

XÂY DỰNG HỆ ĐO CÁC PHỔ BIẾN ĐIỀU CỦA PHỔ QUANG HỌC

LÊ KHẮC BÌNH – LÊ HỒNG HÀ
NGUYỄN NGỌC LONG – NGUYỄN TIẾN SƠN

Từ khi L. VKeldysh(1) và W. Franz (2) tính toán ảnh hưởng của điện trường lên bờ hấp thụ của các chất bán dẫn và điện môi, nhiều nhà nghiên cứu đã tìm cách thể hiện điều đó bằng thực nghiệm. Đáng chú ý là công trình của B.O. Seraphin (3) Ông ta tạo một điện trường biến thiên tuần hoàn trên mặt mẫu Ge và đo sự thay đổi của hệ số phản xạ theo bước sóng. Kết quả thu được có sự hấp dẫn lớn và thực sự đã mở đầu cho một ngành mới của vật lý chất rắn. Đó là ngành phổ học biến điệu (Modulation spectroscopy). Thực chất của phương pháp này là dùng các nhiễu loạn bên ngoài như nhiệt độ, áp suất, điện trường... để làm thay đổi một cách tuần hoàn hằng số điện môi của vật liệu do đó làm thay đổi cường độ sáng truyền qua mẫu rồi dùng kỹ thuật tách sóng đồng bộ để ghi các phổ biến điệu đó. Các phổ này chứa nhiều cấu trúc làm cho việc nghiên cứu tính chất quang của các chất bán dẫn điện thuận lợi hơn nhiều so với các phổ hấp thụ hay phản xạ thông thường. Do những ưu điểm nổi bật của phương pháp trong một thời gian tương đối ngắn nhiều nhà bác học đã dồn sức vào nhanh chóng hoàn thiện lý thuyết và đề ra nhiều phương pháp thực nghiệm mới rất có hiệu quả. Nhờ vậy, ngành phổ học biến điệu đã là một trong những lĩnh vực được phát triển rất nhanh của vật lý chất rắn. Nó đã đóng vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu tìm hiểu cấu trúc vùng năng lượng của các chất bán dẫn trong những năm gần đây.

Trong bài này, chúng tôi trình bày kết quả của việc xây dựng hệ đo các phổ biến điệu của các phổ quang học mà nhóm nghiên cứu « Lĩnh vực quang của các chất bán dẫn điện » thuộc Khoa Vật lý trường Đại học Tổng hợp Hà Nội đã tiến hành trong những năm qua. Những kết quả nghiên cứu trên các vật liệu cụ thể sẽ được trình bày ở bài sau.

I – CƠ SỞ CỦA PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐIỀU

Biểu thức tổng quát của hằng số điện môi phức cho chuyển mức được phép giữa các vùng ở điểm tới hạn M_r , D_r , hay P_r trong tinh thể n chiều có thể viết dưới dạng (4):

$$\varepsilon(\omega) = i^{r-n} c_n \int_0^{\omega - \omega_g + i\Gamma} t^{\frac{n}{2}-2} dt \quad (1)$$

Trong đó

$$C_1 = \frac{\pi e^2 |\hat{e}Mif|^2}{m^2 \omega^2} \left(\frac{2\mu_1}{\hbar^3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$C_2 = \frac{2e^2 |\hat{e}Mif|^2}{m^2 \omega^2} \left(\frac{4\mu_1 \mu_2}{\hbar^4} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$C_3 = \frac{e^2 |\hat{e}Mif|^2}{m^2 \omega^2} \left(\frac{8\mu_1 \mu_2 \mu_3}{\hbar^5} \right)^{\frac{1}{2}}$$

M, D và P tương ứng biểu thị cho điểm tới hạn 3 chiều, 2 chiều và một chiều. Loại điểm tới hạn được đặc trưng bởi chỉ số r. Ở đây sự mở rộng của năng lượng được đặc trưng bởi thông số Lorentz Γ .

Từ (1) có thể suy ra biểu thức quen thuộc của ε gần các điểm tới hạn M_r

$$\varepsilon(\omega) \sim i^{\frac{r+1}{2}} (\omega - \omega_g + i\Gamma)^{\frac{1}{2}} \sim i^r [-\Phi_3(-x) + i\Phi_3(x)] \quad (2)$$

trong đó $\Phi_3(x) = \left[\frac{1}{2} (x + \sqrt{x^2 + 1}) \right]^{\frac{1}{2}}$

$$x = \frac{\omega - \omega_g}{\Gamma}$$

Tương tự, có thể suy cho trường hợp hai chiều

$$\varepsilon(\omega) \sim i^{\frac{r+2}{2}} \log(\omega - \omega_g + i\Gamma) \sim i^r [\Phi_2^1(x) + i\Phi_2^2(x)] \quad (3)$$

với $\Phi_2^1(x) = -\frac{1}{2\pi} \log(x^2 + 1)$

$$\Phi_2^2(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \text{tg}^{-1}(x)$$

và một chiều

$$\varepsilon(\omega) \sim i^{r+1} (\omega - \omega_g + i\Gamma)^{-\frac{1}{2}} \sim i^r [\Phi_1(-x) + i\Phi_1(x)] \quad (4)$$

trong đó $\Phi_1(x) = \left[\frac{x + \sqrt{x^2 + 1}}{2(x^2 + 1)} \right]^{\frac{1}{2}}$

Từ (2), (3) và (4) có thể thấy hằng số điện môi bị thay đổi bởi các nhiễu loạn bên ngoài nào làm thay đổi ω , ω_g và Γ . Như vậy, ta có thể thực hiện các phương pháp biến điệu sau:

- Biến điệu bằng bước sóng: làm thay đổi năng lượng của photon $\hbar\omega$;
- Biến điệu bằng nhiệt độ: làm thay đổi năng lượng ứng với điểm tới hạn $\hbar\omega_g$ và thông số mở rộng Γ ;
- Biến điệu bằng áp suất: làm thay đổi $\hbar\omega_g$.

Khi có tác dụng của các nhiễu loạn này, tính tuần hoàn của mạng tinh thể không bị thay đổi. Do đó xung lượng được bảo toàn và các chuyển mức quang vẫn là thẳng tuy ngưỡng năng lượng khi có nhiễu loạn có thay đổi chút ít. Vì sự thay đổi này thường rất nhỏ so với độ rộng của vùng cấm nên sự thay đổi của ε do nhiễu loạn chỉ ở bậc nhất và gần đúng có thể biểu thị bằng đạo hàm bậc nhất của hằng số điện môi khi không có nhiễu loạn.

Ngài các thông số kể trên, người ta còn dùng điện trường để biến điệu các phổ quang học. Khi đặt điện trường E lên tinh thể, sự bất biến tịnh tiến của Hamiltonian theo chiều của điện trường không còn nữa do có thêm số hạng eEr . Điện tử bị gia tốc và xung lượng của nó theo chiều của điện trường không được bảo toàn. Điều đó tạo khả năng chuyển mức trong một khoảng nhất định của vector sóng. Do đó, cấu trúc của băng số điện môi bị nhòe đi làm cho phổ biến điện phức tạp hơn, gồm có các đỉnh âm và dương. Dạng phổ như vậy chỉ có thể được giải thích bằng các đạo hàm bậc cao của hằng số điện môi không bị nhiễu loạn. Trong giới hạn điện trường yếu, các phổ đó có thể biểu thị gần đúng bằng đạo hàm bậc 3 của hằng số điện môi không bị nhiễu loạn (5).

II - XÂY DỰNG HỆ ĐO CÁC PHỔ BIẾN ĐIỆN

1. Liên điện bằng điện trường

Như đã biết, cường độ sáng I sau mẫu liên hệ với cường độ sáng tới I_0 (khi không có giao thoa trên mẫu) theo công thức.

$$I = I_0 (1 - R^2) \exp - \alpha d$$

trong đó R và α tương ứng là hệ số phản xạ và hệ số hấp thụ của mẫu và d là chiều dày của mẫu.

Khi có nhiễu loạn (nhiệt độ, áp suất, điện trường...) tác dụng lên mẫu, nói chung R và α đều bị biến đổi. Sự biến thiên của cường độ sáng sau mẫu ΔI sẽ là

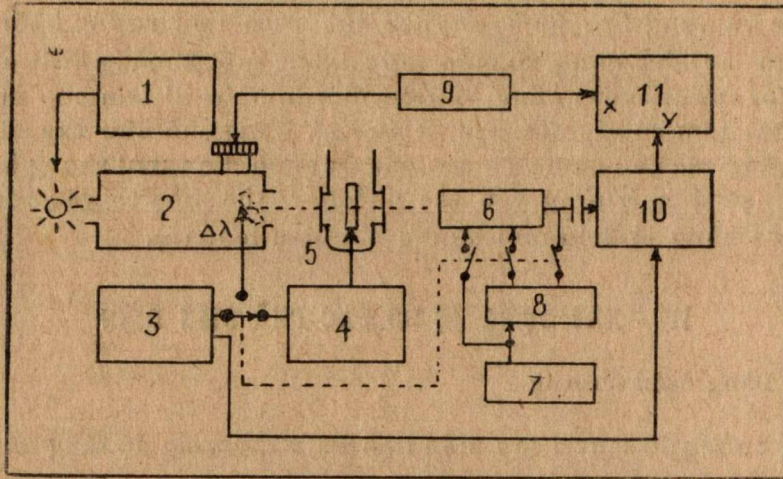
$$\frac{\Delta I}{I} = - \frac{2R}{1 - R} \frac{\Delta R}{R} - d \cdot \Delta \alpha.$$

Thông thường số hạng thứ nhất của vế phải rất nhỏ hơn số hạng thứ hai, nên gần đúng có thể viết

$$\Delta \alpha \approx - \frac{1}{d} \frac{\Delta I}{I}$$

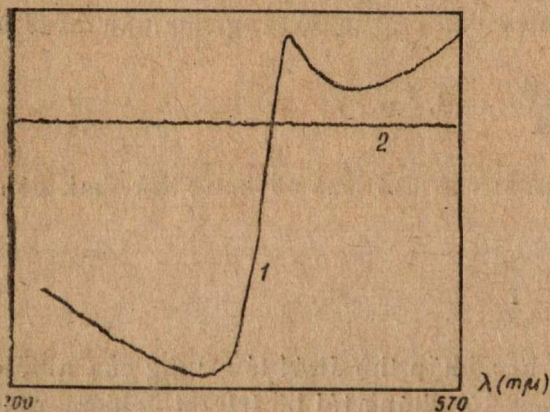
Như vậy, muốn biết sự thay đổi của hệ số hấp thụ dưới tác dụng của nhiễu loạn ta phải đo I và ΔI . Để thực hiện điều đó, chúng tôi bố trí thí nghiệm như ở hình 1. nguồn sáng là đèn có bản Vonfran được nuôi bằng nguồn điện ổn áp một chiều. Sau khi qua máy đơn sắc SPM - 2, ánh sáng đơn sắc được hội tụ lên mẫu, truyền qua mẫu và đến ống nhân quang điện. Nếu điện trường (hay nhiễu loạn nói chung) tác dụng lên mẫu biến thiên một cách tuần hoàn thì tín hiệu điện ở lối ra của ống nhân quang điện sẽ có hai thành phần. Thành phần một chiều tỷ lệ với cường độ sáng I sau mẫu và thành phần xoay chiều tỷ lệ với độ biến thiên của cường độ sáng ΔI . Nói chung khi bước sóng của ánh sáng thay đổi thì cả I lẫn ΔI đều thay đổi. Như vậy, ở mỗi bước sóng ta phải đồng thời đo I và ΔI rồi thực hiện phép chia sau đó. Để thuận lợi cho phép đo, trên thực tế người ta đã dùng nhiều biện pháp khác nhau để giữ cho I không đổi khi bước sóng của ánh sáng thay đổi. Chúng tôi đã thực hiện điều đó nhờ các mạch điện tử

theo nguyên tắc sau. Thông thường $I \propto \Delta\lambda$ thành phần một chiều được khuếch đại lên để không chế thể nuôi ống nhân quang điện. Mạch không chế có nhiệm vụ làm giảm thể nuôi khi I tăng và ngược lại.



Hình 1 – Sơ đồ khối hệ đo các phổ biến điệu.

- 1 – Nguồn nuôi ổn áp một chiều; 2 – Máy đơn sắc; 3 – Máy phát âm tần; 4 – Bộ tạo xung vuông góc; 5 – Buồng lạnh và mẫu đo; 6 – Ống nhân quang điện; 7 – Nguồn nuôi ổn áp cao thế; 8 – Bộ khống chế không đổi; 9 – Bộ biến bước sóng thành tín hiệu điện; 10 – Máy khuếch đại 10 lock-in; 11 – Tự kí hai trục x-y.



Hình 2 – Minh họa khả năng giữ thành phần I không đổi theo bước sóng của hệ điện tử đã lắp.

Đường 1 – Tín hiệu tỷ lệ với cường độ sáng I truyền qua mẫu GaSe gần bờ hấp thụ cơ bản;

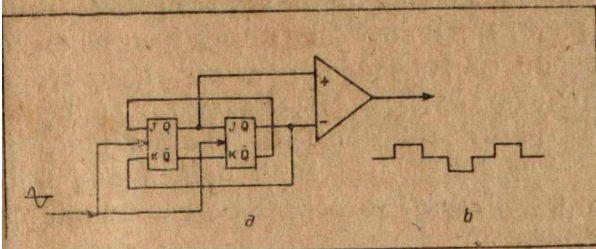
Đường 2 – Tín hiệu trên sau khi đi qua hệ giữ cho I không đổi.

Hai đường 1 và 2 được ghi ở thang 10mV/cm của máy tự kí. Kích thước của hình vẽ đã được thu nhỏ hai lần.

Hình 2 cho thấy khả năng giữ I không đổi theo bước sóng của mạch điện tử do chúng tôi lắp khá tốt.

Thành phần xoay chiều sau ống nhân quang điện được khuếch đại lọc lựa và tách sóng đồng bộ trên máy Lock-in Amplifier 9501 (Brook-dealy) rồi đưa vào máy tự ghi hai trục PM 8120 (Philips). Vì I được giữ không đổi trong suốt quá trình đo, phổ ghi được trên máy cho ngay dạng của phổ biến điệu $\Delta\alpha$.

Để tránh lấy trung bình theo trường có thể gây khó khăn khi so sánh với lý thuyết, chúng tôi đặt điện trường lên mẫu dưới dạng xung vuông góc. Ngoài ra, để có thể ghi các phổ ở bậc âm bậc nhất và bậc hai một cách nhanh chóng và thuận lợi chúng tôi đã tạo xung thế có dạng như ở hình 3b. Sơ đồ nguyên lý của mạch được vẽ ở hình 3a.



Hình 3 — Sơ đồ nguyên lý mạch tạo xung vuông góc bậc thang.

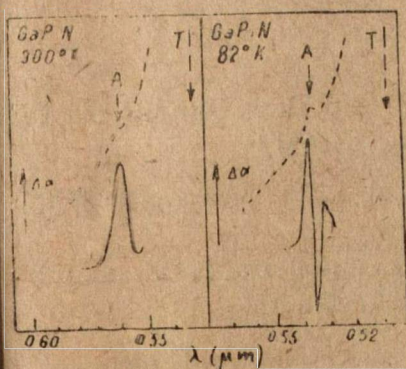
Hình 4 là phổ biến điệu bằng điện trường của một mẫu GaSe ghi được trên máy tự kí của hệ đo. Phổ có dạng liên hình đặc trưng cho quá trình giảm thời gian sống của exciton trong liên trường.

2. Biến điệu bằng bước sóng.

Trên cơ sở của hệ đo trên, bằng cách làm cho bước sóng của ánh sáng ở lối ra của máy đơn sắc thay đổi một cách tuần hoàn quanh một giá trị xác định, ta có thể đo các phổ biến điệu theo bước sóng. Có nhiều cách để thực hiện sự thay đổi tuần hoàn bước sóng. Ở đây chúng tôi dùng cách sau. Trước khe vào của máy đơn sắc đặt một bản mỏng thủy tinh. Nếu mặt của bản mỏng không vuông góc với tia sáng tới thì khi đi qua bản, tia sáng sẽ bị lệch đi. Nếu góc giữa tia sáng tới và pháp tuyến với mặt của bản là θ thì sự dịch chuyển hiệu dụng Δs của tia bằng

$$\Delta s = \theta \cdot d \cdot \frac{n-1}{n}$$

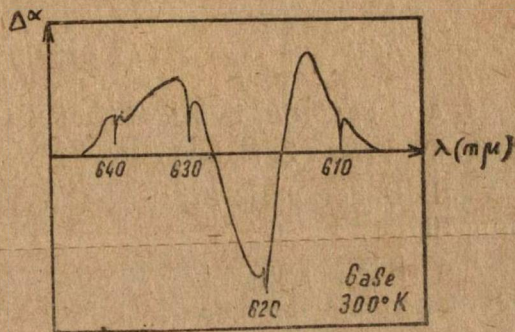
trong đó n và d tương ứng là chiết suất và chiều dày của bản mỏng.



Hình 5 — Phổ truyền qua T và phổ biến điệu theo bước sóng của các mẫu GaP có pha tạp Nitơ.

Các bộ tạo xung vuông góc được kích bởi 1 máy phát âm tần.

Với hệ đo này có thể đo các phổ biến điệu theo điện trường và theo nhiệt độ của các phổ truyền qua trong khoảng nhiệt độ từ 77°K đến nhiệt độ phòng.



Hình 4 — Phổ biến điệu bằng điện trường $\Delta\alpha$ của phổ hấp thụ gần bờ hấp thụ cơ bản của GaSe.

Bằng cách làm cho bản mỏng dao động quanh trục vuông góc với chùm sáng tới ở lối ra của máy đơn sắc ta được ánh sáng có bước sóng thay đổi một cách tuần hoàn quanh một giá trị nào đó. Để thực hiện sự rung bản mỏng chúng tôi dùng một khung dây đặt trong khe từ. Khung dây được nuôi bằng nguồn điện xoay chiều từ một máy phát âm tần. Máy phát này đồng thời cung cấp tín hiệu chuẩn cho bộ phân tách sóng đồng bộ.

Trên hình 5 vẽ lại phổ biến điệu theo bước sóng của phổ hấp thụ của Gap có pha tạp Nitơ ghi được trên máy tự ký của hệ đo. Từ kết quả này có thể thấy phương pháp biến điệu theo bước sóng có khả năng tôn cấu trúc trên các phổ truyền qua lên rất nhiều.

Tóm lại trên hệ đo các phổ biến điệu mà chúng tôi đã xây dựng được trong những năm qua có thể đo các phổ biến điệu theo điện trường theo nhiệt độ và theo bước sóng trong vùng nhiệt độ từ 77°K đến nhiệt độ phòng trong khoảng bước sóng từ hồng ngoại gần đến tử ngoại gần. Ngoài ra, từ hệ đo này chúng tôi đã mở rộng để đo các phổ quang dẫn, phổ photovoltaic của các chất bán dẫn. Bằng hệ đo này chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu tính chất quang của nhiều hợp chất bán dẫn A^3B^6 , A^2B^6 và A^3B^5 . Kết quả của những nghiên cứu này sẽ được công bố ở phần 2.

Kết quả của những

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. л.в. келбыш, ЖЗТФ, 34, 962, 1958.
2. W. Franz. Z. Naturforsch., 13a, 484, 1958.
3. B. O. Seraphin, Proc. 7th Internat. Conf. Phys. Semiconductor Paris, 1964 trang 165.
4. Y. Hamakawa, T. Nishino trong quyển Optical properties of Solids, North Holland publishing company, 1976, trang 256.
5. D. E. Aspnes và J. E. Rowe, Phys. Rev. letters, 27, 188, 1971; Phys. Rev., B5, 4022, 1972.

ЛЕ ХАК БИИЬ и др. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯЦИОННЫХ СПЕКТРОВ

Представлены результаты составления одной экспериментальной системы для модуляционных измерений оптических спектров. Система позволяет записывать спектры электропоглощения и спектры модулированные длиной волны.

LE KHAC BINH a. o. BUILDING OF THE SYSTEM FOR MEASUREMENTS OF THE MODULATED OPTICAL SPECTRUM.

Results on the building of the experimental set up for measurements of the modulated optical spectrum are reported.

The new system allows to record the electroabsorption and thermoabsorption spectrum and the spectrum modulated by the wavelength.

Nhận ngày 15-10-1985