

PHÂN TÍCH PHA LOCK-IN TRÊN PHỔ QUANG PHẢN XẠ CỦA n-GaAs

Nguyễn Thị Ngọc Hà, Trương Kim Hiếu, Nguyễn Thanh Tùng, Lê Hồng Vũ

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 24 tháng 11 năm 2004, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 23 tháng 01 năm 2005)

TÓM TẮT: Phổ học biến điệu quang phản xạ (PR) là một phương pháp quang không tiếp xúc, không huỷ mẫu và rất nhạy để khảo sát tính chất bề mặt cũng như ở các lớp tiếp xúc của bán dẫn. Rất nhiều kết quả thực nghiệm đã chứng minh có sự trễ pha của phổ Quang – phản xạ có liên quan đến việc biến điệu quang [1-4]. Mặt khác, phổ Quang – phản xạ thu được, về nguyên tắc, là một phổ đa thành phần mà mỗi thành phần tương ứng với mỗi hiệu ứng riêng rẽ khác nhau. Ta có thể xác định được từng thành phần riêng biệt của phổ nhờ phân tích pha Lock-in. Đây là một phương pháp mới trong thực nghiệm phân giải phổ Quang – phản xạ.

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày tóm tắt lý thuyết xử lý pha ở phổ PR, giản đồ pha của phổ PR một thành phần. Kết quả cho thấy giản đồ pha một thành phần có dạng tuyến tính. Tiếp theo đó, chúng tôi mô phỏng cấu trúc giản đồ pha của phổ PR hai thành phần. Trong trường hợp này cấu trúc giản đồ pha không còn tuyến tính mà có dạng vòng. Kết quả đáng ghi nhận là khi thay đổi vùng phổ của photon, dạng cấu trúc vòng này không thay đổi đáng kể. Điều này hứa hẹn có thể phân giải pha trên vùng phổ PR tương đối rộng bên trên độ rộng vùng cấm.

I. TÓM LƯỢC LÝ THUYẾT

Khi kích thích bề mặt bằng tia laser được biến điệu sẽ sản sinh các cặp electron/ lỗ trống quang làm thay đổi (dập tắt) điện trường bề mặt (Fs) theo tần số biến điệu quang, đồng thời làm thay đổi hệ số phản xạ do hiệu ứng Franz – Keldysh. Từ đó nhận được phổ Quang – Phản xạ [5] :

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right) = \left(\frac{R_{(Fs)} - R_{(Fs=0)}}{\bar{R}_{(Fs,E)}}\right) \sim \exp\left(-\frac{\sqrt{E - E_g}}{(\hbar\Omega)^{3/2}}\right) \cdot \cos\left(\frac{2}{3}\left(\frac{E - E_g}{\hbar\Omega}\right)^{3/2}\right) \quad (1)$$

Ở đây R là hệ số phản xạ, Fs và Fs = 0 tương ứng với khi không có và có kích thích laser, E là năng lượng photon, Eg là độ rộng vùng cấm. Trong phương pháp này, năng lượng quang điện $\hbar\Omega$ sẽ được xác định qua chu kỳ của hàm cosin và từ đó cho phép xác định được cường độ điện trường bề mặt, là đại lượng thể hiện trạng thái mặt ngoài cần xác định. Sự phụ thuộc của tín hiệu phản xạ vào thời gian được biểu diễn như sau [4]:

$$R(t) = \begin{cases} R_0 + \Delta R - \frac{\Delta R}{1 + e^{-T/2\tau}} e^{-t/\tau} & (2) \\ R_0 + \frac{\Delta R}{1 + e^{-T/2\tau}} e^{(-\tau + T/2)/\tau} & (3) \end{cases}$$

Gọi f là tần số biến điệu của laser.

t: là thời gian, T=1/f là chu kỳ biến điệu

τ : thời hằng của quá trình biến điệu.

Biểu thức (2) là tín hiệu phản xạ trong trường hợp có laser kích thích và biểu thức (3) là tín hiệu phản xạ trong trường hợp không có laser.

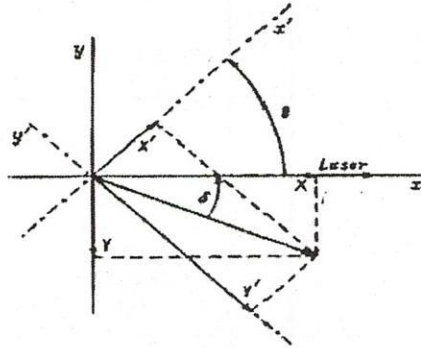
Thực tế luôn có một sự trễ pha của tín hiệu PR đối với sự biến điệu quang.

Để nghiên cứu sự phụ thuộc pha của tín hiệu PR, người ta dùng kỹ thuật phân giải pha [1 ÷ 5] trên lock-in hai kênh, có thể biểu diễn phổ PR như sau [4]:

$$\frac{\Delta\bar{R}}{R} [E, F_s, \tau, \omega] = \frac{\Delta\bar{R}}{R} (E, F_s) \cdot \frac{2}{\pi(1 + \omega^2\tau^2)} (1 - i\omega\tau) \quad (4)$$

Ở đây $\omega = 2\pi f$

Trong hệ tọa độ (x,y) giản đồ pha của tín hiệu PR và góc trễ pha δ được minh họa qua hình 1:



Hình 1: Pha của tín hiệu PR so với ánh sáng biến điệu. Pha của tín hiệu (đo qua Lock-in) khi không có (hệ tọa độ xy) và khi có (hệ tọa độ x'y') góc pha θ định sẵn. Góc trễ pha δ ứng với $\theta = 0^\circ$.

Góc trễ pha δ được xác định qua [5]:

$$\tan \delta = -\frac{Y(E)}{X(E)} = -\omega\tau \quad (5)$$

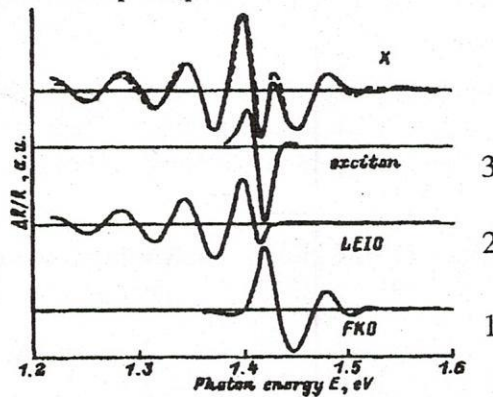
Dùng lock-in để xác định biên độ của thành phần Fourier đầu tiên của tín hiệu vào ở ngõ reference và pha ban đầu θ . Như vậy bằng cách sử dụng lock-in hai kênh, người ta có thể xác định hoặc thành phần của tín hiệu pha với tần số chuẩn (X) và thành phần lệch 90° (Y) hoặc biên độ $r(E)$ và pha $\delta(E)$ giữa ΔR và R:

$$\frac{\Delta R}{R}(E) = r(E)e^{i\delta(E)} = x(E) + iy(E) \quad (6)$$

Với

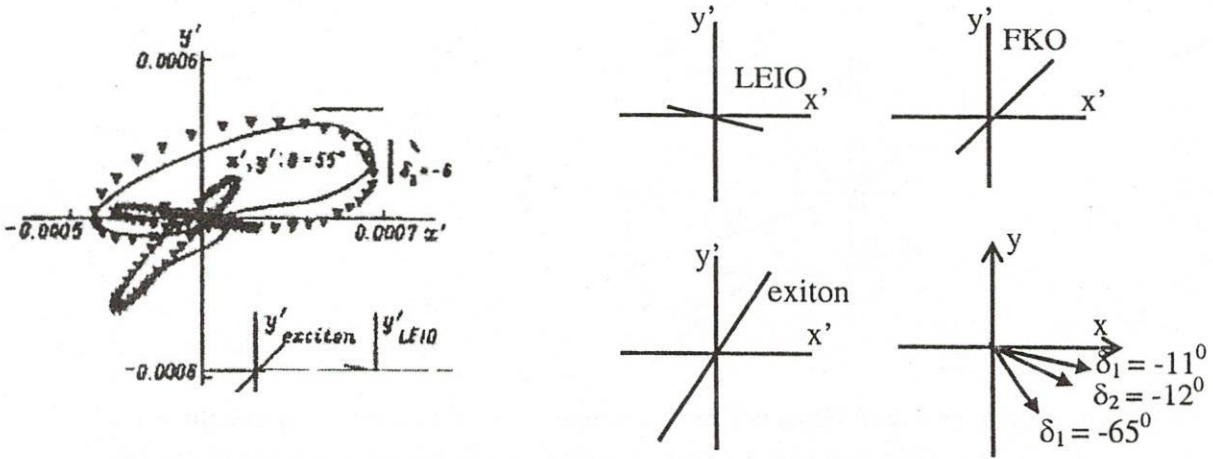
$$\begin{cases} X(E) = \frac{\Delta R}{R}(E)_j^x = \frac{\Delta R}{R}(E)_j \cos(\delta_j + \theta) \\ Y(E) = \frac{\Delta R}{R}(E)_j^y = \frac{\Delta R}{R}(E)_j \sin(\delta_j + \theta) \end{cases}$$

Ở đây j là số thành phần phổ



Hình 2 [4]: Kết quả phân tích phổ quang phản xạ nhận được trên hai kênh X,Y trên lớp epitaxie GaAs/ GaAs.

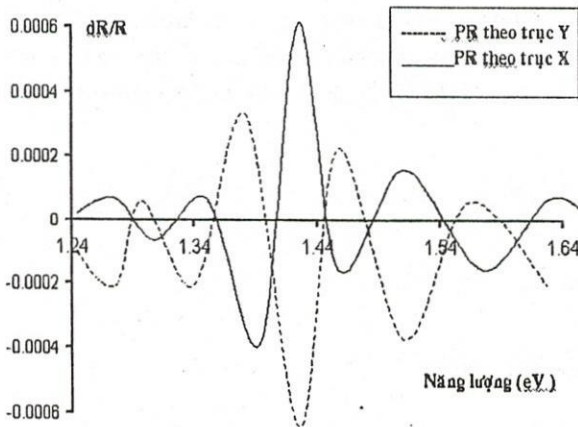
Hình 2 là các đường fit của phổ cho phép xác định ba thành phần: thành phần (1) tương ứng với sự đóng góp của trường trung bình (MF/FKO), thành phần (2) là những dao động của giao thoa ứng với năng lượng thấp (LEIO) là kết quả của sự giao thoa tín hiệu quang phản xạ ở lớp ngăn cách trong màng epitaxie có độ dày $d = 2,3 \mu\text{m}$, ngoài ra trong vùng năng lượng dịch chuyển E_0 còn xác định được cấu trúc exciton (3). Các giản đồ pha tương ứng như trên hình 3.



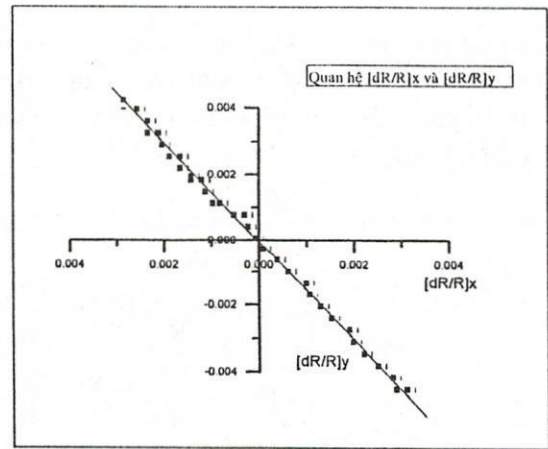
Hình 3 [4]: Giản đồ pha ba thành phần với các thành phần tương ứng với hình 2. Với mỗi thành phần sẽ có dạng tuyến tính đặc trưng (các hình bên phải)

II. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

2.1. Phổ PR thực nghiệm đơn thành phần trên GaAs:Si và giản đồ pha đặc trưng tương ứng



Hình 4: Các phổ PR thực nghiệm trên hai kênh X, Y của Lock-in



Hình 5: Giản đồ pha của phổ PR trên hình 4 với lệch pha xác định trước $\theta = 0^0$

Trên hình 4 là các phổ PR thực nghiệm trên mẫu n- GaAs:Si, trong vùng dịch chuyển E_0 , nhận được trên hai kênh X và Y của Lock-in. Các thông số nhận được ở cả hai kênh phù hợp nhau ($E_0 = E_g = 1,422 \text{ eV}$; $F_s = 2,5 \cdot 10^7 \text{ V/m}$). Giản đồ pha tương ứng trên hình 5 có dạng tuyến tính là đặc trưng cho tín hiệu PR đơn thành phần.

2.2. Mô phỏng giản đồ pha 2 thành phần [Dùng phần mềm Mathematica]

Trường hợp tổng quát cho đa thành phần (j) được biểu diễn qua công thức sau :

$$\frac{\Delta R}{R}(E, F_s, \tau, \omega) = \sum_{j=1}^n \frac{\Delta R_j}{R}(E, F_s) \times \frac{2}{\pi(1 + \omega^2 \tau_j^2)} (1 - i\omega \tau_j)$$

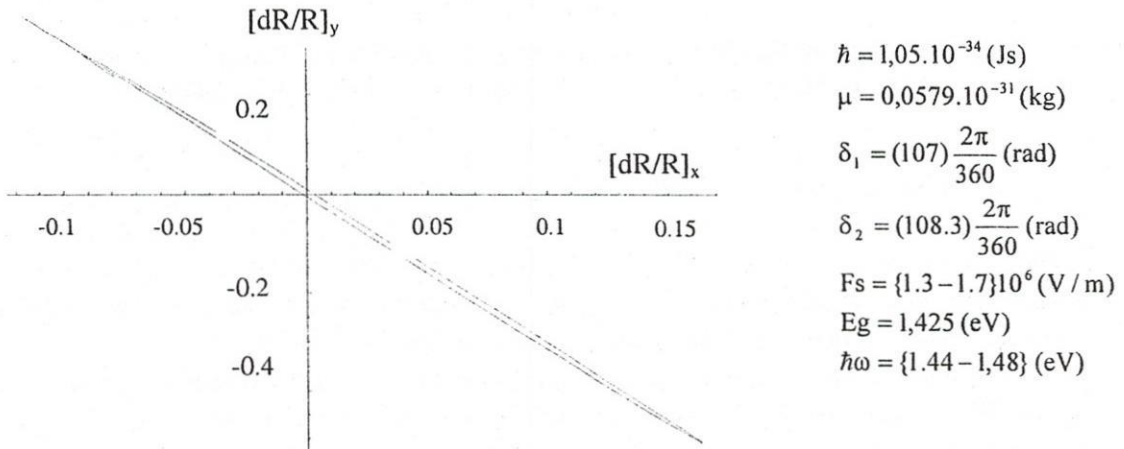
$$\tan \delta_j = -\frac{Y_j(E)}{X_j(E)} = -\omega \tau_j \tag{7}$$

Ở đây $\frac{\Delta R_j}{R}(E, F_s)$: là biên độ của thành phần PR thứ j ở năng lượng E.

$$\frac{\Delta R}{R}(E, F_s) \sim \exp\left(-\frac{\sqrt{E - E_g}}{(\hbar\Omega)^{3/2}}\right) \cdot \cos\left(\frac{2}{3}\left(\frac{E - E_g}{\hbar\Omega}\right)^{3/2}\right); \quad \hbar\Omega = \left(\frac{e^2 \hbar^2}{2\mu} F_s^2\right)^{1/3}$$

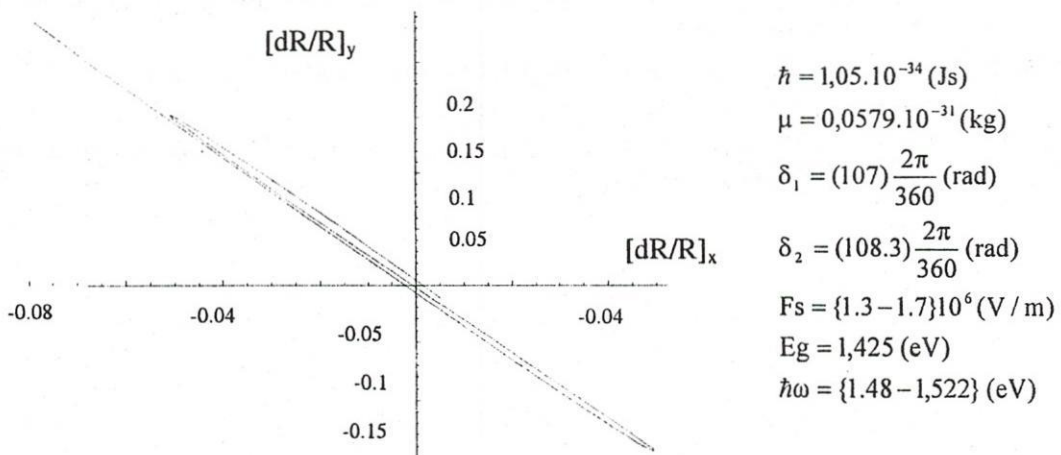
μ : khối lượng hiệu dụng rút gọn

Từ dạng tổng quát (7), dùng phần mềm Mathematica, có thể mô phỏng giản đồ pha tương ứng cho trường hợp hai thành phần như trên hình 6.



Hình 6 : Mô phỏng giản đồ pha hai thành phần . Năng lượng photon trong vùng dịch chuyển E_0 : (1,44 – 1,48) eV

Cấu trúc (vòng) hình lá đơn giản có thể xem như đặc trưng cho phổ PR hai thành phần (FKO và exciton). Điều này phù hợp với [3,4]. Từ dạng tổng quát (7) mong đợi rằng có mối liên quan giữa số thành phần phổ với dạng giản đồ pha, tất nhiên sẽ là một tương quan phức tạp và có giới hạn cho sự phù hợp giữa phân giải lý thuyết và thực nghiệm. Điều ghi nhận thú vị ở đây là khi thay đổi khoảng năng lượng của photon, cấu trúc giản đồ pha không thay đổi hình dạng mà chỉ tiếp tục đường vòng như hình 7. Điều này sẽ rất có ý nghĩa trong phương pháp phân giải pha phổ PR nhưng cho tới nay chưa có tác giả nào đề cập đến (theo ghi nhận của chúng tôi).



Hình 7: Giản đồ pha hai thành phần sau khi thay đổi năng lượng photon trong vùng trên E_0 : (1,48 – 1,522) eV

Phương hướng của chúng tôi là tiếp tục mô phỏng và định dạng các cấu trúc vòng trên giản đồ pha đặc trưng cho phổ đa thành phần, cũng như phân giải tiếp tục trên phổ PR thực nghiệm ở màng mỏng GaAs đa lớp.

III. KẾT LUẬN

- Từ phổ PR thực nghiệm đã thiết lập giản đồ pha đơn thành phần trên cơ sở Lock-in hai lối vào.
- Mô phỏng phân giải pha hai thành phần với các vùng năng lượng photon khác nhau. Ghi nhận cấu trúc giản đồ pha phụ thuộc yếu vào vùng năng lượng photon.

LOCK-IN-PHASE ANALYSIS OF n-GaAs PHOTOREFLECTANCE SPECTRA

Nguyen Thi Ngoc Ha, Truong Kim Hieu, Nguyen Thanh Tung, Le Hong Vu
Faculty of Physics, University of Natural Sciences –VNU-HCM

ABSTRACT: *The modulation spectroscopy Photoreflectance (PR) is a contact-free, nondestructive, sensitive, optical experimental method for examining the surface and interface properties of semiconductors. Many experimental results indicate a phase delay of the photoreflectance signal relative to the optical Modulation [1÷4]. The Phase dependence of the PR-signal has been investigated by using the two-channel lock-in technique.*

The linear form of the phase diagram is a confirmation of the single -component character of the PR-signal. As the first step, we simulate the structure in the phase diagram of two components spectrum. When we change the range of photon energy values, the structures in phase diagram don't change so much.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V.L.Alperovich, A.S.Jaroshevich, H.E.Scheibler, A.S.terekhov, *Solid-State Election*, **37**, 657(1994).
- [2] R.Kuz'menko, A.Granzha, J.Schreiber, S.Hildebrand *Fiz.Tverd, Tela(St.Petersburg)*, **39**, 2123-2129, December, 1997.
- [3] A.V.Grazha, R.V.Kus'menko, W.Kircher, J.Schreiber, S.Hildebrands *Fiz.Tekh, Poluprovodn.* **32**, (272-277), March, 1998.
- [4] R.V.Kuzmenko; a.V. Ganzha, E'.P.Domashvskaya_ *v.Kirche*; S.hildebrandt, *Semiconductors.Vol.34, No.9.2000*, pp.1045_1051.
- [5] T.K.Hiếu; N.C. Thương L.Đ.Ninh; D.Đức; V.H.Hải; Đ.T.M.Trinh *inter. Workshop on Optic and Spectroscopy*, Hanoi, 4/2000