

HỆ SỐ KHUẾCH TÁN NỘI TẠI VÀ HỆ SỐ KHUẾCH TÁN TƯƠNG QUAN CỦA TẠP CHẤT BO TRONG SILIC

Vũ Bá Dũng, Hồ Quỳnh Anh, Tống Bá Tuấn

Tóm tắt: Trong quá trình khuếch tán tạp chất bo trong silic, sự tương tác giữa bo và sai hỏng điểm làm cho quá trình khuếch tán và hệ số khuếch tán của bo trong silic trở nên phức tạp. Vì vậy, việc xác định hệ số khuếch tán của bo trong silic không hề đơn giản. Tuy nhiên, ứng dụng lý thuyết nhiệt động lực không thuận nghịch, quá trình khuếch tán và hệ số khuếch tán của tạp chất bo trong silic có thể được lý giải, tính toán và khảo sát. Trong bài báo này, các tác giả đã giới thiệu các kết quả nghiên cứu về hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan của bo trong silic. Các kết quả đã cho thấy:

- i) Hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan của bo trong silic phụ thuộc vào nồng độ của bo và nồng độ sai hỏng điểm;
- ii) Khi nồng độ bo thấp, hệ số khuếch tán nội tại có dấu dương và bo khuếch tán thông thường trong Si;
- iii) Khi nồng độ bo cao, hệ số khuếch tán nội tại có dấu âm và bo khuếch tán dốc trong silic.

Từ khóa: Khuếch tán bo trong silic, Hệ số khuếch tán nội tại, Hệ số khuếch tán tương quan.

1. MỞ ĐẦU

Hệ số khuếch tán là thông số của quan trọng của quá trình khuếch tán. Trong các quá trình khuếch tán đơn giản, hệ số khuếch tán là một hằng số. Tuy nhiên, khuếch tán trong chất rắn nói chung và khuếch tán trong vật liệu bán dẫn là các quá trình phức tạp và hệ số khuếch tán tạp chất trong mạng tinh thể chất bán dẫn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau, như nồng độ tạp chất, nồng độ sai hỏng điểm trong Si. Khuếch tán tạp chất trong chất bán dẫn thường là các quá trình khuếch tán phức tạp đa thành phần, bao gồm tạp chất và sai hỏng điểm. Sự tương tác giữa các thành phần làm cho quá trình khuếch tán và hệ số khuếch tán của các thành phần trở nên phức tạp hơn nhiều so với khuếch tán đơn thành phần [1-6]. Khuếch tán tạp chất cũng như khuếch tán bo trong silic cũng đã được nghiên cứu bởi nhiều cách tiếp cận khác nhau, và hầu hết đều cho rằng tạp chất thực hiện khuếch tán đơn thành phần trong silic [2, 3, 5]. Trong bài báo này, trên cơ sở lý thuyết nhiệt động lực học không thuận nghịch và cho rằng tạp chất khuếch tán trong silic là loại khuếch tán đa thành phần (tạp chất và sai hỏng điểm), các hệ số khuếch tán (hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan) của tạp chất B trong Si đã được nghiên cứu. Các hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan của B trong Si đã được tính toán, khảo sát và thảo luận.

2. HỆ SỐ KHUẾCH TÁN CỦA TẠP CHẤT B TRONG SILIC

Trong quá trình chế tạo vật liệu bán dẫn, linh kiện bán dẫn hoặc mạch tổ hợp (IC), một quá trình công nghệ quan trọng là khuếch tán các tạp chất (B, As, P ...) vào trong mạng tinh thể silic (Si). Hầu hết các quá trình khuếch tán tạp chất là khuếch tán đa thành phần, bao gồm tạp chất và sai hỏng điểm [1-3]. Khuếch tán tạp chất bo (B) trong silic phụ thuộc vào sai hỏng điểm kẽ (I) và nút khuyết (V). Tạp chất khuếch tán trong Si có thể xảy ra theo một số cơ chế khác nhau như: cơ chế nút khuyết - vacancy, cơ chế điền kẽ - interstitial, cơ chế kick-out, cơ chế tái hợp... [2-9]. Tuy nhiên, khuếch tán tạp chất B trong silic theo ba cơ chế chính là: cơ chế nút khuyết, cơ chế điền kẽ và cơ chế hỗn hợp. Khuếch tán theo các cơ chế này thường làm sinh ra các sai hỏng điểm. Các sai hỏng điểm tương tác và khuếch tán đồng thời cùng tạp chất B, và như vậy, quá trình khuếch tán tạp chất B

trong Si là quá trình khuếch tán ba thành phần (B, I và V). Đây là một quá trình phức tạp, các lý thuyết khuếch tán đơn thành phần như lý thuyết Fick không thể mô tả được quá trình khuếch tán này.

Tuy nhiên, dựa trên cơ sở lý thuyết nhiệt động lực học không thuận nghịch (hệ phương trình Onsager) ta có thể mô tả được quá trình phức tạp này. Phương trình Onsager mô tả quá trình khuếch tán i thành phần được viết như sau [10-13]:

$$J_i = \sum_k L_{ik} X_k \quad (1)$$

ở đây, J_i mật độ dòng khuếch tán của thành phần thứ i, X_k là lực nhiệt động, L_{ik} là hệ số hiện tượng luận Onsager. Áp dụng phương trình Onsager, quá trình khuếch tán đồng thời B và sai hỏng điểm có thể được mô tả bằng hệ phương trình sau [1, 14]:

$$J_B = L_{BB}X_B + L_{BI}X_I + L_{BV}X_V \quad (2)$$

$$J_I = L_{II}X_I + L_{IB}X_B + L_{IV}X_V \quad (3)$$

$$J_V = L_{VV}X_V + L_{VB}X_B + L_{VI}X_I \quad (4)$$

ở đây, J_B , J_I và J_V là mật độ dòng khuếch tán của B, I và V. Trong đó, các lực nhiệt động và các hệ số hiện tượng luận được xác định bởi các công thức [1]:

$$X_i = -\nabla\mu_i - \frac{kT}{C_i} \frac{\partial C_i}{\partial x} \quad (5)$$

$$L_{ii} = \frac{D_i C_i}{kT} \quad (6)$$

$$L_{BI} = L_{IB} = \frac{D_V C_V - D_I C_I - D_B C_B}{2kT} \quad (7)$$

$$L_{BV} = L_{VB} = \frac{D_I C_I - D_B C_B - D_V C_V}{2kT} \quad (8)$$

$$L_{IV} = L_{VI} = \frac{D_B C_B - D_I C_I - D_V C_V}{2kT} \quad (9)$$

trong đó, D_B , D_I , D_V là hệ số khuếch tán đơn (hệ số khuếch tán khi không có tương tác giữa các thành phần) của B, I, V; C_B , C_I , C_V là nồng độ B, I, V; μ là thế hóa học; k và T là hằng số Boltzmann và nhiệt độ. Trong điều kiện nhiệt độ và áp suất không đổi thì phương trình Gibbs-Duhem có thể được áp dụng [15-17]:

$$C_B X_B + C_I X_I + C_V X_V = 0 \quad (10)$$

Kết hợp các phương trình (1), (2), (3) và (10) ta có:

$$J_B = \left(L_{BB} - L_{BV} \frac{C_B}{C_V} \right) X_B + \left(L_{BI} - L_{BV} \frac{C_I}{C_V} \right) X_I \quad (11)$$

$$J_I = \left(L_{II} - L_{IV} \frac{C_I}{C_V} \right) X_I + \left(L_{IB} - L_{IV} \frac{C_B}{C_V} \right) X_B \quad (12)$$

$$J_V = \left(L_{VV} - L_{VI} \frac{C_V}{C_I} \right) X_V + \left(L_{VB} - L_{VI} \frac{C_B}{C_V} \right) X_B \quad (13)$$

Thay các phương trình (5), (6), (7), (8), (9) vào các phương trình (11), (12), (13) ta có:

$$J_B = -D_{BB} \frac{\partial C_B}{\partial x} - D_{BI} \frac{\partial C_I}{\partial x} \quad (14)$$

$$J_I = -D_{IB} \frac{\partial C_B}{\partial x} - D_{II} \frac{\partial C_I}{\partial x} \quad (15)$$

$$J_V = -(J_B + J_I) \quad (16)$$

Trong đó, các hệ số khuếch tán D_{BB} , D_{II} và D_{BI} , D_{IB} là được gọi là hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan của B và I. Trong đó, các hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan của B được xác định bởi các công thức:

$$D_{BB} = \frac{I}{2} \left(2D_B + D_V + \frac{D_B C_B - D_I C_I}{C_V} \right) \quad (17)$$

$$D_{BI} = \frac{I}{2} \left(D_V - D_I + \frac{D_V C_V - D_B C_B}{C_I} + \frac{D_B C_B - D_I C_I}{C_V} \right) \quad (18)$$

Phương trình (14) cho thấy quá trình khuếch tán của tạp chất B không những phụ thuộc vào hệ số khuếch tán và nồng độ của chính nó (D_B và C_B) mà còn phụ thuộc vào hệ số khuếch tán và nồng độ của sai hỏng điểm (D_I , D_V và C_I , C_V). Các phương trình (17), (18) cũng cho thấy hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan của B phụ thuộc vào nồng độ của B và nồng độ sai hỏng điểm.

3. SỰ PHỤ THUỘC HỆ SỐ KHUẾCH TÁN D_{BB} VÀ D_{BI} VÀO NỒNG ĐỘ

Quá trình khuếch tán B trong Si được xác định bởi phương trình (14) với các hệ số khuếch tán nội tại (17) và hệ số khuếch tán tương quan (18). Các hệ số khuếch tán này quyết định đến tính chất khuếch tán của B trong Si. Sự phụ thuộc của hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan vào nồng độ B và nồng độ sai hỏng điểm sẽ được, tính toán, khảo sát và thảo luận sau đây.

Dòng khuếch tán của B trong silic (14) có thể được ra thành hai thành phần J_{BB} và J_{BI} :

$$J_B = J_{BB} + J_{BI} \quad (19)$$

i) Dòng khuếch tán nội tại J_{BB} phụ thuộc vào gradient nồng độ của B và hệ số khuếch tán nội tại D_{BB} :

$$J_{BB} = -D_{BB} \frac{\partial C_B}{\partial x} \quad (20)$$

ii) Dòng khuếch tán tương quan J_{BI} phụ thuộc vào gradient nồng độ của điện kễ và hệ số khuếch tán tương quan D_{BI} :

$$J_{BI} = -D_{BI} \frac{\partial C_I}{\partial x} \quad (21)$$

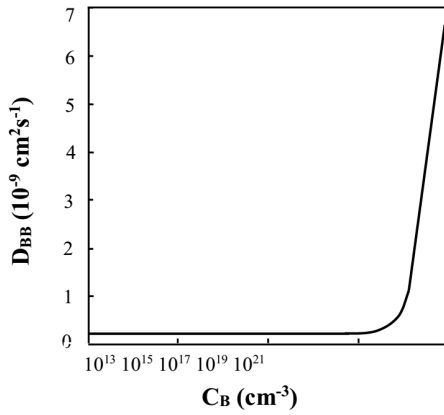
Các phương trình (19), (20) và (21) cho thấy tính chất khuếch tán của tạp chất B trong Si phụ thuộc hệ số khuếch tán nội tại D_{BB} và hệ số khuếch tán tương quan D_{BI} .

Sau đây, sự biến thiên theo nồng độ tạp chất bo C_B và nồng độ sai hỏng điện kễ C_I của hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan sẽ được khảo sát. Ở tại nhiệt độ khuếch tán $T = 1000^\circ\text{C}$, hệ số khuếch tán của sai hỏng điểm và của tạp chất B được lựa chọn là $D_I = 2.6 \times 10^{-11} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$, $D_V = 3.2 \times 10^{-10} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ và $D_B = 1.28 \times 10^{-14} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ [18].

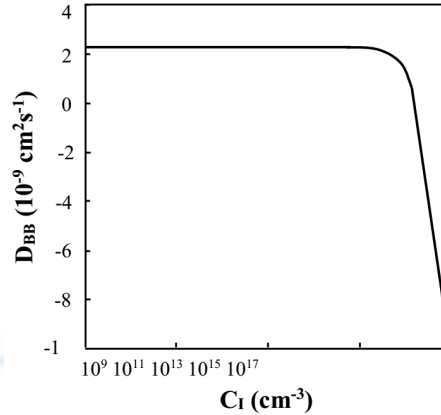
Bảng 1. Sự phụ thuộc hệ số khuếch tán D_{BB} và D_{BI} vào nồng độ tạp chất B.

C_B	B_{BB}	B_{BI}	C_I	B_{BB}	B_{BI}
10^{13}	1.6×10^{10}	-1.5×10^{-9}	10^9	2.3×10^{-10}	-1.6
10^{14}	1.6×10^{10}	-1.5×10^{-8}	10^{10}	2.3×10^{-10}	-1.6×10^{-1}
10^{15}	1.6×10^{10}	-1.5×10^{-7}	10^{11}	2.3×10^{-10}	-1.6×10^{-2}
10^{16}	1.6×10^{10}	-1.5×10^{-6}	10^{12}	2.3×10^{-10}	-1.6×10^{-3}
10^{17}	1.6×10^{10}	-1.5×10^{-5}	10^{13}	2.3×10^{-10}	-1.6×10^{-4}
10^{18}	1.7×10^{10}	-1.5×10^{-4}	10^{14}	2.4×10^{-10}	-1.6×10^{-5}
10^{19}	2.3×10^{10}	-1.5×10^{-3}	10^{15}	2.1×10^{-10}	-2.6×10^{-5}
10^{20}	8.1×10^{10}	-1.5×10^{-2}	10^{16}	1.1×10^{-10}	-1.4×10^{-6}
10^{21}	6.7×10^{09}	-1.5×10^{-1}	10^{17}	-9.2×10^{-10}	1.6×10^{-6}

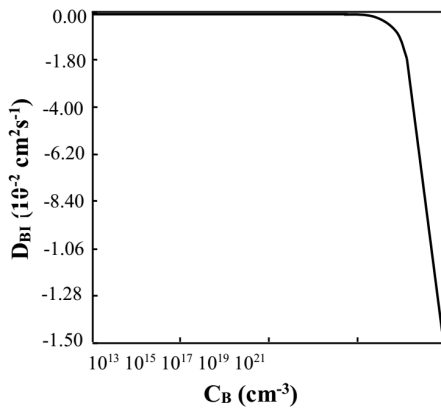
Bảng 1 là kết quả tính toán sự phụ thuộc của D_{BB} và D_{BI} vào nồng độ của tạp chất bo C_B khi nồng độ sai hỏng điểm ở giá trị cân bằng ($C_I = 1.1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$, $C_V = 1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ [18]) và sự phụ thuộc của D_{BB} và D_{BI} vào nồng độ điện kể C_I khi nồng độ tạp chất bo không đổi $C_B = 10^{-19} \text{ cm}^{-3}$.



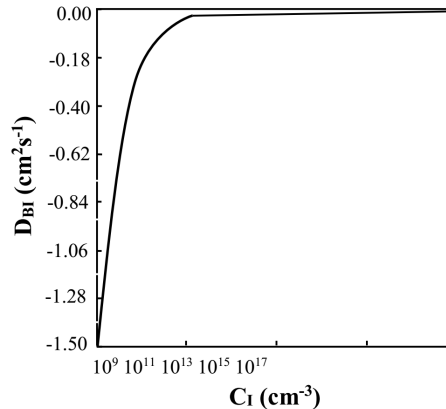
Hình 1. Đồ thị sự phụ thuộc hệ số khuếch tán nội tại vào nồng độ tạp chất B.



Hình 2. Đồ thị sự phụ thuộc hệ số khuếch tán nội tại vào nồng độ điện kể.



Hình 3. Đồ thị sự phụ thuộc hệ số khuếch tán tương quan vào nồng độ tạp chất B.



Hình 4. Đồ thị sự phụ thuộc hệ số khuếch tán tương quan vào nồng độ điện kể.

Hình 1 là đồ thị sự phụ thuộc hệ số khuếch tán nội tại vào nồng độ tạp chất bo C_B . Hình 2 là đồ thị sự phụ thuộc hệ số khuếch tán nội tại vào nồng độ điện kể C_I . Hình 3 là cho biết sự phụ thuộc hệ số khuếch tán tương quan vào nồng độ tạp chất bo C_B . Hình 4 là cho biết sự phụ thuộc hệ số khuếch tán tương quan vào nồng độ điện kể C_I . Các kết quả cho thấy:

- i) Tại vùng tạp chất bo có nồng độ thấp ($C_B = 10^{13} \div 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) hệ số khuếch tán nội tại D_{BB} không đổi, còn tại vùng nồng độ cao của B ($C_B = 10^{18} \div 10^{21} \text{ cm}^{-3}$) thì D_{BB} tăng khi nồng độ C_B tăng;
- ii) Hệ số tương quan D_{BI} tăng khi nồng độ B tăng ở cả vùng nồng độ thấp và nồng độ cao ($C_B = 10^{13} \div 10^{21} \text{ cm}^{-3}$);
- iii) Cả hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan có thể có dấu dương hoặc dấu âm;
- iv) Hệ số khuếch tán nội tại ít thay đổi theo nồng sai hỏng C_I và có dấu dương ở vùng nồng độ thấp ($C_I = 10^9 \div 10^{13} \text{ cm}^{-3}$) nhưng ở vùng độ cao ($C_I = 10^{14} \div 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) thì bị thay đổi nhanh và có thể có dấu âm;

- v) Tại vùng sai hỏng có nồng độ không cao ($C_I = 10^9 \div 10^{14} \text{cm}^{-3}$) hệ số khuếch tán tương quan D_{II} có dấu âm và thay đổi mạnh, còn tại vùng nồng độ cao ($C_I = 10^{17} \text{cm}^{-3}$) thì D_{BI} có dấu dương.

Các kết quả trên đã chỉ ra rằng: quá trình khuếch tán tạp chất bo trong silic phụ thuộc vào nồng độ và gradient nồng độ của chính tạp chất bo và của sai hỏng điểm.

Trong đa số các trường hợp thì gradient nồng độ của sai hỏng điểm là rất nhỏ, có thể bỏ qua, khi đó, quá trình khuếch tán B trong silic được xác định bởi phương trình sau:

$$J_B = J_{BB} = -D_{BB} \frac{\partial C_B}{\partial x} = -\frac{I}{2} \left(2D_B + D_V + \frac{D_B C_B - D_I C_I}{C_V} \right) \frac{\partial C_B}{\partial x} \quad (22)$$

Lúc này, quá trình khuếch tán B trong Si phụ thuộc vào hệ số khuếch tán nội tại. Tuy nhiên, quá trình khuếch tán của B vẫn phụ thuộc mạnh vào nồng độ sai hỏng điểm trong Si:

- i) Khi nồng độ điểm khuyết C_I nhỏ hơn 10^{16} thì hệ số khuếch tán nội tại D_{BB} có dấu dương và B khuếch tán bình thường (dòng khuếch tán đi theo chiều giảm nồng độ);
- ii) Khi nồng độ điểm khuyết C_I lớn hơn 10^{16} thì hệ số khuếch tán nội tại D_{BB} có dấu âm và B khuếch tán lên dốc (dòng khuếch tán đi theo chiều tăng nồng độ).

Ngoài ra, nồng độ của tạp chất bo C_B cũng đóng vai trò quan trọng đối với tốc độ khuếch tán B trong Si:

- i) Khi nồng độ B thấp ($C_B < 10^{17} \text{cm}^{-3}$) thì hệ số khuếch tán nội tại nhỏ, tức là B khuếch tán chậm;
- ii) Khi nồng độ B cao hơn 10^{17}cm^{-3} thì hệ số khuếch tán nội tại tăng nhanh và tốc độ khuếch tán B cũng tăng nhanh. Đây chính là hiện tượng khuếch tán tăng cường của tạp chất ở vùng nồng độ cao đã được thực nghiệm xác nhận [19, 20].
- iii) Hiện tượng hệ số khuếch tán của B có thể có dấu âm trong hệ khuếch tán bậc ba (ba thành phần: B, I và V), có nghĩa là khuếch tán ba thành phần B và sai hỏng điểm trong Si có thể xảy ra hiện tượng khuếch tán lên dốc (uphill diffusion). Đây là một kiểu khuếch tán có thể có nhiều ứng dụng thú vị, đang được nghiên cứu [21-28].

4. KẾT LUẬN

Dựa trên lý thuyết nhiệt động lực học không thuận nghịch, hệ số khuếch tán nội tại và hệ số khuếch tán tương quan của tạp chất B đối với hệ khuếch tán ba thành phần trong Si đã được nghiên cứu.

Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra:

- i) Ở vùng nồng độ tạp chất B thấp, hệ số khuếch tán nội tại của B có dấu dương và B thực hiện khuếch tán thông thường trong Si;
- ii) Ở vùng nồng độ tạp chất B cao, hệ số khuếch tán nội tại của B có dấu âm và B thực hiện khuếch tán lên dốc trong Si;

Kết quả về khả năng khuếch tán lên dốc của tạp chất B đối với hệ bậc ba trong vật liệu bán dẫn Si mở ra một hướng nghiên cứu mới về “khuếch tán lên dốc của tạp chất và sai hỏng điểm trong vật liệu bán dẫn”. Đồng thời, kết quả cũng đã thêm phần khẳng định về một kiểu khuếch tán đặc biệt, nhưng có nhiều ứng dụng thú vị trong các lĩnh vực khôi phục tranh cổ, tuyển khoáng và giảm ô nhiễm môi trường không khí và môi trường nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vu Ba Dung et al, “Preliminary Results of Numerical Profiles for Simultaneous Diffusion of Boron and Point Defect in Silicon using the Irreversible Thermodynamic Theory”, Defect and Diffusion Forum **Vol. 194** (2001), pp. 647-652.

- [2]. S. Mirabella, et al, “Mechanisms of boron diffusion in silicon and germanium”, J. Appl. Phys. **Vol. 113** (2013), p. 4763353.
- [3]. N. Cowern, et al, “Experiments on atomic-scale mechanisms of diffusion” Phys. Rew. Lett. **Vol. 67** (1991), p. 212.
- [4]. H. Bracht, “Diffusion mechanisms and intrinsic point-defect properties in silicon” Mater. Res. Soc. Bull. **Vol. 25** (2000), p. 22.
- [5]. S. Jain, et al, “Transient enhanced diffusion of boron in Si” J. Appl. Phys. **Vol. 91** (2002) p. 8919.
- [6]. P. Pichler, “Intrinsic point defects, Impurities, and Their Diffusion in Silicon”, Springer-Verlag Wien (2004), pp. 229-279.
- [7]. A. Ural, et al, “Fractional contributions of microscopic diffusion mechanisms for common dopants and self-diffusion in silicon” J. Appl. Phys. **Vol. 85** (1999), p. 6440.
- [8]. Y. Huang, et al, “The Lattice Kinetic Monte Carlo Simulation of Boron Diffusion in SiGe” Adv. Chem. Eng. Sci. **Vol. 4** (2014), pp. 529-538.
- [9]. A. F. W. Willoughby, “Anomalous Diffusion Effects in Silicon (A Review)” Journal of Materials Science, **Vol. 3** (1968) pp. 89-98.
- [10]. G. Lebon, D. Jou and J. Vasas-Vazquez, “Understanding No-equilibrium Thermodynamics”, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, (2008), p. 47.
- [11]. I. Belova, et al, “Simultaneous tracer diffusion and interdiffusion in a sandwich-type configuration to provide the composition dependence of the tracer diffusion coefficients” Philosophical Magazine, **Vol. 94** (2014) pp. 3560-3573.
- [12]. K. Olah, “Thermokinetics of the Equilibrium State”, Per. Polyt. Chem. Eng. **Vol. 45** (2003), pp.3-33.
- [13]. D. Miller, “The origins of Onsager's key role in the development of linear irreversible thermodynamics” Journal of Statistical Physics, **Vol. 78** (1995), p. 563.
- [14]. S. Hu, “Modeling Diffusion in silicon”, Summer school, Belgium (1987), p. 465.
- [15]. G. Verros, “On the validity of the Onsager reciprocal relations in multi- component diffusion”, Phys. Lett. A **Vol. 365** (2007), pp. 34-38.
- [16]. I. Latella and A. Madrid, “Local thermodynamics and the generalized Gibbs Duhem equation in systems with long-range interactions” Phys. Rev. E **Vol. 88** (2013) p. 042135.
- [17]. S. Emmanuel, A. Cotis, B. Berkowitz, “Diffusion in multicomponent systems: a free energy approach”, Chem. Phys. **Vol. 320** (2014) pp. 21-30.
- [18]. D. Mathiot, J. Pfister, “Dopant diffusion in silicon: A consistent view involving nonequilibrium defects” J. Appl. Phys. **Vol. 55** (1984) p. 3518.
- [19]. S.M. Hu, *Diffusion in Silicon and Germanium, Atomic Diffusion in semiconductors*, Plenum Press, London (1973), p. 217.
- [20]. N. D. Thai, “Solid State Electronics”, Pergamon Press **Vol. 13** (1970), pp. 165-172.
- [21]. L. Darken, “Diffusion of carbon in austenite with a discontinuity in composition”, Trans. AIME, **Vol. 180** (1949), pp. 430-438.
- [22]. G. Gilboa, et al, “Backward Diffusion Methods for Digital Halftoning”, IEEE Transactions on image processing, **Vol. 11** (2002) p. 689.
- [23]. R. Krishna, “Uphill diffusion in multicomponent mixtures”, Chem. Soc. Rev. **Vol. 44** (2015), p. 2812.
- [24]. Vu Ba Dung and Dinh Van Thien, “The Equation of Backward Diffusion and Negative Diffusivity”, Journal of Physics: Conference Series, **Vol. 537** (2014), p. 012011.
- [25]. Vu Ba Dung, “Kinetics and thermodynamics of the backward diffusion”, Far East

- Journal of Dynamical Systems, **Vol. 27** (2015), pp. 79-94.
- [26]. Vu Ba Dung and Bui Huu Nguyen, “*Dynamic Simulation of Backward Diffusion Based on Random Walk Theory*”, Journal of Physics: Conference Series, **Vol. 726** (2016), p. 012021.
- [27]. Vu Ba Dung, “*Uphill diffusion of Si-interstitial during boron diffusion in Silicon*”, Indian Journal of Physics, **Vol. 91** (2017), pp. 1233-1236.

ABSTRACT

INTRINSIC AND MUTUAL DIFFUSIVITY OF BORON IMPURITY IN SILICON

Based on the irreversible thermodynamics theory, the intrinsic and mutual diffusivity of boron impurity in silicon are described, calculated, and discussed. Results have shown: i) Intrinsic and mutual diffusivity of boron in silicon depend on boron and interstitial concentration; ii) When boron concentration is not very high, intrinsic diffusivity of boron is positive and boron diffuses normal; iii) When boron concentration is very high, intrinsic diffusivity of boron is negative and boron diffuses uphill.

Keywords: Mutual diffusivity; B-diffusion in silicon; Intrinsic diffusivity.

*Nhận bài ngày 25 tháng 02 năm 2018
Hoàn thiện ngày 20 tháng 3 năm 2018
Chấp nhận đăng ngày 25 tháng 3 năm 2018*

Địa chỉ: Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Mở - Địa chất.
* Email: vubazung305@gmail.com.