

NGHIÊN CỨU TÂM SÂU TRONG BÁN DẪN 6H-SiC BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHỔ QUANG ĐIỆN DUNG

PGS. TS. Nguyễn Thị Thục Hiền

Khoa Vật lý

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội

Mẫu bán dẫn 6H-SiC loại n được chiếu xạ bởi chùm điện tử có năng lượng 2.5 MeV. Đường quá độ quang điện dung được đo trên lớp chuyển p⁺-n 6H-SiC ở các nhiệt độ khác nhau. Từ các đường quá độ đo được, đã tiến hành tính tốc độ phát xạ quang và tiết diện ion hoá quang của tâm sâu E_c-1.1 eV gây ra do chiếu xạ.

The n-type 6H-SiC semiconductor was irradiated by 2.5 MeV electron beam. The photocapacitance transient spectra were measured on p⁺-n 6H-SiC diodes at several temperatures. The optical emission rate and the optical cross-section of the deep level E_c-1.1 eV formed by radiation were calculated.

1. Mở đầu

Các phương pháp đo nhiệt có ưu điểm là có thể cung cấp những thông tin cơ bản nhất về mẫu bán dẫn, nhưng có nhược điểm là không thể sử dụng riêng lẻ mà phải phối hợp với các phép đo khác nhau. Trong khi đó, các phép đo quang là một trong những phương pháp hữu hiệu nhất để nghiên cứu các tính chất vật lý của chất bán dẫn. Đặc biệt, phân bố phổ của tiết diện ion hoá quang $\sigma_n^0(h\nu)$ (hay $\sigma_p^0(h\nu)$) đối với các chuyển mức từ các tâm định xứ trong vùng cấm lên vùng dẫn (hay vùng hoá trị) được quan tâm nhiều. Chúng cung cấp thông tin không chỉ về các năng lượng ion hoá của tâm, mà cả về tương tác điện tử - phonon và sự phụ thuộc nhiệt độ của các mức năng lượng, tức là mối tương quan giữa chúng với vùng dẫn và vùng hoá trị. Vì các tiết diện ion hoá quang liên quan trực tiếp đến các thành phần ma trận liên kết hàm sóng của tâm sâu với vùng dẫn nên chúng có thể được sử dụng để tính toán lý thuyết về tâm sâu.

Tiết diện ion hoá quang $\sigma_n^0(h\nu)$ ($\sigma_p^0(h\nu)$) có thể xác định từ biểu thức

$$\sigma_n^0(h\nu) = e_n^0 \Phi, \quad (1)$$

trong đó e_n^0 là tốc độ phát xạ quang của điện tử, Φ là dòng năng lượng ánh sáng [1]. Biết được Φ , ta có thể tính được $\sigma_n^0(h\nu)$ dựa trên giá trị e_n^0 xác định từ các phép đo quang (tương tự cho lỗ trống). Cho đến nay, đối với bán dẫn SiC, có rất ít công trình nghiên cứu dựa trên cơ sở phân tích phổ $\sigma_n^0(h\nu)$.

lỗ trống). Cho đến nay, đối với bán dẫn SiC, có rất ít công trình nghiên cứu dựa trên cơ sở phân tích phổ $\sigma_n^0(h\nu)$.

Tập nơng donor Nitơ trong 6H-SiC có 3 mức năng lượng cách nhau vài chục meV trong vùng cấm ứng với 3 vị trí của tạp trong mạng (1 lục giác và 2 lập phương) [2]. Câu hỏi đặt ra là các loại sai hỏng khác có tạo nên 3 mức năng lượng như tạp Nitơ không? Theo Zhang [4], tất cả các đỉnh phổ DLTS của 6H-SiC chiếu xạ bởi chùm điện tử đều là đỉnh kép. Chúng tôi cho rằng thực ra các đỉnh này là đỉnh ba, nhưng đỉnh thứ ba khó quan sát thấy trong phổ DLTS vì cường độ nhỏ. Vì vậy, trong báo cáo này, chúng tôi muốn giải quyết vấn đề đã nêu trên cơ sở phân tích phổ $\sigma_n^0(h\nu)$.

2. Phương pháp xác định tốc độ phát xạ quang bằng phổ quang điện dung

Quang điện dung là phương pháp nghiên cứu tâm sâu trong miền nghèo của các lớp chuyển tiếp p-n. Điện dung lớp chuyển phân cực ngược thay đổi khi trạng thái tích điện của tâm thay đổi dưới tác dụng của ánh sáng. Đo sự thay đổi của điện dung, ta có thể thu được thông tin về tâm sâu. Chẳng hạn, có thể xác định tốc độ phát xạ quang từ đường qua độ điện dung hoặc từ trạng thái dừng.

Khi khảo sát chế độ quá độ, tức là đo điện dung theo thời gian của xung chiếu sáng, thì sự thay đổi điện dung $\Delta C(t) = C(\infty) - C(t)$ tuân theo hàm $\exp(-t/\tau)$, trong đó $\tau = (e_n^0 + e_p^0)^{-1}$. Từ đường quá độ, ta có thể xác định sự thay đổi của điện dung $\Delta C(t)$. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của $\ln(\Delta C(t))$ vào thời gian là một đường thẳng có hệ số góc tỷ lệ với $\tau = (e_n^0 + e_p^0)^{-1}$. Đối với mỗi mức sâu xác định, có thể chọn miền năng lượng ánh sáng thích hợp sao cho $e_p^0 = 0$, khi đó $\tau = (e_n^0)^{-1}$.

Trong trường hợp quá độ xảy ra rất chậm, có thể dùng phương pháp vi phân [3] sao cho

$$\left| \frac{d}{dt} \Delta C(t) \right|_{t=0} = e_n^0 N_T$$

nếu tất cả bẫy đã lấp đầy ở thời điểm $t=0$ và

$$\left| \frac{d}{dt} \Delta C(t) \right|_{t=0} = e_p^0 N_T$$

nếu bẫy rỗng hoàn toàn. Khi đó phép đo sẽ nhanh hơn. Ở đây N_T là nồng độ tâm sâu.

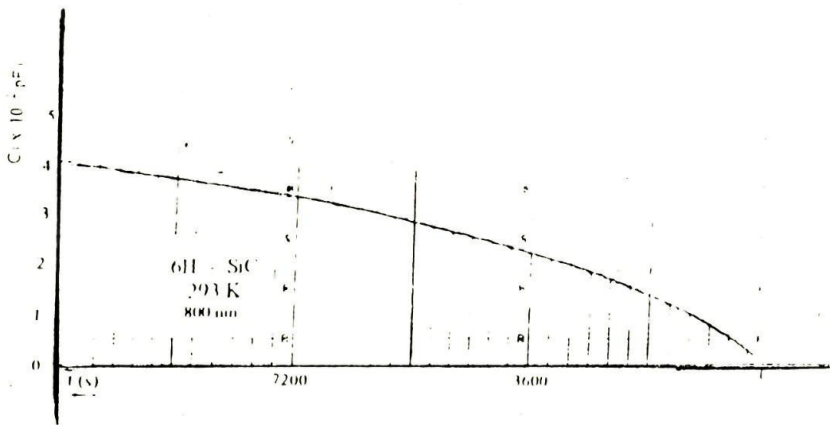
3. Thực nghiệm

Mẫu epitaxy 6H-SiC loại n được tạo chuyển tiếp p⁺-n, sau đó được chiếu xạ bởi chùm tia điện tử có năng lượng 2.5 MeV với mật độ dòng cỡ $10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ở nhiệt độ phòng. Phổ quang điện dung được đo ở 293 K và 276 K. Ở các nhiệt độ này có thể đảm bảo rằng các tâm có mức năng lượng cao hơn $E_c - 1.1 \text{ eV}$ đều trống. Ánh sáng được đo có năng lượng nằm trong khoảng từ 0.9 eV đến 1.7 eV (tức là có bước sóng từ 700 nm đến 1400 nm) với mật độ dòng photon Φ khoảng $10^{14} - 10^{15} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Máy đơn sắc được dùng là loại AMKO với cách tử 600 vạch/mm. Điện dung của mẫu được đo

bằng cầu Boonton 72B. Phổ quá độ được đo bằng tự ghi. Điện dung của mẫu khoảng 30 pF. Trong các phép đo, đã chọn khoảng năng lượng ánh sáng sao cho $e_p^0 = 0$. Vì vậy có thể xác định trực tiếp e_n^0

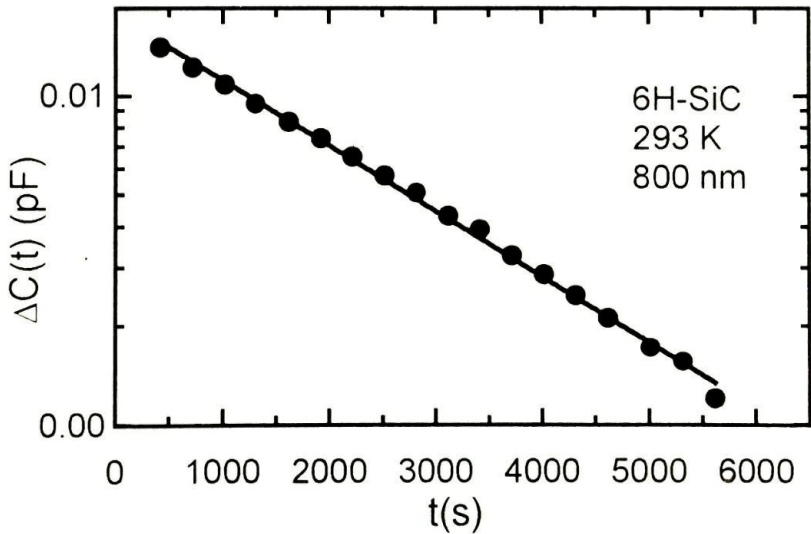
4. Kết quả và thảo luận

Các kết quả đo cho thấy quá độ điện dung ứng với tâm $E_C-1.1$ eV gây bởi chiếu xạ xảy ra rất chậm. Với mật độ dòng photon khoảng $10^{15} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, quá độ xảy ra trong vài giờ. So với những kết quả thu được trên các bán dẫn khác như Si, GaAs, thời gian quá độ này là lâu bất bình thường. Điều này chứng tỏ rằng tốc độ phát xạ quang của tâm quá nhỏ. Trên hình 1 là đồ thị quá độ ghi ở 293 K khi ánh sáng kích thích có bước sóng 800 nm.



Hình 1. Quá độ quang điện dung ở nhiệt độ 293 K. Bước sóng ánh sáng kích thích là 800 nm.

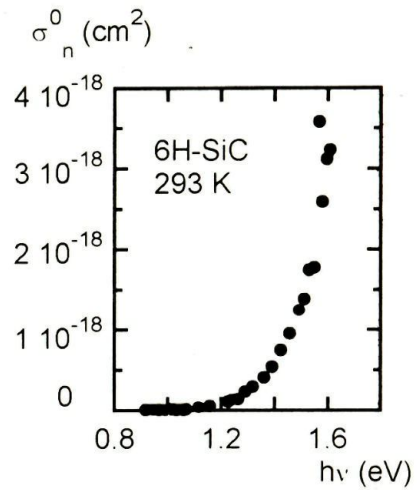
Từ đồ thị trên hình 1, có thể tính tốc độ phát xạ quang ở nhiệt độ và bước sóng ánh sáng tương ứng. Sự phụ thuộc thời gian của $\ln(C(\infty) - C(t))$ được trình bày trên hình 2.



Hình 2. Đồ thị sự phụ thuộc của $\ln(C(\infty) - C(t))$ theo thời gian ở nhiệt độ 293 K và ánh sáng kích thích 800 nm.

Từ những kết quả của e_n^0 thu được ứng với từng bước sóng ánh sáng kích thích, biết mật độ dòng photon tương ứng, có thể xác định được tiết diện ion hoá quang của tâm $E_C-1.1$ eV phụ thuộc vào năng lượng ánh sáng kích thích. Trên hình 3 là đồ thị phổ $\sigma_n^0(h\nu)$ của tâm đo được ở nhiệt độ 293 K. Đồ thị cho thấy giá trị của $\sigma_n^0(h\nu)$ chỉ cỡ 10^{-18} cm^2 .

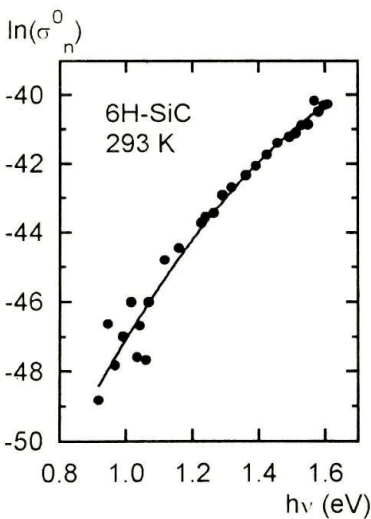
Thông thường, để xác định năng lượng ngưỡng quang của tâm, có thể vẽ đồ thị $\sigma_n^0(h\nu)$ phụ thuộc vào năng lượng photon theo thang loga.



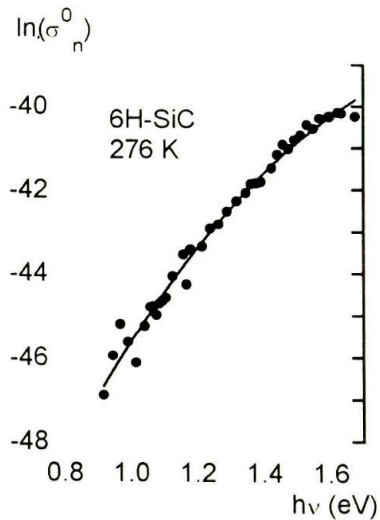
Hình 3. Phổ $\sigma_n^0(h\nu)$ ở nhiệt độ 293 K

Tuy nhiên, đối với tâm $E_C-1.1$ eV, do tương tác electron-phonon quá lớn nên đồ thị rất nhòe, khó có thể xác định đâu là năng lượng ngưỡng (hình 4 và 5).

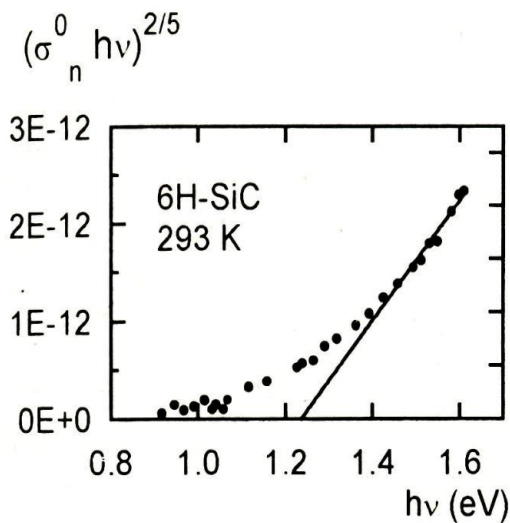
Năng lượng ngưỡng quang có thể được xác định bằng cách vẽ đồ thị sự phụ thuộc của $[\sigma_n^0(h\nu)]^{2/5}$ vào năng lượng photon, kéo dài phần tuyến tính của đồ thị, giao điểm của nó với trục hoành chính là năng lượng ngưỡng quang [5]. Trên các hình 5 và 6 là đồ thị sự phụ thuộc của $[\sigma_n^0(h\nu)]^{2/5}$ vào năng lượng photon. Từ đồ thị ta thấy giá trị năng lượng ngưỡng quang ở nhiệt độ 293 K là 1.23 eV và ở nhiệt độ 276 K là 1.15 eV.



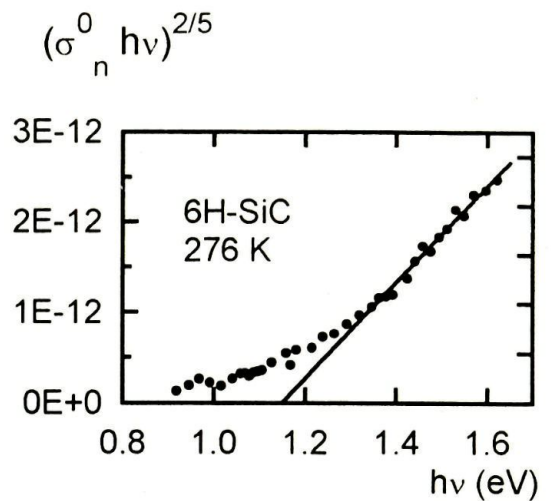
Hình 4. Phổ $\sigma_n^0(h\nu)$ ở nhiệt độ 293 K theo thang loga



Hình 5. Phổ $\sigma_n^0(h\nu)$ ở nhiệt độ 276 K theo thang loga



Hình 6. Sự phụ thuộc của $[\sigma_n^0(h\nu)]^{2/5}$ vào năng lượng photon ở nhiệt độ 293 K



Hình 7. Sự phụ thuộc của $[\sigma_n^0(h\nu)]^{2/5}$ vào năng lượng photon ở nhiệt độ 276 K

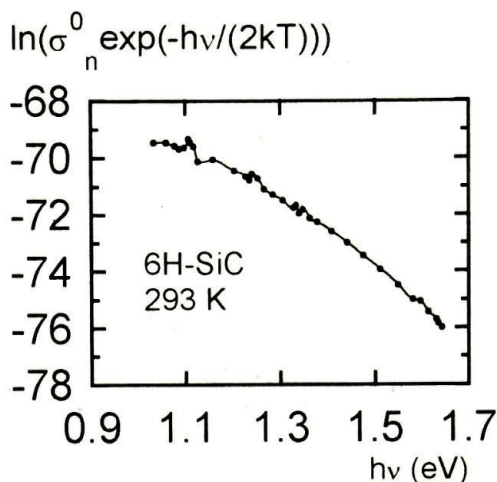
Để đánh giá hiệu ứng hồi phục của mạng tinh thể, cần phải biết năng lượng ion hoá nhiệt. Việc so sánh năng lượng ion hoá nhiệt và quang là một vấn đề rất phức tạp vì đây là hai kỹ thuật thực nghiệm hoàn toàn khác nhau. Tuy vậy, gần đây Päsler [6] đã đề xuất cách xác định năng lượng ion hoá nhiệt thông qua phép đo quang. Theo phương pháp này, ở miền lân cận năng lượng ion hoá nhiệt E_0 , sự phụ thuộc của σ_n^0 vào năng lượng photon tuân theo quy luật

$$\varrho(h\nu, T) = \sigma(h\nu, T) \exp - \frac{h\nu}{2kT} \quad (2)$$

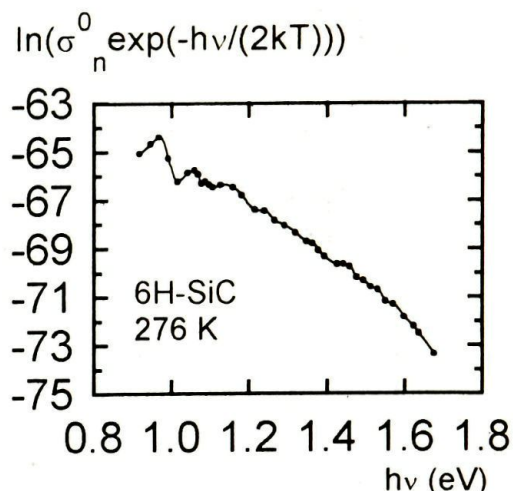
Ở nhiệt độ nhất định, $\varrho(h\nu, T)$ có giá trị cực đại tại $h\nu_m(T)$ liên hệ với năng lượng ion hoá nhiệt theo biểu thức

$$h\nu_m(T) - E_0(T) = 2kT \quad (3)$$

Trên hình 8 và 9 trình bày sự phụ thuộc của $\varrho(h\nu, T)$ vào năng lượng photon $h\nu$ ở các nhiệt độ 293 K và 276 K. Cả hai đồ thị đều cho thấy trên nền đỉnh cực đại là 3 đỉnh con cạnh nhau. Chúng tôi cho rằng đây là hình ảnh ba mức năng lượng ứng với ba vị trí của sai hỏng trong tinh thể. Phép đo ở miền này rất khó có độ chính xác cao vì tín hiệu nhỏ. Tuy nhiên, hy vọng rằng có thể dùng phương pháp quang điện dung để xác định các mức năng lượng ion hoá nhiệt của tâm sâu.



Hình 8. Đồ thị sự phụ thuộc của $\rho(h\nu, T)$ vào $h\nu$ ở nhiệt độ 293 K.



Hình 9. Đồ thị sự phụ thuộc của $\rho(h\nu, T)$ vào $h\nu$ ở nhiệt độ 276 K.

Kết quả cho thấy ở nhiệt độ 276 K, năng lượng ion hoá nhiệt ứng với ba mức là 0.93 eV, 1.02 eV và 1.08 eV. Ở nhiệt độ 293 K, năng lượng ion hoá nhiệt là 1.0 eV, 1.06 eV và 1.13 eV. Kết quả này cho thấy giống như năng lượng ngưỡng quang, khi nhiệt độ tăng, năng lượng ion hoá nhiệt cũng tăng. Như ở trên đã nói, quá trình quá độ điện dung xảy ra rất chậm. Đó là những biểu hiện không bình thường của tâm ứng với mức năng lượng $E_C-1.1$ eV (tên gọi theo các phần trên). Điều này chứng tỏ ở tâm này tồn tại các trạng thái đặc biệt. Theo các tác giả của [7,8], khi nghiên cứu đường quá độ quang dẫn của tâm $E_C-1.1$ eV, cũng phát hiện thấy những biểu hiện bất bình thường liên quan đến các trạng thái giả bền của tâm. Trong trường hợp của chúng tôi, để có thể kết luận chắc chắn về sự tồn tại các trạng thái giả bền cần có các phép đo hỗ trợ khác như DLTS, quang dẫn. Kết hợp với các kết quả khác, chúng tôi cho rằng có thể tâm $E_C-1.1$ eV là complex của sai hỏng tinh thể và tạp nitơ. Cần phải nói thêm rằng một trong những biểu hiện của tính giả bền là sự khác nhau giữa năng lượng ion hoá nhiệt và quang. Theo kết quả của chúng tôi, sự khác nhau này khá lớn, khoảng 0.1 - 0.2 eV. Vì vậy, chúng tôi cho rằng tâm $E_C-1.1$ eV ở mẫu được nghiên cứu chính là tâm $E_C-1.1$ eV của các tác giả [4, 5] và nó cũng có các trạng thái giả bền.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu tâm $E_C-1.1$ eV ở mẫu 6H-SiC loại n chiếu xạ bởi chùm electron ở nhiệt độ 293 K và 276 K cho thấy năng lượng ion hoá nhiệt có ba giá trị khác nhau ứng với ba vị trí của sai hỏng trong mạng tinh thể. Hiện nay chưa có công trình nào đề cập đến vấn đề này. Chúng tôi cho rằng những kết quả thu được mới chỉ là bước đầu với độ chính xác chưa cao và vì vậy, kết luận rút ra chỉ dừng lại là một giả thiết. Sự khác nhau giữa năng lượng ion hoá nhiệt và năng lượng ngưỡng quang là

khá lớn. Điều này chứng tỏ sự hồi phục tinh thể là rất mạnh. Tuy nhiên để khẳng định sự hồi phục tinh thể mạnh liên quan đến trạng thái giả bền thì cần có các phép đo hỗ trợ khác.

Tác giả xin chân thành cảm ơn Tổ chức SI của Thụy Điển và giáo sư E.Janzén đã tạo điều kiện và giúp đỡ trong thời gian công tác tại Khoa Vật lý Trường Đại học tổng hợp Linköping, Thụy Điển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] [1] H. G. Grimmeiss and C. Ovren, *J. Phys.* E14 (1981) 1032.
- [2] [2] G. Pensl and W. J. Choyke, *Physica B* 185 (1993) 264.
- [3] [3] D. Bois, A. Chantre et al., *Inst. Phys. Conf. Ser.* 43 (1979) 295.
- [4] [4] H. Zhang and G. Pensl, Abstract No. 493 (1987) 714.
- [5] [5] Nguyễn Thị Thục Hiền và Nguyễn Như Đạt. *Những vấn đề hiện đại của quang học và quang phổ, Tập 2*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2000, trang 94.
- [6] [6] R. Passler, *Phys. Stat. Sol (a)* 162 (1990) K47.
- [7] [7] A. O. Eywaraye, S.R. Smith and W.C. Mitchel, *J. Appl. Phys.* 77 (1995) 4477.
- [8] [8] P. Staikov, D. Baum et al., *Solid Stat. Commun.* 89 (1994) 995.