



HỆ Z-SCAN SỬ DỤNG LASER BEAM PROFILER CHẾ TẠO TỪ WEBCAMERA ỨNG DỤNG TRONG ĐO ĐẶC CÁC THAM SỐ QUANG PHI TUYẾN BẬC III CỦA CHẤT HỮU CƠ

Nguyễn Thanh Lâm*, Châu Huy, Phạm Thị Doanh,
Phạm Văn Nhí, Dương Ái Phương, Lê Thị Quỳnh Anh

Khoa Vật lý - Vật lý Kỹ thuật – Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG TPHCM
Ngày nhận bài: 08-3-2017; ngày nhận bài sửa: 09-7-2017; ngày duyệt đăng: 20-12-2017

TÓM TẮT

Chúng tôi sử dụng hệ Laser Beam Profiler chế tạo từ CMOS của Web-camera và màng giới hạn quang như thành phần ghi nhận dữ liệu trong hệ Z-scan để đo chiết suất phi tuyến và hệ số hấp thụ phi tuyến của mẫu dung dịch hữu cơ Aniline Blue. Kết quả đo đạc thực nghiệm bằng thiết bị của chúng tôi hoàn toàn phù hợp với kết quả đo đạc bằng thiết bị tiêu chuẩn của Newport LBPI-USB.

Từ khóa: hiệu ứng quang phi tuyến bậc III, tán sắc phi tuyến, hấp thụ phi tuyến, phương pháp Z-scan.

ABSTRACT

*Z-scan system using web camera based Laser Beam Profiler
for measuring third order nonlinear optical parameters in organic material*

We use the laser beam profiler made of web-cam and optical limiting thinfilm as a data recorder in Z-scan system to measure the nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient in the Aniline Blue solution sample. Experimental results totally agree with those measured by laser beam profiler LBPI-Newport.

Keywords: third order nonlinear optics effect, nonlinear refraction, nonlinear absorption, Z-scan method.

1. Mở đầu

Kỹ thuật Z-scan là một phương pháp đơn giản và hiệu quả để xác định cả dấu và độ lớn của chiết suất phi tuyến n_2 và hệ số hấp thụ phi tuyến β . Kỹ thuật này do Sheik- Bahae và các cộng sự đề xuất lần đầu tiên vào năm 1989 xác định các tham số phi tuyến n_2 và β thông qua phép đo Z-scan khe đóng và Z-scan khe mở [1, 2]. Trong phép đo Z-scan khe đóng, chúng ta đo hệ số truyền qua mẫu sau một khe khi dịch chuyển mẫu quanh cổ chùm. Trong phép đo Z-scan khe mở, khe được loại bỏ, chúng ta đo hệ số truyền qua mẫu khi dịch chuyển mẫu quanh cổ chùm. Phương pháp này có thể gọi là Z-scan truyền qua. Sau đó, có nhiều phiên bản cải tiến được phát triển để tăng cường độ nhạy và tỉ số tín hiệu

* Email: ntlam@phys.hcmuns.edu.vn

nhieu. Theo T.Godin [3], những phiên bản Z-scan tăng cường này có thể chia làm 4 loại: Thay đổi loại chùm tới [4,5], tối ưu hóa lý thuyết [6], thay đổi cơ chế phát hiện [3,7-10], và thay đổi toàn bộ bố trí thí nghiệm [11-14].

Về thay đổi cơ chế phát hiện, thay vì dùng detector để ghi nhận cường độ laser, T.Godin và các cộng sự đã dùng detector nhạy vị trí để ghi nhận sự thay đổi trọng tâm chùm [3], và sau đó tính toán các tham số phi tuyến từ hệ thức biểu diễn mối quan hệ giữa vị trí trọng tâm chùm và các tham số phi tuyến được xây dựng trước đó. Một số nghiên cứu khác lại xác định các tham số phi tuyến thông qua việc sử dụng CCD camera để đo độ méo toàn bộ chùm [8], đo biên dạng cường độ $D4\sigma$ để suy ra độ biến thiên cổ chùm tương đối sau hệ 4f [9], và đo độ biến thiên bán kính chùm ở trường xa [10]. Chúng ta sẽ gọi kỹ thuật cuối cùng là kỹ thuật Z-scan bán kính chùm. Kỹ thuật Z-scan bán kính chùm có ưu điểm là không nhạy với sự bất ổn định hướng chùm, giảm được ảnh hưởng của sự dao động cường độ đầu vào... Thiết bị quan trọng nhất trong hệ Z-scan bán kính chùm là Laser Beam Profiler. Tuy nhiên, thiết bị Laser Beam Profiler trên thị trường hiện nay rất đắt tiền; do đó, trong công trình trước đây, chúng tôi đã chế tạo một thiết bị có chức năng tương đương với ưu điểm là rẻ tiền và có độ chính xác tương đối cao. Trong công trình này, chúng tôi sử dụng thiết bị này để đo Z-scan bán kính chùm trong dung dịch Aniline Blue và thông qua đó đánh giá thêm hiệu quả hoạt động của thiết bị.

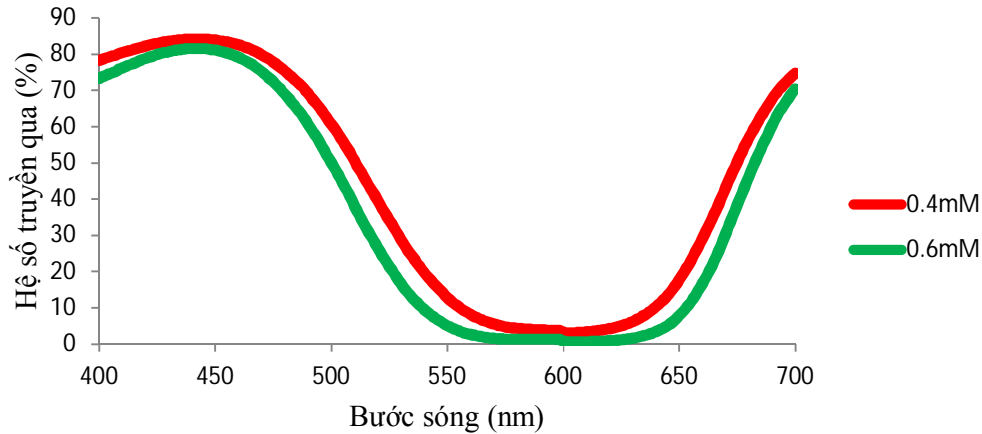
2. Thực nghiệm

2.1. Vật liệu và quy trình điều chế dung dịch

Nghiên cứu này sử dụng vật liệu hữu cơ Aniline Blue dạng bột của Công ty Himedia, Ấn Độ. Để pha dung dịch Aniline Blue nồng độ 0,4 mM, đầu tiên chúng tôi cho 0,01475g (2.10^{-5} mol) bột Aniline Blue vào lọ. Sau đó cho từ từ 50ml dung dịch Methanol vào lọ. Đặt lên máy khuấy từ và cho khuấy từ không gia nhiệt khoảng 10 phút. Tương tự, cho 0,02210g vào dung dịch để thu được nồng độ 0,6 mM.

2.2. Phổ truyền qua

Phổ truyền qua của dung dịch Aniline Blue ở các nồng độ khác nhau được đo bằng máy quang phổ UV-VIS HALO RB-10 tại Phòng Thí nghiệm - Bộ môn Vật lý Ứng dụng – Trường Đại học Khoa học – ĐHQG TPHCM. Kết quả đo được biểu diễn trong Hình 1. Việc đo phổ truyền qua của mẫu có hai mục đích: Xác định cơ chế phi tuyến và hằng số hấp thụ α -một đại lượng trung gian để tính chiều dài hiệu dụng L_{eff} . Ta thấy vùng phổ hấp thụ cực đại từ 590 đến 610 nm phù hợp với kết quả đo của nhà sản xuất. Vùng phổ này cũng chứa bước sóng đang nghiên cứu 532 nm. L_{eff} ứng với các nồng độ 0,4 mM và 0,6 mM lần lượt là 0,467 mm và 0,460 mm.



Hình 1. Phổ truyền qua của dung dịch Aniline Blue ở các nồng độ 0,4 mM và 0,8 mM

2.3. Kết quả đo Z-scan bán kính chùm

Trong quá trình đo, chúng ta sẽ di chuyển mẫu vật liệu phi tuyến quanh cổ chùm và đo bán kính chùm tại một vị trí cố định cách xa mẫu. Dữ liệu ghi nhận được là độ biến thiên của bán kính chùm theo tọa độ z gọi là đường cong $R(z)$. Đường cong $R(z)$ đo được thể hiện tác động tổng hợp của cả hiệu ứng tán sắc phi tuyến và hấp thụ phi tuyến. Như chúng ta đã biết, đường cong $R(z)$ ứng với hiệu ứng tán sắc phi tuyến thuần túy sẽ đối xứng qua gốc tọa độ. Dưới tác động của hấp thụ phi tuyến, đường cong $R(z)$ không còn đối xứng nữa. Dựa trên tính chất này, chúng tôi xây dựng đường cong hấp thụ phi tuyến bằng chương trình Matlab [15]. Từ đó tính hệ số hấp thụ phi tuyến qua công thức:

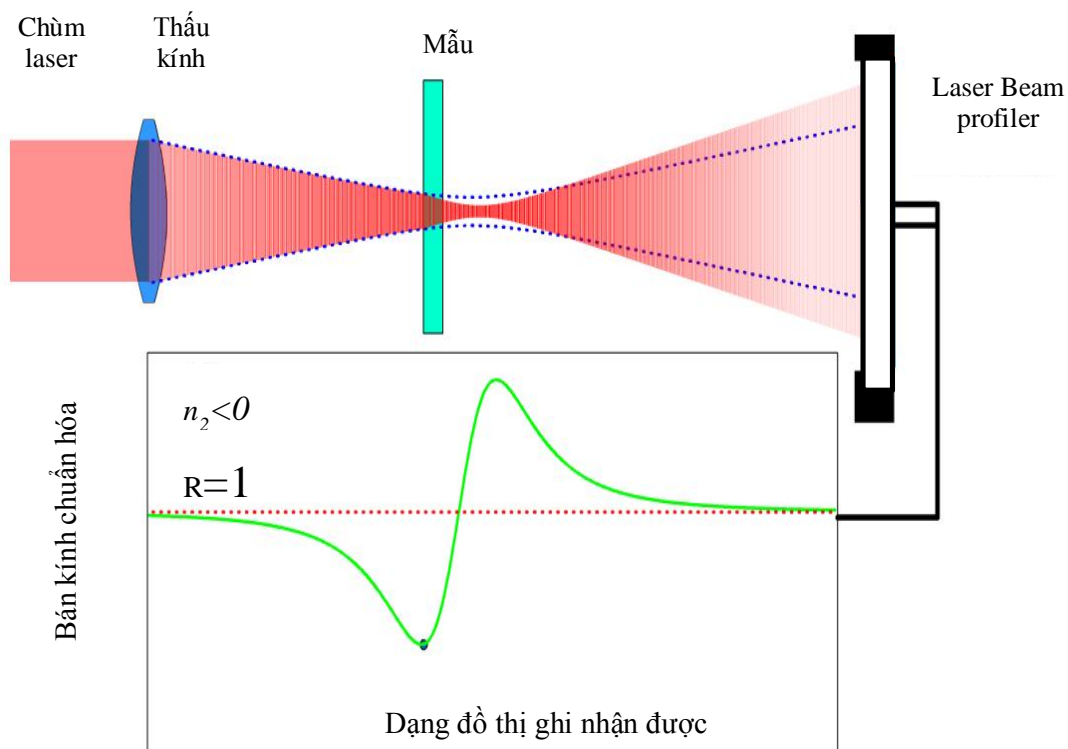
$$\beta = \frac{2^{3/2} \Delta T}{I_0 L_{eff}} \quad (1)$$

Trong đó, ΔT là trị tuyệt đối của hiệu giữa hệ số truyền qua cực đại (cực tiểu) và 1, I_0 là cường độ tại cổ chùm, L_{eff} là chiều dài hiệu dụng.

Để loại trừ ảnh hưởng của hấp thụ phi tuyến, chúng ta cần nhân đường cong $R(z)$ thực nghiệm với đường cong hấp thụ phi tuyến và thu được đường cong tán sắc phi tuyến thuần túy. Đại lượng đặc trưng cho hiệu ứng tán sắc phi tuyến thuần túy là chiết suất phi tuyến và được tính bằng công thức:

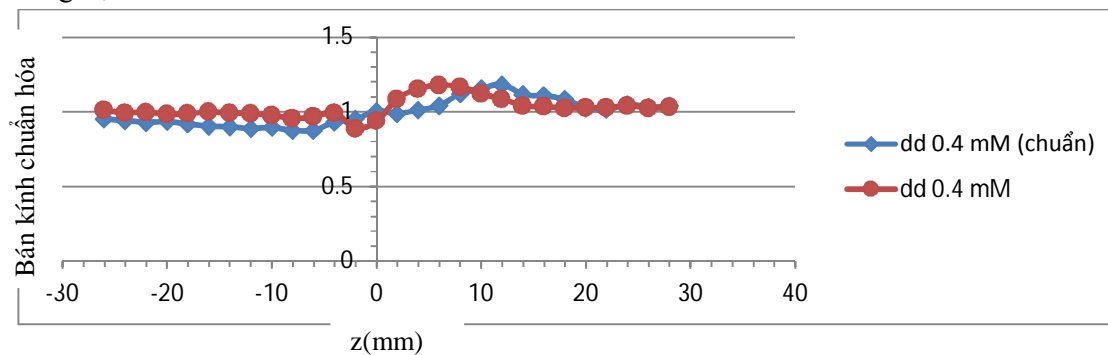
$$n_2 = \frac{\Delta R_{p-v}}{0.264 \cdot k \cdot I_0 \cdot L_{eff}} \quad (2)$$

Để kích thích mẫu, chúng tôi dùng các nguồn laser bán dẫn mode Gauss bước sóng 532 nm hoạt động ở chế độ liên tục. Chùm laser được hội tụ bằng thấu kính hội tụ tiêu cự 50 mm nhằm tăng cường độ chiếu vào mẫu. Bán kính, khoảng Rayleigh, và cường độ tại cổ chùm của laser bán dẫn là $18,4 \mu\text{m}$, 2 mm, cường độ $I = 13,1 \text{ W/mm}^2$. Bố trí thí nghiệm được trình bày trong Hình 2. Trong thí nghiệm này, chúng ta sẽ di chuyển mẫu quanh cổ chùm và đo bán kính chùm tại một vị trí cố định sau mẫu bằng Laser Beam Profiler.

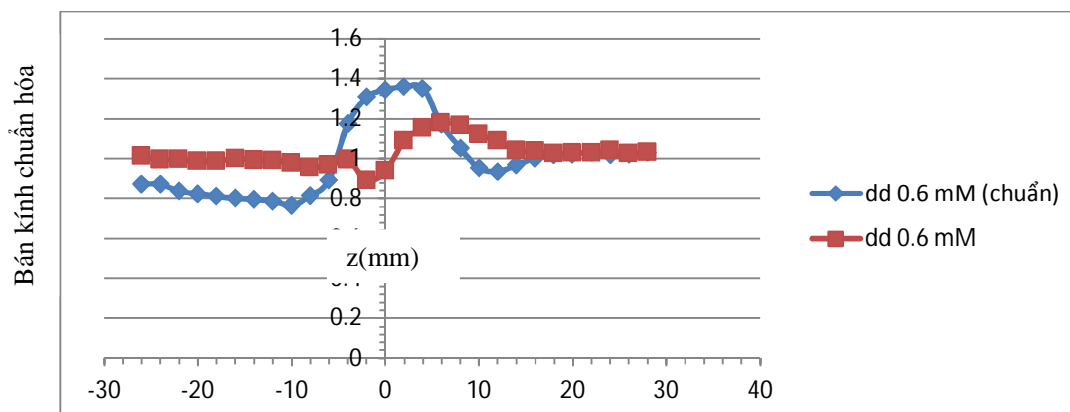


Hình 2. Bố trí thí nghiệm Z-scan bán kính chùm

Hình 3 và 4 lần lượt biểu diễn kết quả đo đường cong Z-scan bán kính chùm bằng hệ Laser Beam Profiler do chúng tôi chế tạo và hệ tiêu chuẩn LBP1-USB của Newport ở từng nồng độ.



Hình 3. Kết quả đo đường cong Z-scan bán kính chùm bằng hệ Laser Beam Profiler tự thiết kế và hệ tiêu chuẩn trên chất Aniline Blue ở nồng độ 0,4 mM



Hình 4. Kết quả đo đường cong Z-scan bán kính chùm bằng hệ Laser Beam Profiler tự thiết kế và hệ tiêu chuẩn trên chất Aniline Blue ở nồng độ 0,6 mM

Quan sát sự biến thiên của đường cong $R(z)$, chúng ta thấy bán kính chùm ban đầu hầu như không đổi, sau đó đi qua cực tiểu và cực đại rồi trở về giá trị ban đầu, chứng tỏ đây là vật liệu có chiết suất phi tuyến âm. Một đặc tính thường thấy ở các vật liệu hữu cơ. Ở nồng độ 0,4 mM, đường cong $R(z)$ đo bằng thiết bị tự thiết kế gần trùng với đường cong $R(z)$ đo bằng thiết bị chuẩn. Tuy nhiên, ở nồng độ 0,6 mM, các điểm thực nghiệm tách rời nhau bởi vì khi nồng độ cao, hiệu ứng phân kỳ mạnh, thiết bị tự chế với chip camera nhỏ chưa thể thu hết được toàn bộ chùm.

Trong phép đo Z-scan bán kính chùm, đại lượng duy nhất cần đo là bán kính chùm laser. Do đó, phương pháp này cũng góp phần hạn chế sai số. Và sai số (nếu có) là sai số của dụng cụ đo khoảng 5%.

Sử dụng phương pháp số trong [15], chúng ta có thể tính được chiết suất phi tuyến và hệ số hấp thụ phi tuyến ứng với các đường cong Z-scan trong Hình 3 và 4 sau đó so sánh với kết quả đo bằng thiết bị tiêu chuẩn. Kết quả được tổng kết trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. So sánh chiết suất phi tuyến và hệ số hấp thụ phi tuyến đo bằng LBP tự chế tạo và LBP tiêu chuẩn

Nồng độ	n_2 (LBP tự chế tạo)	n_2 (LBP tiêu chuẩn)	β (LBP tự chế tạo)	β (LBP tiêu chuẩn)
0,4 mM	$-0,78 \times 10^{-5}$	$-1,93 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$7,12 \times 10^{-2}$
0,6 mM	-1×10^{-5}	$-3,69 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-2}$	$8,21 \times 10^{-2}$

Qua Bảng 1 chúng ta thấy, các tham số phi tuyến tăng theo nồng độ phù hợp với các công trình nghiên cứu trước đây. Aniline Blue là chất có chiết suất phi tuyến âm và có hiệu ứng hấp thụ phi tuyến mạnh. Đặc thù của phép đo Z-scan là kết quả đo phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện thí nghiệm chẳng hạn như chế độ hoạt động của laser (liên tục hoặc xung), độ rộng xung laser, bán kính cổ chùm, bước sóng, độ nhạy của dụng cụ... Với thiết bị có độ nhạy thấp như CMOS camera trong Web-camera và laser bán dẫn công suất dao động mạnh, chúng tôi đã thu được kết quả chênh lệch chưa quá một bậc độ lớn so với kết quả đo bằng thiết bị tiêu chuẩn [16].

3. Kết luận

Sử dụng Laser Beam Profiler lắp ráp từ CMOS camera trong web-camera và màng giới hạn quang, chúng tôi tiến hành đo đặc các đường cong Z-scan bán kính chùm trong dung dịch Aniline Blue ở hai nồng độ 0,4 mM và 0,6 mM. Sau đó, chúng tôi rút ra các tham số quang phi tuyến bậc III từ những đường cong này và so sánh với kết quả đo bằng thiết bị tiêu chuẩn. Qua đó, chúng tôi thấy có sự phù hợp rất tốt giữa kết quả đo của hai loại thiết bị.

❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M.Sheik-Bahae, A.A.Said, and E.W.Van Stryland, "High-sensitivity, single-beam n_2 measurements," *Opt Lett*, 14, 17, 955-957, 1989.
- [2] P.B.Chapple, J.Staromlynska, J.A.Hermann, T.J.Mckay, R.G.Mcduff, "Single-Beam Z-Scan: Measurement Techniques and Analysis", *J Nonlinear Optic Phys Mat*, 6, 3, 251-293, 1997.
- [3] T.Godin, M.Fromager, E.Cagniot, R.Moncorgé, K.Ait-Ameur, "Baryscan: a sensitive and user-friendly alternative to Z scan for weak nonlinearities measurements," *Opt Lett*, 36, 8, 1401-1403, 2011.
- [4] W.Zhao, P.PalfyMuhoray, "Z-scan technique using tophat beams," *Appl Phys Lett*, 63, 12, 1613-1615, 1993.
- [5] S.Hughes and J.M.Burzler, "Theory of Z-scan measurements using Gaussian-Bessel beams," *Phys Rev A*, 56, 2, R1103, 1997.
- [6] R.E.Bridges, G.L.Fisher, and R.W.Boyd, "Z-scan measurement technique for non-Gaussian beams and arbitrary sample thicknesses," *Opt Lett*, 20, 17, 1821-1823, 1995.
- [7] T.Xia, M.Sheik-Bahae, A.A.Said, D.J.Hagan, "Z-scan and EZ-scan measurements of optical nonlinearities," *J Nonlinear Optic Phys Mat*, 3, 4, 489-500, 1994.
- [8] A.O.Marcano, H.Maillotte, D.Gindre, and D.Métin, "Picosecond nonlinear refraction measurement in single-beam open Z scan by charge-coupled device image processing," *Opt Lett*, 21, 2, 101-103, 1996.

- [9] G.Boudebs, V.Besse, C.Cassagne, H.Lebond, and F.Sanchez, "Why optical nonlinear characterization using imaging technique is a better choice?," In: *Transparent Optical Networks (ICTON). 2013, 15th International Conference on. IEEE*: 1-4, 2013.
- [10] G.Tsigaridas, M.Fakis, I.Polyzos, P.Persephonis and V.Giannetas, "Z-scan technique through beam radius measurements," *Appl Phys B*, 76, 1, 83-86, 2003.
- [11] G.Boudebs and S.Chelukappurath, "Nonlinear optical measurements using a 4 f coherent imaging system with phase objects," *Phys Rev A*, 69, 5, 053813, 2004.
- [12] D.V.Petrov, A.S.L.Gomes, C.B.De Araujo, "Reflection Z-scan technique for measurements of optical properties of surfaces," *Appl Phys Lett*, 65, 9, 1067-1069, 1994.
- [13] H.Ma, C.B.De Araujo, "Two color Z-scan technique with enhanced sensitivity", *Appl Phys Lett*, 66, 13, 1581-1583, 1995.
- [14] A.A.Andrade, E.Tenorio, T.Catunda, M.L.Baesso, A.Cassanho, H.P.Jenssen, "Discrimination between electronic and thermal contributions to the nonlinear refractive index of SrAlF₅: Cr³⁺," *J Opt Soc Am B*, 16, 3, 395-400, 1999.
- [15] L.T.Nguyen, N.T.Hong, C.T.B.Thi, A.Q.Le, "The numerical methods for analyzing the Z-scan data," *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials*, 23, 2, 1450020, 2014.
- [16] Eric W Van Stryland, Mansoor Sheik-Bahae, "Z-scan measurements of optical nonlinearities. Characterization techniques and tabulations for organic nonlinear materials," 18, 3, 655-692, 1998.