

## DÙNG PHỔ PHOTO DLTS ĐỂ TÌM HIỂU SỰ TẠO THÀNH TÂM TÁI HỢP HẠT TẢI DƯ TRONG SILIC LOẠI n CHIẾU XẠ NOTRON VỚI LIỀU LƯỢNG CAO

PHÙNG VĂN THỚM—ĐÀM TRUNG ĐỒN

Trong Silic chiếu xạ neutron với liều lượng cao thường xuất hiện rất nhiều loại tâm sâu do sai hỏng. Chúng bắt một số lớn các hạt tải tự do làm cơ mức Fermi dịch chuyển về phía giữa vùng cấm và làm cho điện trở suất của mẫu tăng lên đáng kể với các vật liệu Silic chiếu xạ có liều lượng xác định các tâm ấy được xếp làm hai loại: tâm đỉnh và tâm tái hợp.

Từ sau công trình của D. V. Lang [1] người ta đã dùng phương pháp DLTS (đối với các tâm đỉnh nằm dưới mức Fermi) và phương pháp Photo — DLTS (đối với các tâm đỉnh nằm trên mức Fermi) để nghiên cứu sai hỏng trên các vật liệu chiếu xạ. Các phương pháp này đã trở nên hiệu nghiệm và cho nhiều thông tin bổ ích về các tâm sâu do sai hỏng trong Silic chiếu xạ [2,3,4]. Cơ sở của các phương pháp này là tạo nên vùng điện tích quá độ của vùng điện tích không gian trong các cấu trúc thường là  $n^+p$ ,  $p^+n$  và điốt Schottky và nghiên cứu sự phụ thuộc theo nhiệt độ của tốc độ giải phóng điện tích khỏi vùng này. Phổ ghi nhận được sự suy giảm đó là phổ DLTS và phổ Photo — DLTS dùng điện dung quá độ hoặc dùng dòng quá độ. Dòng quá độ có thể có giá trị lớn gấp nghìn lần so với dòng ngược điện tử và lỗ trống khuếch tán qua lớp tiếp xúc. Gần đây khi nghiên cứu trên Silic chiếu xạ neutron bằng phương pháp Photo — DLTS [5] ngoài các đỉnh thông thường mà nhiều tác giả đã quan sát trước đây, người ta còn thấy xuất hiện thêm một đỉnh âm bên cạnh đỉnh tâm A.

Sự xuất hiện đỉnh âm được các tác giả giải thích như là quá trình bắt các hạt tải điện không cơ bản bởi các tâm sâu mà trong trường hợp này chúng đóng vai trò một tâm tái hợp. Điều đó đã gợi ra những bước nghiên cứu sâu thêm về các quá trình vật lý, động học của tâm tái hợp trong Silic chiếu xạ. Các tác giả bài báo này đã dùng phương pháp photo DLTS với dòng quá độ để quan sát biên độ đỉnh tâm A, biên độ đỉnh tâm trên mẫu Silic loại n (CZ) chiếu xạ neutron với hàm lượng  $10^{14}n/cm^2$ , thay đổi theo độ dài xung lấp đầy, theo thể phân cực ngược và theo quang thông. Từ đó cho phép tìm ra cơ chế và mối liên hệ giữa tâm tái hợp và đỉnh âm trong phổ photo — DLTS xuất hiện trong mẫu chiếu xạ này.

### I — THỰC NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ.

Mẫu đo là đơn tinh thể Silic loại n, pha tạp  $10^{15}$  nguyên tử photo trong  $1cm^3$ , nuôi bằng phương pháp Czochralski, được chiếu xạ ở nhiệt độ phòng bằng chùm neutron nhanh trọng tâm là phản ứng UBP — 30 trong 30 giờ với liều lượng tổng

cộng là  $10^{14} \text{ n/cm}_2$ . Mẫu được cắt thành lát có chiều dày cỡ 1mm theo mặt  $\{111\}$  đánh bóng bằng bột  $\text{LiO}_2$  có kích thước cỡ  $\mu$  và tằm trong dung dịch CP-8. Bằng phương pháp điện hóa trên một mặt của mẫu được phủ một lớp đồng mỏng tạo nên tiếp xúc chỉnh lưu, còn mặt kia được phủ một lớp kẽm mỏng tạo nên tiếp xúc ômic. Những diod Schottky này được tạo ra có phẩm chất tốt và được kiểm tra bằng cách đo đặc tuyến I-V.

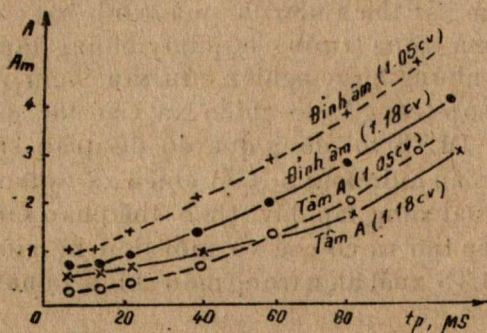
Mẫu được đặt trong bình lạnh hai lớp bằng thép không rỉ, được hút bằng hệ chân không đạt tới  $10^{-4} \text{ mm/Hg}$ , và được làm lạnh bằng Nitơ lỏng. Muốn quét nhiệt mẫu được nung nóng bằng một lò nung có công suất 15W đặt trong bình lạnh. Mẫu được rọi sáng bằng một ngọn đèn có công suất lớn qua máy đơn sắc lăng kính trong suốt thời gian thí nghiệm.

Phép đo được tiến hành theo kỹ thuật tách sóng đồng bộ A-B dùng dòng quá độ. Phổ Photo - DLTS ghi được khi quét nhiệt từ nhiệt độ thấp đến nhiệt độ cao với xung kim lấp đầy có độ dài nhỏ rất nhiều so với chu kỳ lặp lại. Để phân biệt đỉnh với nền trên phổ mẫu được che tối trong khoảng thời gian ngắn khi cần thiết.

Khi ghi phổ Photo-DLTS ta chỉ thay đổi một trong các điều kiện hoặc độ dài xung lấp đầy, hoặc thể phân cực ngược một chiều và hoặc quang thông của ngọn đèn với ba giá trị năng lượng photo kích thích là 1,35 eV, 1,18 eV, 1,05 eV. Các hình 1, 2, 3 biểu diễn các kết quả thí nghiệm. Từ đó rút ra một số nhận xét

1. Biên độ đỉnh Photo - DLTS của tâm A và đỉnh âm tăng theo độ dài xung lấp đầy  $t_p$ . Sự tăng ấy có tính liên tục và không đạt tới bão hòa khi  $t_p < 100 \mu\text{sec}$  (hình 1).

2. Biên độ đỉnh âm xuất hiện chỉ khi quang thông đạt tới giá trị ngưỡng  $\Phi_m$  và tăng nhanh khi  $\Phi > \Phi_m$ . Biên độ đỉnh tâm A tăng nhanh khi quang thông nhỏ và khi xuất hiện đỉnh âm rồi thì biên độ đỉnh tâm A với tăng chậm lại



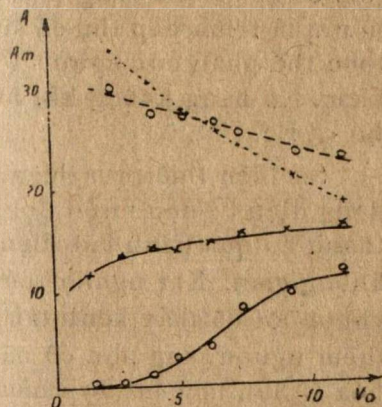
Hình 1

3. Với  $h\nu = 1.35 \text{ eV}$  các tín hiệu photo DLTS rất yếu với  $h\nu = 1.18 \text{ eV}$  biên độ của đỉnh tâm A giảm rất chậm và biên độ đỉnh âm hầu như không thay đổi khi tăng thể phân cực ngược một chiều. Còn với  $h\nu = 1.05 \text{ eV}$  biên độ của đỉnh tâm A giảm rất chậm vì biên độ của đỉnh âm lại tăng lên khi thể phân cực ngược một chiều tăng lên (hình 2).

## II. BIỆN LUẬN.

Để lý giải những kết quả trên trước hết chúng ta lưu ý rằng tốc độ lấp đầy của các điện tử vào một mức sâu dưới tác dụng của ánh sáng chịu ảnh hưởng

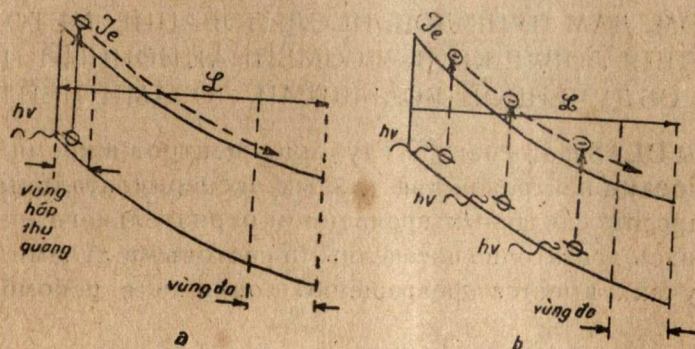
của hai quá trình: quá trình bơm trực tiếp điện tử từ vùng hóa trị lên mức sâu hoặc từ mức sâu lên vùng dẫn (quá trình trực tiếp) và quá trình bắt vào mức sâu các điện tử từ vùng dẫn, lỗ trống từ vùng hóa trị (quá trình gián tiếp). Do quá trình gián tiếp này người ta thấy có sự phân bố lại mật độ điện tử trên mức sâu. Tốc độ bắt điện tử vào mức sâu kể đến cả hai trường hợp đều phụ thuộc vào quang thông  $\Phi$  [6], do đó khi chiếu sáng yếu mật độ điện tử trên tâm sâu dẫn đến cân bằng tương đối chậm. Như vậy khi đo phổ photo-DLTS với độ dài xung lấp đầy tăng đến giá trị nhỏ hơn  $100 \mu s$  ta không thấy hiện tượng bão hòa của biên độ đỉnh âm và đỉnh dương là hợp lý (H. 1)



Hình 2

Tuy vậy ngay trong vùng quang thông nhỏ thì biên thiên của biên độ đỉnh tâm A theo quang thông gồm hai đoạn: với quang thông rất yếu biên độ này tăng nhanh, còn khi quang thông không quá nhỏ nó tăng chậm hơn và đồng thời đỉnh âm xuất hiện. Sự tăng chậm của biên độ đỉnh tâm A khi có đỉnh âm là do đã hình thành một kênh tái hợp trong mẫu bán dẫn mà dấu hiệu là đỉnh âm. Sự hình thành kênh tái hợp này làm cho thời gian sống của hạt tải dư (điện tử hoặc lỗ trống) giảm đi, nồng độ của chúng tăng chậm theo quang thông. Do vậy tốc độ bắt điện tử dẫn của tâm A giảm đi, làm cho biên độ đỉnh tâm A tăng chậm theo quang thông. Đây tuyệt nhiên không phải hiện tượng bão hòa. Mặt khác khi quang thông tăng đường giới tuyến chạy lên làm cho kênh tái hợp càng «chìm sâu» trong vùng tái hợp nên biên độ đỉnh âm tăng theo quang thông là điều dễ dàng chấp nhận được.

Khi thế phân cực ngược  $V_0$  thay đổi và biên độ xung lấp đầy không thay đổi, thông qua biên độ của đỉnh photo-DLTS chúng ta xác định được số điện tích nằm trên mức sâu nhưng với độ cách khác nhau tới bề mặt lớp chuyển Schottky. Trong vùng điện tích không gian của lớp chuyển Schottky bị chiếu sáng có hai dòng hạt tải: dòng điện tử chạy từ bề mặt vào trong dòng bán dẫn và dòng lỗ trống chạy ra bề mặt. Khi  $h\nu \geq E_g$ , photo của chùm sáng kích thích bị hấp thụ ở lớp mỏng gần bề mặt có độ dày  $d \leq L$  ( $L$  là độ dày của vùng điện tích không gian), dòng điện tử di chuyển đến miền mà ta đo hầu như không bị thay đổi. Khi tăng thế phân cực ngược  $V_0$ —hay nói đúng hơn có giảm một ít do tái hợp và bị bắt vào các tâm trong vùng điện tích không gian (H.3a). Khi  $h\nu < E_g$



Hình 3

photon của chùm sáng kích thích bị hấp thụ gần như đồng đều trong mẫu do đó nếu quá trình hấp thụ có sinh ra điện tử thì dòng điện tử đi tới miền đo tăng theo thể phân cực ngược  $V_0$  (H.3b). đối với dòng lỗ trống đi tới miền đo thì lại khác. Nó bằng không khi  $h\nu \geq E_g$  và khác không nhưng độc lập với  $V_0$  khi  $h\nu < E_g$ .

Sự biến thiên của biên độ đỉnh âm theo thể phân cực ngược lặp lại như là dòng điện tử đến miền đo. Nó chứng tỏ tâm tái hợp gây ra đỉnh âm được hoàn thành do quá trình bắt điện tử dẫn sinh ra do chiếu sáng trong vùng điện tích không gian. Khi nghiên cứu sự dập tắt hồng ngoại của phổ Photo-DLTS [7] chúng tôi đã thấy kênh tái hợp nói trên bị làm mất hiệu lực khi chiếu sáng mẫu thêm nguồn sáng phụ có năng lượng 0,95eV gây ra chuyển mức điện tử từ vùng hóa trị lên tâm tái hợp nằm ở mức năng lượng  $E_c - 0,23\text{eV}$ . Dựa vào những kết quả trên đây và lập luận của Kimerling [2] chúng ta có thể kết luận.

1. Đỉnh âm trong phổ photo-DLTS của Silic loại n chiếu xạ neutron với liều lượng cao là một loại tâm tái hợp gây ra.

2. Tâm tái hợp này có thể là nút khuyết kép. Quá trình tái hợp xảy ra theo trình tự sau:

$V\bar{2}$  bắt một điện tử dư trở thành  $V\bar{2}$ :  $V\bar{2} + e \rightarrow V\bar{2}$  bắt một lỗ trống và hoàn thành sự tái hợp:  $V\bar{2} + h \rightarrow V\bar{2}$

Các tác giả xin chân thành cảm ơn phó tiến sĩ Lê Khắc Bình có những ý kiến quý báu khi thảo luận kết quả này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.V. Lang J Appl Phys 45, 3023, (1974)
- [2] L. C. Kimerling Inst. Phys. Conf. Ser N°3, Chapter 2 221—230, (1976)
- [3] Yetaka—Takuda J. Journal of Applied Physics, V, 18, N°2 309—315, (1979)
- [4] P. M. Mooney, D T Don, Bull of the Am Phys. Soc E3, 3, (1980).
- [5] Đàm Trung Đôn—Phùng Văn Thóm, Tạp chí Vật lý N<sub>3</sub>, 1—6, (1982)
- [6] Albert Rose—concepts in photoconductivity and allied problems, New york—London, (1963).
- [7] Phùng Văn Thóm — Đàm Trung Đôn. Tạp chí Vật lý N<sub>3</sub>, 1—6 (1983)

ФУНГ ВАН ТХОМ. ДАМ ЧУНГ ДОН. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ DLTS ПРЕВРАЩЕНИЯ ЛОВУШКИ В РЕКОМБИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР В КРЕМНИИ, ОБЛУЧЕННОЙ БОЛЬШИМИ ДОЗАМИ НЕЙТРОНОВ

Исследованы DLTS фотоспектры глубоких центров в кремнии, облученной большими дозами нейтронов при разных экспериментальных условиях. Дан анализ вопросов связанных проявлением отрицательного пика в случае действия на образец достаточно интенсивными световыми лучами. Предложено что в таких случаях имеется превращение ловушки в рекомбинационный центр.

PHUNG VAN THOM, ĐAM TRUNG ĐON. STUDY OF THE RECOMBINATION  
CENTER IN HEAVILY NEUTRON IRRADIATED SILICONE n - TYPE  
BY HPOTO DLTS.

The dependence of the Photo=DLTS spectra of heavily neutron irradiated CZ silicon on the pulse width, the bias potential, and the intensity of the light beam at 1,35eV, 1,38eV and 1,05eV, was studied. No saturation of the photo-DLTS peak of the negative peak was observed. The intensity of the negative peak increased steadily with the light intensity when  $\Phi > \Phi_m$ , but when  $\Phi < \Phi_m$  this peak does not exist. The intensity of A center peak increased quickly when  $\Phi < \Phi_m$ .