

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT



BÁO CÁO HỌC THUẬT
NĂM HỌC 2020-2021

PHƯƠNG PHÁP ĐO HẤP THỤ CẢM ỨNG
ĐỂ XÁC ĐỊNH LƯỢNG HẠT TẢI ĐIỆN TỰ DO
DƯỚI TÁC DỤNG CỦA ÁNH SÁNG KÍCH THÍCH

Người báo cáo: Nguyễn Xuân Chung

Đơn vị: Bộ môn Vật lý, Khoa Khoa học cơ bản

Hà Nội, 12/ 2020

BÁO CÁO HỌC THUẬT HỌC KỲ I, NĂM HỌC 2020-2021

Mục đích: Giúp người đọc hiểu rõ hơn về nguyên lý đo lường hạt tải điện tự do dưới tác dụng kích thích của laser bằng phương pháp đo hấp thụ cảm ứng

Tên báo cáo:

PHƯƠNG PHÁP ĐO HẤP THỤ CẢM ỨNG ĐỂ XÁC ĐỊNH LƯỢNG HẠT TẢI ĐIỆN TỰ DO DƯỚI TÁC DỤNG CỦA ÁNH SÁNG KÍCH THÍCH

Nguyễn Xuân chung

Bộ môn Vật lý, khoa Khoa học Cơ bản

Tóm tắt

Việc xác định nồng độ hạt tải điện trong các linh kiện quang điện và trong các vật liệu đóng vai trò quan trọng trong ngành khoa học đo lường. Báo cáo này giới thiệu, giải thích nguyên lý hoạt động và các ưu nhược điểm của phương pháp hấp thụ cảm ứng. Trong hệ đo hấp thụ cảm ứng, một tia laser xung với tần số lặp cao và công suất lớn được sử dụng để kích thích mẫu để tạo ra hạt tải điện. Tia laser thứ hai với tần số lặp cao gấp đôi tia nói trên với công suất thấp hơn được sử dụng để kích thích hạt tải điện trên vùng dẫn. Sự lệch về thời gian giữa hai tia được điều chỉnh để khảo sát quá trình dịch chuyển mức năng lượng của các điện tử tự do. Tỷ số giữa cường độ hấp thụ của tia thứ hai khi kết hợp và khi không kết hợp với tia thứ nhất tỷ lệ thuận với nồng độ hạt tải điện trên vùng dẫn. Báo cáo cũng trình bày các nguyên nhân gây ra tín hiệu giả, phương án khắc phục.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

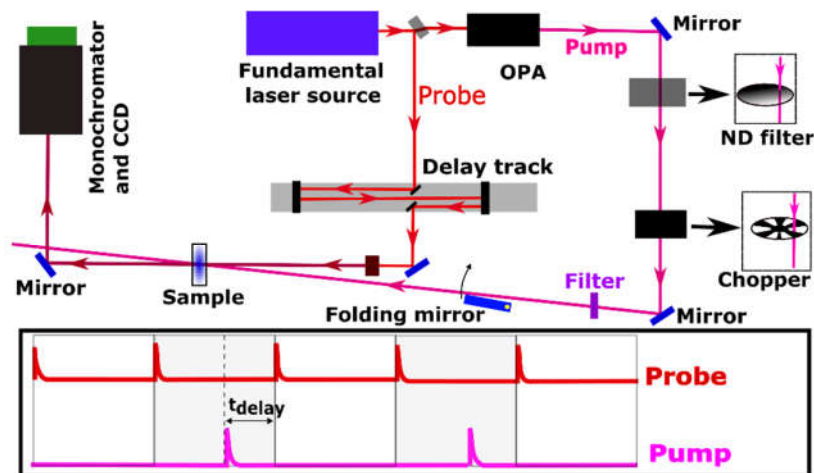
Hiện nay, các thiết bị quang điện được sử dụng rất nhiều trong thực tế như các photodiode, pin mặt trời, camera... do chúng có nhiều tính năng quan trọng. Một trong những yếu tố quan trọng quyết định chất lượng và hiệu quả làm việc của thiết bị là độ nhạy sáng. Độ nhạy sáng được định nghĩa là tỷ số giữa lượng điện tích tự do được sinh ra dưới tác dụng của ánh sáng kích thích và số lượng hạt photon ánh sáng kích thích đó. Như vậy,

việc xác định nồng độ hạt tải điện là rất quan trọng và cần có các phương pháp xác định một cách định tính. Đối với hầu hết các vật liệu bán dẫn, hạt tải điện tự do được sinh ra trên vùng dẫn sẽ nhanh chóng tái hợp với lỗ trống ở vùng hóa trị, hoặc tái hợp với các mức năng lượng sai hỏng mạng tinh thể, thời gian tái hợp tùy thuộc vào loại bán dẫn, có thể từ vài chục ns tới vài chục μ s. Đối với các chuyển mức năng lượng của điện tử tự do tới các mức tạp hoặc các mức năng lượng sai hỏng do sai hỏng mạng gây ra, thời gian tái hợp thường ngắn cỡ ps, các phép đo điện hoặc đo phát xạ thường khó phát hiện do bị hạn chế về độ phân giải thời gian. Đặc biệt để phân tích quá trình dịch chuyển mức năng lượng của điện tử trên nội vùng dẫn, độ phân giải thời gian của phép đo là rất quan trọng và cần có những nguồn laser với độ rộng của xung rất ngắn (dưới ps) để có được các phép đo có độ tin cậy cao.

Việc xác định lượng hạt tải điện tự do thường được đo bằng các phép đo dòng điện hoặc phân tích phổ phát xạ và phân tích quá trình phân rã hạt tải điện. Tuy nhiên các phép đo này chỉ đo được lượng điện tử tự do đã tái hợp, không đo được số lượng hạt điện tử tự do ngay sau khi kích thích ánh sáng. Phương pháp đo hấp thụ cảm ứng sẽ đáp ứng được các yêu cầu về độ phân giải thời gian và biên độ hấp thụ của các điện tử trên vùng dẫn, do vậy lượng hạt điện tử tự do sẽ được tính.

2. PHƯƠNG PHÁP ĐO HẤP THỤ CẢM ỨNG

2.1. Sơ đồ hệ đo hấp thụ cảm ứng



Hình 1. Sơ đồ hệ đo hấp thụ cảm ứng và đồ thị biểu diễn cường độ của tia pump và tia probe theo thời gian.

Hệ đo hấp thụ cảm ứng, hay còn gọi là hệ pump-probe, bao gồm hai nguồn laser, thông thường là các nguồn xung với công suất cao, đồng thời phần xung laser phải đảm bảo rất hẹp, cỡ khoảng vài chục fs (10^{-15} s). Tần số lặp của xung laser thông thường là vài kHz để rút ngắn thời gian đo lường. Thông thường hai tia laser được tạo ra từ một nguồn laser cơ bản nhằm giúp quá trình điều lệch pha giữa hai tia này dễ dàng, tia thứ nhất có tác dụng kích thích electron trong bán dẫn từ vùng hóa trị lên vùng dẫn, tia này được gọi là pump (hay kích thích). Tia laser thứ hai thường có cường độ nhỏ hơn tia pump và được dùng để kích thích hạt tải điện tự do từ vùng dẫn lên mức năng lượng cao hơn, tia này được gọi là probe. Tia probe có thể là ánh sáng đơn sắc hoặc là ánh sáng có nhiều bước sóng khác nhau (như ánh sáng trắng). Ban đầu, hai tia này được tạo ra cùng một nguồn laser và có cùng tần số lặp. Tuy nhiên, tia pump được chiếu qua 1 bánh xe chắn sáng (chopper) có các cửa sổ được khoét cách đều nhau, tốc độ quay của chopper được điều chỉnh sao cho khi các xung liên tiếp của tia pump tới thì chopper chỉ chắn xung thứ nhất và cho xung thứ hai chạy qua cửa sổ được khoét, xung thứ ba lại bị chắn (xem trên hình 2). Quá trình này được lặp đi lặp lại theo thời gian. Như vậy tần số lặp của tia pump bằng một nửa lần tần số lặp của tia probe.

Trên hệ đo có đặt một thiết bị có tên là “delay track” nhằm thay đổi độ trễ giữa tia probe và tia pump. Delay track là một đường ray và có các gương phẳng được trượt trên đường ray, các gương này chuyển động được nhờ motor bước. Đồng thời, các gương này luôn luôn đảm bảo được trục chuẩn với nhau trong quá trình chuyển động. Khi thay đổi khoảng cách của các gương này thì thời điểm tia probe đến mẫu cũng bị thay đổi theo. Sau khi đi qua hệ thống gương, thấu kính, kính phân cực, delay track và kính lọc, tia pump và probe phải đảm bảo chồng lên nhau tại mặt phẳng của mẫu. Phổ của tia probe được ghi lại trên camera CCD. Cường độ hấp thụ cảm ứng được tính bằng công thức:

$$IA = \frac{I_{no\ pump} - I_{with\ pump}}{I_{with\ pump}}$$

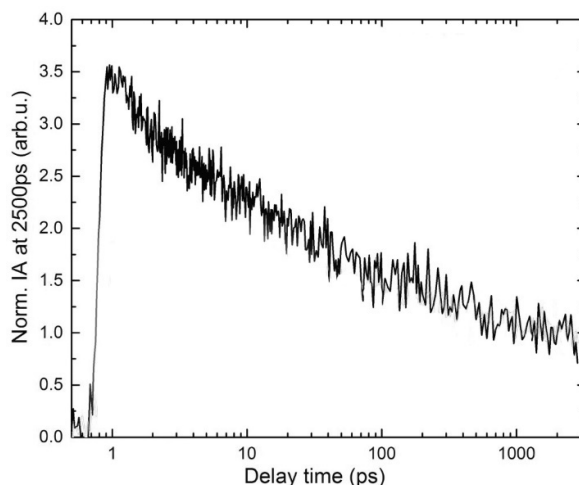
IA: cường độ hấp thụ cảm ứng

$I_{no\ pump}$ là cường độ tia probe khi không có tia pump

$I_{with\ pump}$ là cường độ tia probe khi có tia pump

Đồ thị biểu diễn sự thay đổi cường độ hấp thụ cảm ứng theo thời gian trễ thường có dạng như hình 2. Đường biểu diễn hấp thụ cảm ứng có dạng giống hàm phân rã exponential với hằng số phân rã cỡ vài chục ps. Giá trị đỉnh của đồ thị tỷ lệ thuận với lượng hạt tải điện tự

do có trên vùng dẫn ngay sau khi tia pump xuất hiện. Để tìm ra được số hạt điện tử một cách định lượng, cường độ của tia pump và probe cần được xác định một cách định lượng.



Hình 2. Kết quả đo hấp thụ cảm ứng, quá trình suy giảm cường độ hấp thụ cảm ứng theo thời gian được ghi với độ phân giải tới ps.

3. CÁC ƯU ĐIỂM VÀ HẠN CHẾ CỦA PHƯƠNG PHÁP ĐO HẤP THỤ CẢM ỨNG

3.1. Ưu điểm của phương pháp hấp thụ cảm ứng

Xác định nồng độ hạt tải điện sử dụng hệ đo pump-probe có nhiều ưu điểm như so với các phương pháp đo tính chất quang khác.

Đối với những mẫu có hiệu suất phát xạ thấp: việc tính toán nồng độ hạt tải điện tự do có thể được thực hiện thông qua phép tính số photon phát xạ từ mẫu dưới tác dụng của ánh sáng kích thích. Tuy nhiên, với một số mẫu có hiệu suất phát xạ thấp thì tín hiệu trên nhiễu sẽ rất kém. Với các mẫu có nhiều sai hỏng mạng hoặc các tạp chất, việc xác định số photon phát xạ cũng rất khó khăn. Phương pháp đo lường hấp thụ cảm ứng sẽ khắc phục được các nhược điểm nói trên.

Tránh được một số loại nhiễu: khi sử dụng các phép đo điện để xác định nồng độ hạt tải điện, tỷ số tín hiệu trên nhiễu phụ thuộc rất nhiều vào nhiễu điện, đặc biệt là sóng điện từ trong môi trường xung quanh. Tuy nhiên đối với phép đo hấp thụ cảm ứng, sóng điện từ trong môi trường ảnh hưởng rất ít tới tín hiệu đo.

Độ phân giải theo thời gian rất cao: Hệ đo pump-probe sử dụng các nguồn laser có độ rộng của xung laser rất ngắn, cỡ vài chục fs, đặc điểm này rất hữu ích cho việc khảo sát quá trình dịch chuyển mức năng lượng của điện tử trong nguyên tử bán dẫn. Độ phân giải phụ thuộc vào thời gian trễ của tia probe, thời gian này phụ thuộc vào khoảng cách các

gương phẳng trên delay track và chiều dài này có thể thay đổi tùy ý. Thời gian điện tử dịch chuyển từ các mức năng lượng ở phía trên vùng dẫn xuống đáy vùng dẫn vào khoảng ps, trong khi phép đo hấp thụ cảm ứng có thể cho độ phân giải dưới ps, do vậy quá trình dịch chuyển mức năng lượng của hạt tải điện sẽ được ghi một cách chính xác.

3.2. Các hạn chế của phương pháp đo hấp thụ cảm ứng

Yêu cầu về trang thiết bị: Phương pháp đo hấp thụ cảm ứng yêu cầu hệ đo rất đắt tiền, các thiết bị trong hệ cần có độ chính xác cao và độ bền theo thời gian do các thiết bị hầu hết được phơi trong tia laser công suất cao. Đồng thời hệ cũng yêu cầu một không gian rất rộng do kích thước của hệ khá cồng kềnh

Sự an toàn cho người sử dụng và công việc bảo dưỡng: Do hệ sử dụng laser công suất cao, do độ rộng của xung laser rất nhỏ nên công suất tức thời của tia laser là rất lớn. Điều này gây ra sự nguy hiểm cho người thực hiện các phép đo nếu mắc lỗi. Đồng thời khi bảo dưỡng hệ thống, các tia laser cũng cần được bật và kiểm tra, kỹ thuật viên cũng cần phải rất cẩn thận trong quá trình thao tác.

Tín hiệu giả trong phép đo: Phép đo hấp thụ cảm ứng yêu cầu có độ chính xác và tỷ mỉ của người thực hiện phép đo. Sự lệch trục chuẩn các tia laser là sai lầm rất dễ mắc phải, đặc biệt với hệ laser có thể thay đổi được bước sóng. Khi bước sóng thay đổi, độ hấp thụ laser của thiết bị, chiết suất của các thiết bị trong hệ cũng thay đổi dẫn đến đường đi của tia laser bị thay đổi theo, tính trục chuẩn của hệ không đảm bảo. Ngoài ra, hiệu ứng bão hòa hạt tải điện cũng dễ xảy ra, vì vậy cần phải có các phép đo xác nhận trước khi kết thúc.

4. KẾT LUẬN

Phép đo hấp thụ cảm ứng để tính số lượng hạt tải điện từ do có rất nhiều ưu điểm, đặc biệt là độ phân giải thời gian. Dựa vào dạng đồ thị của hấp thụ cảm ứng, các tính chất khác của vật liệu cũng có thể được suy luận. Tuy nhiên, phương pháp này có nhiều yêu cầu nhất định, đặc biệt và chi phí mua máy cũng như quy trình bảo dưỡng, đây là một trong những khó khăn cho nhiều phòng thí nghiệm ở Việt Nam. Do vậy, tùy theo yêu cầu về độ chính xác mà phép đo hấp thụ cảm ứng có thể được áp dụng hoặc có thể sử dụng phương pháp khác có độ chính xác chấp nhận được và có giá thành thấp hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. N.X. Chung, R. Limpens, and T. Gregorkiewicz, *Photoluminescence Quantum Yield in Ensembles of Si Nanocrystals*, *Advanced Optical Materials* **1600709**, 1-8, (2017)
2. W.D.A.M. De Boer, D. Timmerman, T. Gregorkiewicz, H. Zhang, W.J. Buma, A.N. Poddubny, and I.N. Yassievich, *Self-trapped exciton state in Si nanocrystals revealed by induced absorption*, *Physical Review B* **85** 16, 161409 (2012).
3. R. Marshall, M.C. Beard, and J.C. Johnson, *Nongeminate radiative recombination of free charges in cation-exchanged PbS quantum dot films*, *Chemical Physics* **471**, 75-80 (2016).
4. N.X. Chung, R. Limpens, C. Weerd, A. Lesage, M. Fujii, and T. Gregorkiewicz, *Toward Practical Carrier Multiplication: Donor/Acceptor Codoped Si Nanocrystals in SiO₂*, *ACS Photonics*, **5**, 2843-2849 (2018).