

# SỰ TRUYỀN QUA CỦA CHùm TIA LASER ĐỎ BỞI MÀNG MỎNG $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG NGOÀI

## TRANSMISSION OF RED LASER BEAM BY $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ THIN FILMS UNDER EFFECT OF EXTERNAL MAGNETIC FIELD

Giáp Văn Cường<sup>1,3</sup>, Nguyễn Thế Bình<sup>2</sup>, Trần Trung<sup>3</sup>, Nguyễn Anh Tuấn<sup>(1)\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>2</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia Hà Nội

<sup>3</sup> Trường Đại học Sư Phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Đến Tòa soạn 13-6-2012, chấp nhận đăng 24-12-2012

### TÓM TẮT

Đặc tính truyền qua của chùm tia laser He-Ne đỏ, với bước sóng  $\lambda = 632,8$  nm, bởi các màng mỏng từ dạng hạt nano  $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ , có chiều dày trong khoảng 150-200 nm và tỷ lệ Co là 20, 30 và 50 % nguyên tử, đã được nghiên cứu dưới tác dụng của từ trường ngoài vuông góc với mặt phẳng của màng mỏng, với cường độ thay đổi từ 0 đến hơn 400 Gs. Kết quả cho thấy với tỷ lệ Co thấp, chứa 20 và 30 % nguyên tử mà khi đó tính chất siêu thuận từ nổi trội, lý số truyền qua tăng lên khi tăng cường độ từ trường, và kết quả ngược lại đã thu được được đối với màng mỏng có tỷ lệ Co lớn hơn, 50 % nguyên tử, mà khi đó tính sắt từ chiếm ưu thế. Nguyên nhân của sự phụ thuộc này đã được thảo luận.

Từ khóa: plasmon từ tính, màng mỏng từ dạng hạt nano  $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ , linh kiện spinplasmonics

### ABSTRACT

The transmission characteristics of the red He-Ne laser light beam, with wavelength  $\lambda = 632,8$  nm, by the nanomagnetic granular thin films  $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ , with Co components of 20, 30 and 50 at % were investigated under the effect of external magnetic field applied perpendicularly to the plane of the thin films, with intensity varied from 0 to over 400 Gs. The results showed that for the low-Co thin film: contained 20 and 30 at % cobalt, to which superparamagnetic behaviour is dominant, an increase: with increasing magnetic field intensity of the transmission coefficient was observed, while for the high-Co thin film, contains 50 at % cobalt, to which ferromagnetic behaviour saves a salient portion, an opposite trend was recorded. The reasons of this dependence are discussed.

## 1. GIỚI THIỆU

Hiện tượng plasmon đã được biết đến từ lâu khi các hạt kim loại, như vàng (Au), với kích thước và hàm lượng thích hợp được đưa thêm vào thủy tinh [1]. Những loại thủy tinh này có thể cho ánh sáng có bước sóng xác định truyền qua, hoặc bị "bẫy". Những vật liệu kiểu như vậy được gọi là vật liệu plasmonic, trong đó bản chất của hạt kim loại, kích thước và mật độ hạt, sẽ quyết định những đặc tính về plasmonic đối với những ánh sáng có bước sóng xác định. Vì thế vật liệu này đã được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật và đời sống [2],[3]. Những ứng dụng điển hình như là các linh kiện đóng ngắt quang trong công nghệ thông tin quang (linh kiện chuyển mạch quang), màn chắn quang, bộ lọc sắc, bộ dẫn sóng, v.v..

Gần đây người ta đã cho thấy, khi thay thế các hạt kim loại thông thường bằng các hạt

sắt từ, như Co, các đặc tính plasmonic có thể đã đáng thay đổi bằng từ trường ngoài [4]-[6]. Đó là hiện tượng plasmon từ tính, mà nguồn gốc của nó có liên quan tới sự thăng giáng của mật độ trạng thái spin tại bề mặt phân cách giữa hai kim loại sắt từ và môi trường phi từ, do được kích thích bởi trường điện từ. Đó là cơ sở cho một loại vật liệu điện từ-quang mới và sự ra đời của thế hệ các linh kiện plasmonic mới, gọi là các linh kiện spinplasmonics [7], hoạt động dựa trên mức độ tự do của spin điện tử, hứa hẹn có nhiều khả năng ứng dụng hết sức to lớn [8]. Vài hiện nay vấn đề này đang được nhiều nhà khoa học và công nghệ trên thế giới hết sức quan tâm, trong khi đó ở trong nước hầu như vẫn còn ít được chú ý đến.

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày một số kết quả nghiên cứu bước đầu về hiện tượng truyền qua màng mỏng từ có cấu trúc kiểu dạng hạt nano  $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$  của chùm tia laser

độ, phụ thuộc vào từ trường ngoài. Cấu trúc của loại màng mỏng này gồm các hạt sắt từ Co phân tán bên trong nền điện môi phi từ  $Al_2O_3$ , với kích thước chỉ khoảng vài chục nanomet [9], nhỏ hơn nhiều so với bước sóng được sử dụng để kích thích,  $\lambda = 632,8$  nm.

## 2. THỰC NGHIỆM

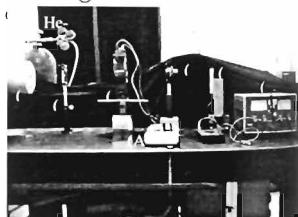
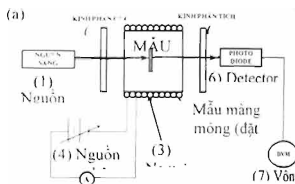
Các mẫu  $Co(x)-Al_2O_3$ , có chiều dày trung bình  $\sim 180$  nm và tỉ lệ thành phần của Co trong nền  $Al_2O_3$  là  $x = 20, 30$ , và  $50\%$  nguyên tử, chế tạo bằng phương pháp phun xạ lên đế thủy tinh, trong plasma Ar duy trì ở  $0,5 \times 10^{-6}$  bar (chân không cơ sở  $\sim 10^{-9}$  bar). Chiều dày màng mỏng được xác định bằng kỹ thuật mũi dò quét sử dụng thiết bị đo màng mỏng Alpha-Step, thành phần Co được xác định bằng kỹ thuật phổ tán sắc năng lượng EDS.

Sơ đồ bố trí thực nghiệm được trình bày ở hình 1. Nguồn kích thích mẫu (1) là loại laser khí He-Ne, có bước sóng  $\lambda = 632,8$  nm Đầu thu tín hiệu (6) sau khi chùm tia truyền qua mẫu là loại cảm biến quang điện trở (photo diode) CdS. Từ trường được tạo ra bởi nam châm điện (3) với cường độ thay đổi trong khoảng  $B = 0 - 450$  Gs. Mẫu được đặt tại tâm cuộn nam châm điện sao cho nằm trên trục của từ trường và tác dụng vuông góc lên bề mặt của màng mỏng, đồng thời cũng là trục quang học của hệ.

Để loại bỏ các hiện tượng quang từ không mong đợi, gồm hiệu ứng Kerr và Faraday xuất hiện trong trường hợp mẫu sắt từ, và/hoặc mẫu được đặt trong từ trường, hệ kính phân cực (2) và kính phân tích (5) đã được đưa vào. Khi đó sự quay khỏi góc phân cực ban đầu của chùm tia kích thích (được quy định bởi kính phân cực (2)), khi truyền qua mẫu sắt từ, và/hoặc đi vào vùng từ trường của nam châm điện, sẽ được điều chỉnh trở lại nhờ kính phân tích (5). Để nhận biết góc phân cực và góc phân tích đã trùng nhau, để từ đó đảm bảo được rằng các hiệu ứng quang từ thông thường đã bị loại trừ, kính phân tích (5) phải được quay cho đến khi cảm biến CdS nhận được cường độ chùm tia laser truyền tới là lớn nhất. Vì vậy, cường độ  $J$  ghi nhận được, nếu có thay đổi so với cường độ chùm sơ cấp  $J_0$ , sẽ không có đóng góp của các hiệu ứng quang từ thông thường.

Để xác định tỷ số truyền qua mẫu của chùm tia laser phụ thuộc vào cường độ từ

trường, trước hết các phép đo xác định quan hệ giữa cường độ cảm ứng từ  $B$  của nam châm điện (3) với cường độ dòng điện  $I$  được cấp từ nguồn dòng (4), và quan hệ giữa cường độ chùm tia laser  $J_0$  của nguồn (1) với quang điện trở  $R_{CdS}$  của cảm biến CdS đã được thực hiện. Kết quả cho thấy cường độ cảm ứng từ  $B$  và cường độ dòng điện  $I$  có quan hệ tuyến tính theo hàm số  $B(Gs) \sim 170 \times I(A)$ , và quan hệ giữa cường độ chùm tia laser  $J_0$  và quang điện trở  $R_{CdS}$  của cảm biến CdS có dạng hàm mũ, cho thấy  $R_{CdS}$  giảm nhanh theo  $J_0$ :  $R_{CdS}(\Omega) \sim 6,3 \times J_0^{0,6}(W)$ . Trong nghiên cứu này, tỷ số truyền qua được định nghĩa qua tỉ số  $J/J_0$ , với cường độ chùm tia sơ cấp  $J_0$  lấy trung bình và cố định ở  $22,57$  mW.



Hình 1. (a) Sơ đồ hệ đo xác định độ truyền qua của chùm tia laser bởi màng mỏng từ dạng hạt phụ thuộc vào từ trường ngoài. (b) Ảnh bố trí thực nghiệm của phép đo.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các hình 2, 3, và 4 là kết quả khảo sát sự phụ thuộc vào cường độ từ trường  $B$  của tỷ số truyền qua  $J/J_0$  đối với các màng mỏng từ dạng hạt  $Co-Al_2O_3$ , với tỉ lệ của Co tương ứng là 20, 30 và 50%. Các kết quả nghiên cứu trên hệ màng mỏng  $Co-Al_2O_3$  đã cho thấy [9], với tỷ lệ Co trong khoảng 10 - 30% nguyên tử, màng

màng có tính siêu thuận từ điển hình - là hành vi đáp ứng sự từ hóa của các hạt sắt từ đơn domain. Vượt quá 30 % Co tính sắt từ càng thể hiện rõ rệt. Vì vậy các mẫu 20 và 30 % Co đại diện cho môi trường nano có tính siêu thuận từ, trong khi đó mẫu 50 % Co đại diện cho môi trường hỗn hợp cả tính sắt từ, là chủ yếu, với một phần có tính siêu thuận từ.

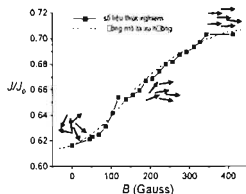
Trước hết, từ các kết quả thu được nhận thấy rằng, đối với các mẫu 20 và 30 % Co, tỷ số truyền qua  $J/J_0$  tăng khá đều đặn khi  $B$  tăng, và có xu hướng bão hòa khi  $B > 400$  Gs (hình 2, 3). Tuy nhiên mẫu 20 % Co có độ truyền qua cao hơn, nằm trong khoảng 0,61-0,70 (truyền qua đến  $\approx 60-70\%$ ), so với mẫu 30 % Co, có độ truyền qua chỉ  $\sim 0,23-0,27$ . Khi Co tăng lên đến 50 %, mẫu lại có tính chất ngăn cản mạnh đối với chùm tia laser đỏ. Hơn nữa lại càng giảm khi  $B$  tăng lên, như thấy ở hình 4. Mức độ truyền qua với mẫu này chỉ khoảng 0,06-0,07, và cũng có khuynh hướng bão hòa khi  $B > 400$  Gs.

Các hiện tượng trên đây chủ yếu liên quan đến hai yếu tố của cấu trúc mẫu: (i) kích thước và mật độ của hạt nano Co phân tán trong nền ôxít  $Al_2O_3$ ; (ii) bản chất sắt từ của các hạt Co. Trước hết, nhận thấy rằng yếu tố (i) chủ yếu chỉ gây nên các hiệu ứng quang học thuần túy - nguyên lý truyền qua, mà hầu như không chịu sự tác động của từ trường ngoài: kích thước và mật độ hạt càng thấp, độ truyền qua càng cao. Từ đó, như đã quan sát thấy ở trên, khi các mẫu với lượng Co tăng dần, 20, 30, và 50 %, do đó kích thước và mật độ hạt Co cũng tương ứng tăng theo, mức độ truyền qua lần lượt giảm dần.

Ngoài ra, mức độ truyền qua thuần túy quang học đối với chùm tia laser đỏ (không tính đến vai trò của từ trường tác dụng) có thể còn có đóng góp của hiện tượng giam hãm (định xứ, hoặc "bẫy") ánh sáng tại bề mặt các hạt kim loại. Hiện tượng giam hãm này là do các dao động phân cực plasmon bề mặt [10],[11], xuất hiện bởi sự điều chỉnh lại mật độ trạng thái điện tử ở lân cận mặt Fermi [12], mà đối với các mẫu nghiên cứu ở đây chính là bề mặt  $Co/Al_2O_3$  giữa hạt Co với nền  $Al_2O_3$ . Hiện tượng xuất hiện các dao động plasmon định xứ bề mặt, là trạng thái kích thích cơ bản thứ cấp trong chất rắn [2], thường nổi trội ở các hệ

nano, như các mẫu nghiên cứu ở đây, trong đó các hạt sắt từ Co phân tán trong nền  $Al_2O_3$  có kích thước rất nhỏ (trong khoảng 10-30 nm) so với bước sóng kích thích ( $\sim 600$  nm).

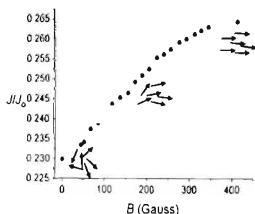
Về yếu tố (ii) của bản chất sắt từ của các hạt nano Co, đây sẽ là nguồn gốc gây nên sự phụ thuộc từ trường của độ truyền qua  $J/J_0(B)$ , mà được cho là có liên quan tới hiện tượng plasmon từ (magnetic plasmon). Ở trong các hình 2-4 có minh họa các đám hạt sắt từ Co với mũi tên thể hiện vectơ từ độ  $M$ , của mỗi hạt. Khi không có, hoặc có từ trường thấp, từ độ  $M$ , của các hạt Co sắp xếp hỗn độn trong nền  $Al_2O_3$ . Từ trường tăng lên (theo hướng vuông góc với bề mặt màng), kéo theo các từ độ  $M$ , quay gần như đồng bộ và hướng theo từ trường, với mức độ sắp xếp trật tự tăng dần, cho đến khi hoàn toàn trật tự, nghĩa là đạt đến trạng thái bão hòa khi  $B > 400$  Gs, và từ độ tổng cộng  $\Sigma M$ , sẽ đạt giá trị lớn nhất.



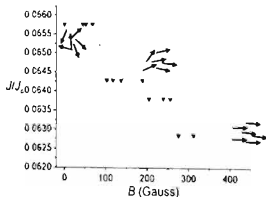
Hình 2 Sự phụ thuộc từ trường của tỷ số truyền qua  $J/J_0$  của mẫu  $Co(20\%)-Al_2O_3$ .

Vì các mẫu  $Co-Al_2O_3$  với 20 và 30 % Co, mẫu có đặc trưng siêu thuận từ, trong khi mẫu 50 % Co chủ yếu mang tính sắt từ, chỉ một phần nhỏ tính siêu thuận từ [9], nên kết quả ở các hình 2 và 3 chứng tỏ rằng chùm tia laser đỏ với bước sóng  $\lambda = 632.8$  nm có thể truyền qua một môi trường gồm các hạt nano siêu thuận từ càng dễ dàng hơn khi có sự trợ giúp (tác dụng) của từ trường ngoài. Tính siêu thuận từ càng giảm khi lượng Co càng tăng, và mức độ truyền qua của chùm tia laser đỏ dưới tác dụng của từ trường cũng giảm theo. Điều đáng chú ý là khi lượng Co đủ lớn để môi trường quang học (màng mỏng  $Co-Al_2O_3$ ) trở nên bắt đầu có tính sắt từ điển hình,  $\sim 50\%$  nguyên tử, mức độ ngăn cản

chùm tia laser đỏ truyền qua lại được tăng cường mạnh hơn bởi từ trường ngoài, nghĩa là từ trường càng làm cản trở ánh sáng đỏ mạnh hơn. Như vậy, tỷ số truyền qua của chùm tia laser đỏ, một mặt phụ thuộc vào tỷ lệ của thành phần sắt từ (Co) có trong nền điện môi ( $Al_2O_3$ ) (sẽ quy định kích thước và mật độ hạt), mặt khác phụ thuộc vào mức độ trật tự từ giữa các hạt sắt từ nano (do từ trường ngoài tác động).



Hình 3. Sự phụ thuộc từ trường của tỷ số truyền qua  $J/J_0$  của mẫu Co(30%)- $Al_2O_3$



Hình 4. Sự phụ thuộc từ trường của tỷ số truyền qua  $J/J_0$  của mẫu Co(50%)- $Al_2O_3$

Liên quan đến bản chất sắt từ của hạt nano Co (ii), hiện tượng phụ thuộc từ trường của tỷ số truyền qua  $J/J_0$  được cho là do xuất hiện trạng thái kích thích các dao động của mật độ spin của điện tử ở bề mặt các hạt Co bởi sóng điện từ. Dao động này dẫn đến hình thành dòng plasmonic cảm ứng quang học ở bề mặt  $Co/Al_2O_3$  khi các hạt Co có kích thước nhỏ hơn nhiều so với bước sóng của chùm ánh sáng chiếu tới [7]. Khi đó có sự liên kết rất mạnh

giữa trường điện từ với các hạt Co làm cho bức xạ điện từ bị "bẫy", nghĩa là bị định xứ ở xung quanh bề mặt các hạt, không lan truyền đi được [2] Mặt khác, với kích thước hạt nhỏ hơn nhiều so với bước sóng kích thích, như các hạt Co có kích thước chỉ ~ 20-30 nm [9] so với bước sóng chùm tia laser đỏ  $\lambda = 632,8$  nm, sẽ kích thích sự dao động kết hợp của các điện tử bên trong mỗi hạt Co.

Tuy nhiên, vì Co là sắt từ, nên có sự phân cực spin (số điện tử trong các hạt Co là một tập hợp không cân bằng nhau giữa các spin hướng lên (spin-up) và hướng xuống (spin-down)), do đó các dao động của mật độ spin ở bề mặt – là các dao động plasmonic được cộng hưởng quang học – có thể xung đột với các dao động kết hợp của các điện tử phân cực spin ở bên trong mỗi hạt Co. Điều đó làm giảm đi tính định xứ đối với bức xạ điện từ bởi plasmon phân cực bề mặt, nghĩa là làm tăng khả năng truyền qua đối bức xạ điện từ. Nói khác đi, chính sự mất cân bằng spin do bản chất sắt từ của các hạt Co đã làm giảm khả năng "bẫy" bức xạ điện từ. Như vậy, trong một tập hợp gồm các hạt Co siêu thuận từ mà ở đó từ độ giữa các hạt sắp xếp ngẫu nhiên khi  $B = 0$  hoặc có cường độ yếu, mặc dù khả năng "bẫy" ánh sáng đối với mỗi hạt đã giảm đi do bản chất sắt từ của các hạt Co như đã nêu ở trên, nhưng các góc phân cực ánh sáng do từ độ  $M$ , gây ra bởi hiệu ứng quang từ trong mỗi hạt Co, sau khi qua một tập hợp các hạt Co với hướng từ độ ngẫu nhiên, cũng trở nên bị phân bố ngẫu nhiên. Từ đó dẫn đến bức xạ điện từ khi qua mẫu bị triệt tiêu lẫn nhau, nghĩa là gây ra hiệu ứng dập tắt các bức xạ điện từ truyền qua mẫu. Từ đó có thể thấy ngay rằng khi cường độ từ trường tăng lên, từ độ của các hạt Co trở nên sắp xếp trật tự hơn, do đó các góc phân cực của chùm tia laser qua mẫu trở nên gần như đồng đều nhau, và các tia hướng tới song song và đồng bộ với nhau hơn. Kết quả là tỷ số truyền qua  $J/J_0$  tăng lên khi  $B$  tăng. Cũng chính cơ chế này đã gây nên hiện tượng được gọi là *spin plasmonic* xảy ra ở các hạt Co được phủ một phần bề mặt bởi lớp Au [7],[8].

Khi lượng Co lớn, 50% nguyên tử, một mặt bản thân mỗi hạt Co có thể không còn là đơn đô-men nữa; mặt khác, tương tác giữa các hạt Co có thể làm xuất hiện những đám kết tụ

gồm các hạt Co nhỏ hơn có hành vi giống như một "hạt" sắt từ đa đômen với kích thước hiệu dụng lớn. Khi đó khả năng xuất hiện các dao động kết hợp từ các điện tử trong mỗi đám hạt Co như thể có thể bị suy giảm đi nhiều do kích thước hiệu dụng tăng lên (tuy nhiên, các kích thích dao động plasmon bề mặt vẫn còn), vì thế độ lớn hiệu dụng của  $M$ , trong mỗi đám hạt đó cũng tăng lên. Kết quả là hiện tượng quay quang từ Kerr trở nên nổi trội và che lấp đi hiện tượng plasmon bề mặt. Vì vậy khi  $B$  càng lớn, hiện tượng quay Kerr càng mạnh, và độ truyền qua của chùm tia laser đỏ càng yếu đi, như đã ghi nhận được và thấy ở hình 4.

#### 4. KẾT LUẬN

Tính chất truyền qua màng mỏng từ dạng hạt nano Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> của chùm tia laser đỏ, có bước sóng 632.8 nm, dưới tác dụng của từ trường ngoài, trong đó đã loại bỏ các hiệu ứng quang từ thông thường (các hiệu ứng Faraday

và Kerr), lần đầu tiên được nghiên cứu. Kết quả bước đầu cho thấy, một môi trường quang học trong đó gồm có các hạt nano kim loại sắt từ với kích thước và mật độ thích hợp, có thể được sử dụng như một linh kiện plasmonic để điều tiết mức độ truyền qua hay giảm hãm bức xạ có bước sóng xác định bằng từ trường ngoài. Mặc dù mới chỉ là bước nghiên cứu có tính chất khởi động cho một hướng công nghệ hoàn toàn mới đối với loại vật liệu quang - từ - điện tử ở trong nước - loại vật liệu và linh kiện *spinplasmonics*, một số vấn đề về vật lý cơ bản và khả năng ứng dụng đã được đề cập.

#### 5. CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi đề tài mã số 103.02.2012.65 thuộc quỹ NAFOSTED, và đề tài cấp trường (ĐHSPKT Hưng Yên): "Xây dựng hệ đo và nghiên cứu tính chất từ-quang của màng dạng hạt nano Co-Ag và Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>".

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. S.A. Maier and H. A. Atwater, J. Appl. Phys 98 (2005) 011101(10).
2. S.A. Maier, Plasmonics: Fundamentals and Applications, Springer Science + Business Media LLC, 2007.
3. R. Wang, et al., Biosensors and Bioelec-tronics 20 (2004) pp. 598-605.
4. K.J. Chau, M. Johnson, and A. Y. Elezzabi, Phys. Rev. Lett., 98 (2007) 133901.
5. G. A. Wurtz et al., New Journal of Physics 10 (2008) 105012.
6. L. Sapienza and D. Zerulla, Phys. Rev. B 79 (2009) 033407.
7. A. Y. Elezzabi, Proc. of SPIE Vol. 6641, 664111, (2007).
8. A.Y. Elezzabi, Nanotoday, 2(6) (2007) 48.
9. Nguyen Anh Tuan, et al., Tuyển tập Hội nghị vật lý chất rắn toàn quốc lần thứ 5, 2007, tr. 144-148.
10. H. Raether, Surface Plasmons; Springer; Berlin, 1988.
11. W.L. Barnes, et al., Nature 424 (2003) 824-830.
12. Mei-Rong Li and J. P. Carbotte, Phys. Rev. B 66 (2002) 155114.

*Địa chỉ liên hệ* Nguyễn Anh Tuấn – Tel: 0904403687 – Email: natuan.itims@hust.edu.vn  
P.210, viện ITIMS, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội  
Số 1 – Đại Cồ Việt – Hai Bà Trưng – Hà Nội