

HẰNG SỐ THỜI GIAN CỦA HỆ ĐO ĐIỆN DUNG QUÁ ĐỘ VÀ VIỆC XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CỦA TÂM SÂU TRONG CÁC CHẤT BÁN DẪN ĐIỆN

Lê Khắc Bình, Phạm Quốc Triệu, Nguyễn Thục Hiền
Khoa Vật lý, ĐHTH Hà Nội

Két chuyển tiếp P⁺ - N được chế tạo từ một chất bán dẫn có các sai hỏng với nồng độ N_T tạo nên các mức sâu nằm cách đáy vùng dẫn một khoảng E_T phân cực thuận lớp chuyển tiếp để cho các tâm đó (bẫy) bắt điện tử rồi đột ngột phân cực ngược. Các bẫy giải phóng dần điện tử để trở lại trạng thái dừng ban đầu. Trong quá trình đó điện dung của lớp chuyển tiếp thay đổi và trong những điều kiện thích hợp được mô tả bởi công thức [1]:

$$C(t) = C_f - C_i \exp(-e_n t) \quad (1)$$

C_f: Điện dung của lớp ngăn trong trạng thái dừng

$$C_i = C_f (N_T / 2N_D) \quad (2)$$

e_n: Hệ số phát xạ điện tử

$$e_n \sim \sigma_n T^2 \exp[(E_C - E_T)/kT] \quad (3)$$

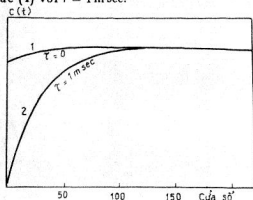
σ_n: Tiết diện bắt điện tử của bẫy.

Với cầu đo điện dung có hằng số thời gian τ thì khi điện dung b lối vào cầu có dạng (1), b lối ra của nó có thể thay đổi theo hàm

$$C(t) = C_f [1 - \exp(-t/\tau)] - [C_i / (1 - e_n \tau)] [\exp(-e_n t) - \exp(-t/\tau)] \quad (4)$$

So sánh (4) với (1) ta thấy khi hệ đo có hằng số thời gian τ ≠ 0, tín hiệu ra bị biến dạng đáng kể so với tín hiệu đưa vào cầu.

Hình 1 mô tả hai đường điện dung quá độ C(t). Đường 1 tính theo công thức (1) khi τ = 0 và đường 2 theo công thức (4) với τ = 1 m sec.



Hình 1. Ảnh hưởng của hằng số thời gian τ của cầu lên các đường điện dung quá độ đo được

Qua đây ta thấy khi $r \neq 0$ cần có những chú ý cần thiết khi tiến hành đo đạc cũng như khi xử lý số liệu.

- Do $C_f \gg C_i$ [theo (2)] nên thông tin mà ta cần (chứa trong e_n) bị che lấp bởi thành phần một chiều C_f . Khi $r = 0$ có thể loại thành phần C_f ở sau cầu bằng cách dùng thêm một Sample & Hold để đo điện dung ở thời điểm cuối của đường $C(t)$ và loại bỏ nó nhờ mạch khuếch đại trừ. Nhưng khi $r \neq 0$ không thể làm như vậy (xem [4]). Trong trường hợp giữ nhiệt độ không đổi khi đo $C(t)$ thì việc bù trừ C_f có thể thực hiện tương đối dễ dàng nhờ một tụ biến đổi được mắc thêm vào một nhánh khác của cầu. Sự bù trừ có thể thực hiện bằng tay hoặc tự động.

- Khi hệ đo có hằng số thời gian đáng kể, để khai thác các đường thực nghiệm cần xử lý các công thức thích hợp:

Với phương pháp DLTS của Lang [2]:

Khi $r = 0$ hệ số phát xạ điện tử e_n của bẫy ở nhiệt độ T_{\max} được tính theo công thức

$$e_n = \frac{\text{Ln}(t_2/t_1)}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

trong đó t_1 và t_2 là hai thời điểm đo điện dung.

Khi $r \neq 0$ với $t_1, t_2 \gg \tau$, e_n ở nhiệt độ T_{\max} có thể tính gần đúng theo công thức:

$$e_n \approx \frac{\text{Ln} \frac{t_2(1 - e_n r) - r}{t_1(1 - e_n r) - r}}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

Công thức (6) tuy phức tạp, nhưng nếu biết được r thì bằng phương pháp tính lặp trên máy vi tính có thể xác định được e_n .

Với phương pháp dịch cửa [1]:

Khi $r = 0$, từ đường biểu diễn theo thời gian của hiệu điện dung giữa hai thời điểm t_1 và t_2 ở một nhiệt độ cố định, có thể xác định thời điểm t_{\max} ứng với cực đại của đường biểu diễn. Từ đó tính được e_n theo công thức có dạng như sau:

$$e_n = \frac{\text{Ln } r}{(r-1)t_{\max}} = \frac{\text{Ln } r}{(r-1)CS_{\max}dt} \quad (7)$$

trong đó $r = t_2/t_1$ và trong phương pháp dịch cửa, thời gian được xác định bởi: $t = CS \cdot dt$

CS là số nguyên 1, 2, ..., n

$dt = T_0/N$

T_0 là thời gian đo đường điện dung quá độ.

Khi $r \neq 0$ và điện dung C_f đã được bù trừ, hiệu điện dung ở hai thời điểm $t_1 = t$ và $t_2 = rt$ có dạng:

$$\Delta C = C(t_1) - C(t_2) = -\frac{C_i}{1 - e_n r} [e^{-rt/r} - e^{-t/r} + e^{-re_n t} - e^{-e_n t}] \quad (8)$$

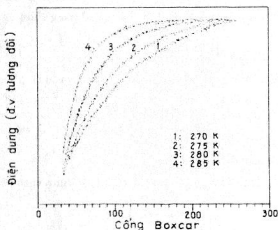
Đường biểu diễn của ΔC theo t có cực trị khi $d\Delta C/dt = 0$.

Từ đây suy ra:

$$e_n [\exp(-e_n t_{\max}) - r \exp(-re_n t_{\max})] = 1/r [\exp(-t_{\max}/r) - r \exp(-rt_{\max}/r)] \quad (9)$$

Khi biết τ và xác định được t_{\max} từ cực đại của đường biểu diễn ΔC theo t , có thể tính được ϵ_n ở nhiệt độ T không khó khăn nhờ máy vi tính. Điều đáng chú ý khi xây dựng thuật toán để giải (9) là phương trình có hai nghiệm đối với ϵ_n trong đó bao giờ cũng có nghiệm $\epsilon_n = 1/\tau$. Nghiệm này thường phải loại chỉ trừ một trường hợp đặc biệt: ở nhiệt độ T , ϵ_n thực sự bằng $1/\tau$.

Hệ đo điện dung quá độ mà chúng tôi đã xây dựng sử dụng cầu đo điện dung Boonton 72B với $\tau = 1$ msec [3]. Chúng tôi đã tiến hành đo các đường điện dung quá độ ở các nhiệt độ cố định khác nhau của các diốt Si có pha vàng. Một số đường đo được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Các đường điện dung quá độ của diốt Si có pha vàng ở các nhiệt độ khác nhau

Thực hiện phương pháp dịch cửa [1], từ mỗi đường $C(t)$ thu được, tính $\Delta C = C(t) - C(2t)$ với t dịch dần theo bước $dt = 25/256$ msec, xác định được $t_{\max} = CS_{\max}dt$. Từ đó tính ϵ_n theo công thức (7) và (9). Kết quả thu được cho ở bảng sau:

Nhiệt độ (K)	CS_{\max}	$\epsilon_n(\text{sec}^{-1})$ theo (7)	$\epsilon_n(\text{sec}^{-1})$ theo (9)
265	118	60,1	60,2
270	69	102,8	106,3
275	44	161,3	201,2
280	33	215,1	336,5
285	30	236,6	403,7

Qua bảng này có thể thấy, khi $\tau \neq 0$ không thể sử dụng (7) để tính ϵ_n . Làm khít các điểm thực nghiệm ($1/kT$, $\ln \epsilon_n/T^2$) với đường thẳng bằng phương pháp bình phương tối thiểu. Từ độ dốc của đường thẳng này xác định được $E_C - E_T = 0,56$ ev. Kết quả này phù hợp với số liệu đã được công bố cho mức acceptor của vàng trong Si [4].

Công trình này được hoàn thành với sự hỗ trợ của chương trình nghiên cứu cơ bản cấp nhà nước trong lĩnh vực khoa học tự nhiên KT - 04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Lê Khắc Bình, Nguyễn Thực Hiền, Phạm Quốc Triệu, Nguyễn Quốc Tuấn. Tuyển tập công trình Hội nghị Vật lý toàn quốc lần thứ 4, Hà Nội 1994.
- D. V. Lang, J Appl. Phys. v. 45, p3023, 1974.

3. Boonton Applications note 16.

4. A. G. Milnes, Deep Impurities in Semiconductors. InterScience Publication, New York, 1973.

VNU,H Journal of science, Nat. sci. t.XI, n°1, 1995

THE DETERMINATION OF THE DEEP LEVEL PARAMETERS IN
SEMICONDUCTORS TAKING INTO ACCOUNT OF THE TIME
CONSTANT OF THE MEASUREMENT SYSTEM

Le Khac Binh, Pham Quoc Trieu, Nguyen Thuc Hien
Faculty of Physics, Hanoi University

Time constant of the measurement system, specially of the capacitance meter, distorts considerably the shape of the transient capacitance curves.

In this article, one method for determination of the deep level parameters in semiconductors from such distorted curves is described. As an example, the Au energy in one Si: Au diode is determined from the transient capacitance curves, measured with the Boonton Bridge 72B (time constant ~ 1 msec). The result agrees with the published data.