Nam gia nhập vào tốp đi tiên phong của thế giới vào lĩnh vực này.