

Theo yêu cầu của khách hàng, trong một năm qua, chúng tôi đã dịch qua 16 môn học, 34 cuốn sách, 43 bài báo, 5 sổ tay (chưa tính các tài liệu từ năm 2010 trở về trước) Xem ở đây

**DỊCH VỤ  
DỊCH  
TIẾNG  
ANH  
CHUYÊN  
NGÀNH  
NHANH  
NHẤT VÀ  
CHÍNH  
XÁC  
NHẤT**

Chỉ sau một lần liên lạc, việc dịch được tiến hành

Giá cả: có thể giảm đến 10 nghìn/1 trang

Chất lượng: Tao dựng niềm tin cho khách hàng bằng công nghệ 1. Bạn thấy được toàn bộ bản dịch; 2. Bạn đánh giá chất lượng. 3. Bạn quyết định thanh toán.

Tài liệu này được dịch sang tiếng việt bởi:

**[www.mientayvn.com](http://www.mientayvn.com)**

Từ bản gốc:

<https://drive.google.com/folderview?id=0B4rAPqlxIMRDNkFJeUpfVUtLbk0&usp=sharing>

Liên hệ dịch tài liệu :

[thanhlam1910\\_2006@yahoo.com](mailto:thanhlam1910_2006@yahoo.com) hoặc [frbwrthes@gmail.com](mailto:frbwrthes@gmail.com) hoặc số 0168 8557 403 (gặp Lâm)

Tìm hiểu về dịch vụ: [http://www.mientayvn.com/dich\\_tiang\\_anh\\_chuyen\\_nganh.html](http://www.mientayvn.com/dich_tiang_anh_chuyen_nganh.html)

**Modified Z-scan set-up using CCD for measurement of optical nonlinearity in PLD carbon thin film**

A modified Z-scan set-up utilizing CCD is reported which can be used for open as well as closed aperture configuration in a single scan. The technique is based on recording the transmitted laser beam through

**Hệ Z-scan hiệu chỉnh dùng CCD để đo các tham số phi tuyến quang học trong màng mỏng carbon PLD**

Chúng tôi báo cáo hệ Z-scan hiệu chỉnh dùng CCD có thể dùng cho cấu hình Z-scan khe mở hoặc Z-scan khe đóng trong Z-scan đơn. Kỹ thuật này dựa trên việc ghi nhận chùm laser truyền qua mẫu trực tiếp trên

the sample on CCD directly. It has the advantage of using the same recorded image for open as well as closed Z-scan for each 'z' position, thus minimizing the effect due to beam pointing instability and background vibrations.

### 1. Introduction

In 1989, Sheik-bahae et al. reported the Z-scan technique, for measuring the sign and magnitude of the third-order nonlinear refraction coefficient of materials [1]. Ever since, the Z-scan has been widely used technique for measuring the nonlinear optical properties of materials because of its experimental simplicity and sensitivity compared to that of other techniques involving relatively complex experimental setup [2-4]. In this technique, the sample is translated along the optic axis of a focused Gaussian laser beam. The translation of the sample changes the irradiance within the sample, resulting in inducing the modification of intensity dependent optical properties. The intensity transmitted through the sample is recorded as a function of sample position 'z' with respect to the focal plane. The plot of transmitted intensity as a function of 'z' gives the information about the order of the nonlinearity as well as its sign and magnitude. The open aperture (OA) Z-scan determines nonlinear absorption

CCD. Ưu điểm của nó là dùng cùng ảnh ghi nhận cho Z-scan khe đóng cũng như khe mở đối với mỗi vị trí "z", vì thế giảm thiểu được sự bất ổn định hướng chùm và các dao động nền.

### 1. Giới thiệu

Năm 1989, Sheik-bahae đã đưa ra kỹ thuật Z-scan, để đo dấu và độ lớn của chiết suất phi tuyến bậc ba của vật liệu [1]. Kể từ đó, Z-scan trở thành một kỹ thuật được sử dụng rộng rãi để đo tính chất quang phi tuyến của vật liệu do tính đơn giản về mặt thực nghiệm và độ nhạy so với những kỹ thuật khác sử dụng bố trí thí nghiệm tương đối phức tạp [2-4]. Trong kỹ thuật này, người ta dịch chuyển mẫu dọc theo trục quang học của chùm laser Gauss điều tiêu. Sự dịch chuyển mẫu làm thay đổi bức xạ trong mẫu, dẫn đến sự thay đổi tính chất quang học theo cường độ. Cường độ truyền qua mẫu được ghi nhận theo vị trí mẫu 'z' đối với mặt phẳng tiêu. Đồ thị cường độ truyền qua theo 'z' cho thông tin về bậc phi tuyến cũng như dấu và độ lớn. Z-scan khe mở (OA) xác định hệ số hấp thụ phi tuyến (NLA). Z-scan khe đóng (CA) với kích thước khe thích hợp biểu diễn chiết suất phi tuyến (NLR).

(NLA) coefficient. The closed aperture (CA) Z-scan with appropriate aperture size reflects nonlinear refractive index (NLR) coefficient.

In the present paper, the photodiode in the conventional Z-scan experimental setup was replaced by charge-coupled device (CCD) camera for the measurement of transmitted intensity. The Z-scan measurements using CCD reported earlier were based on (a) subtracting the reference beam from signal beam [5], (b) replacing aperture with an opaque disk [6] and (c) measuring the beam dimension [7]. In the present set-up, the hard aperture was replaced by a software aperture and the intensity was obtained by integrating the image gray values. This modified Z-scan setup using CCD offers several advantages over conventional system using a photodiode: (a) the dynamic range of a CCD detector is very large and its pixel size is in few micrometers, which enhances the sensitivity compared to that of the conventional Z-scan, (b) a suitable synthetic aperture was applied on to the image using Matlab programming rather than the physical aperture, making it independent of the beam pointing instability of the laser, (c) a hard aperture (circular pinhole in conventional Z-scan) does not follow the shape of the beam

Trong bài báo này, photodiode trong hệ thí nghiệm Z-scan truyền thống được thay thế bằng camera linh kiện tích điện kép (CCD) để đo cường độ truyền qua. Phép đo Z-scan dùng CCD được báo cáo trước đây dựa trên việc (a) trừ chùm tín hiệu với chùm chuẩn [5], (b) thay thế khe bằng đĩa mờ đục [6] và (c) đo kích thước chùm [7]. Trong bố trí thí nghiệm của chúng tôi, khe cứng được thay thế bằng khe tổng hợp bằng phần mềm và suy ra cường độ bằng cách lấy tích phân các giá trị thang xám ảnh. Hệ z-scan hiệu chỉnh này dùng CCD có một số hiệu chỉnh so với hệ truyền thống dùng photodiode: (a) khoảng động học của detector CCD rất lớn và kích thước pixel khoảng vài micro mét, giúp tăng cường độ nhạy so với Z-scan thông thường, (b) khe tổng hợp thích hợp áp dụng trên ảnh bằng chương trình Matlab thay vì khe vật lý, làm cho nó không phụ thuộc vào sự bất ổn định hướng chùm laser, (c) khe cứng (lỗ tròn trong Z-scan thông thường) không khớp với mọi hình dạng chùm và vì vậy không thể dùng nó cho chùm khác ngoài chùm Gauss, trong khi đó khe tổng hợp bằng chương trình Matlab có thể xác định dễ dàng để khớp với biên

and so it cannot be used for other than Gaussian beam, whereas the synthetic aperture employed numerically by the Matlab programming, can be easily defined to match the incident laser beam profile, (d) it reduces the experiment running time, as data was obtained for both, open as well as closed aperture configuration in a single Z-scan and (e) focusing lens in front of the detector is not required. In CA Z-scan measurement, an aperture is used to separate out the contribution of absorptive nonlinearity from the nonlinearity due to refractive index. A closed Z-scan curve having equal magnitude of the height of peak and depth of valley is devoid of contribution of NLA [1]. If the aperture size is not appropriate then the CA curve is not symmetric and hence the calculated NLR coefficient will be incorrect. In CA Z-scan, the setup using photodiode, experiment is to be repeated for various apertures to obtain the optimum aperture size such that the peak and valley of the curve are equal. The CCD camera records the profile of the transmitted beam and so the data for the variant aperture size from the same set of images can be obtained by applying the aperture via software after recording the full images. Thus the data is extracted for both, OA and CA from same set of images and the

dạng chùm laser tới, (d) giảm thời gian tiến hành thí nghiệm, vì dữ liệu đối với cả cấu hình khe mở và khe đóng thu được trong một lần dịch chuyển mẫu duy nhất và (e) không cần thấu kính hội tụ trước detector.

Trong phép đo Z-scan CA, khe được dùng để tách đóng góp của phi tuyến hấp thụ ra khỏi phi tuyến tổng thể do chiết suất. Đường cong Z-scan khe đóng có độ cao peak và độ sâu thung lũng bằng nhau chứng tỏ không có hấp thụ phi tuyến [1]. Nếu kích thước khe không thích hợp thì đường cong CA không đối xứng và do đó chiết suất phi tuyến tính được không chính xác. Trong Z-scan khe đóng, hệ dùng photodiode, thí nghiệm được lặp lại đối với các khe khác nhau để thu được kích thước tối ưu sao cho peak và thung lũng của đường cong bằng nhau. Camera CCD ghi nhận biên độ của chùm truyền qua và do đó dữ liệu đối với các kích thước khe khác nhau từ cùng một tập hợp ảnh có thể thu được bằng cách áp dụng khe tổng hợp bằng phần mềm sau khi ghi nhận toàn bộ ảnh. Vì thế, dữ liệu được rút ra đối với cả OA và CA từ cùng tập hợp ảnh và ảnh hưởng của bất kỳ dao động nào trong chùm laser được triệt tiêu tự động và

effect of any fluctuations in the laser beam is automatically canceled out and simultaneous recording of the reference beam is not required.

## 2. Experimental details

To demonstrate the modified Z-scan experimental setup, an amorphous carbon thin film was used as a nonlinear medium. The carbon thin film was deposited by the pulsed laser deposition (PLD) technique. The deposition was carried out using a Q-switched Nd:YAG laser (QUANTA SYSTEM HYL-101, 532 nm, 10 Hz) at a base pressure of the order of  $\sim 10^{-5}$  mbar. The film was deposited for 5 min onto fused silica at a substrate temperature of 750 °C using graphite target. The thickness,  $L$ , of the film was measured using stylus profilometer (Veeco Dektak 150) and found to be  $\sim 30$  nm which is much less than the Rayleigh length of the He-Ne laser beam and hence fulfills the thin sample approximation for Z-scan technique. The linear absorption coefficient 'a' was calculated from the absorption spectra using the expression  $a=(1/L) \ln (I/I_0)$ , where  $L$  is the thickness of the film,  $I$  is the transmitted intensity through the carbon thin film and  $I_0$  is the incident intensity onto it. The linear absorption coefficient of the carbon film at 632.8 nm was found to be  $2.74 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$ . Fig. 1 shows the schematic of the modified Z-scan set-up for

việc ghi nhận đồng thời chùm quy chiếu là không cần thiết.

## 2. Thực nghiệm

Để minh họa bố trí thí nghiệm z-scan hiệu chỉnh, chúng tôi sử dụng màng mỏng carbon vô định hình làm môi trường phi tuyến. Màng mỏng carbon được chế tạo bằng kỹ thuật lắng tụ laser xung (PLD). Quá trình lắng tụ được thực hiện bằng laser Nd:YAG công tắc Q (QUANTA SYSTEM HYL-101, 532 nm, 10 Hz) ở áp suất cơ bản vào bậc  $\sim 10^{-5}$  mbar. Màng được lắng tụ 5 phút trong silic đioxit nung chảy ở nhiệt độ để 750 °C dùng bia than chì. Độ dày  $L$  của màng được đo bằng stylus profilometer (Veeco Dektak 150) và thu được kết quả  $\sim 30$  nm nhỏ hơn nhiều so với khoảng Rayleigh của chùm laser He-Ne và do đó thỏa mãn gần đúng mẫu mỏng đối với kỹ thuật Z-scan. Tính toán từ phổ hấp thụ dùng biểu thức  $a=(1/L) \ln (I/I_0)$  chúng ta suy ra được hệ số hấp thụ tuyến tính 'a', trong đó  $L$  là độ dày màng,  $I$  là cường độ truyền qua màng mỏng carbon và  $I_0$  là cường độ tới. Chúng ta tìm được hệ số hấp thụ tuyến tính của màng mỏng carbon ở bước sóng 632.8 nm là  $2.74 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$ . H.1 biểu diễn sơ đồ bố trí thí nghiệm Z-scan hiệu chỉnh để đo các hệ số NLA và NLR. Laser He-Ne (32 mW, MELLES GRIOT 05-LHP-927,

the measurement of NLA and NLR coefficients. A He-Ne laser (32 mW, MELLES GRIOT 05-LHP-927, 632.8 nm) was focused by a convex lens of focal length of 5 cm. The PLD thin film of carbon under investigation was placed after the lens as shown in Fig. 1. The intensity distribution of the transmitted beam was recorded on a CCD detector (PCO PixelFly) kept at a distance of ~25 cm from the focusing lens. A neutral density (ND) filter was placed in front of CCD to avoid its saturation. An iris diaphragm of the aperture size 6 mm was placed before the ND filter (20 cm from the focusing lens), as shown in Fig. 1, to suppress the scattered light entering into the CCD.

The images of the transmitted beam were recorded by scanning the film 2.0 cm either side of the focal position of the lens. The transmitted intensity through the thin film was obtained by integrating the gray values of the recorded images. The same images were used to obtain the data for CA Z-scan by applying a suitable synthetic aperture the by Matlab program. The aperture size was varied and the ratio of integrated intensity of the masked image (with the synthetic aperture) to that of the entire image of laser beam (S) after passing through the thin film in the range of 0.200.60 was measured to determine the phase distortion

632.8 nm) được hội tụ bằng một thấu kính lồi tiêu cự 5 cm. Màng mỏng carbon PLD đang nghiên cứu được đặt sau thấu kính như biểu diễn trong H.1. Phân bố cường độ của chùm truyền qua được ghi nhận trên detector CCD (PCO PixelFly) đặt cách thấu kính hội tụ ~25 cm. Bộ lọc cường độ trung hòa (ND) được đặt trước CCD để CCD khỏi bị bão hòa. Một khe iris kích thước 6 mm được đặt trước bộ lọc ND (cách thấu kính hội tụ 20 cm) như biểu diễn trong H.1 để triệt tiêu ánh sáng tán xạ đi vào CCD.

Ảnh của chùm truyền qua được ghi nhận bằng cách dịch chuyển mẫu 2.0 cm ở hai phía điểm hội tụ của thấu kính. Cường độ truyền qua màng mỏng suy ra bằng cách lấy tích phân giá trị thang xám của ảnh ghi nhận được. Cũng những ảnh này sẽ được dùng để thu dữ liệu Z-scan khe đóng bằng cách áp dụng khe tổng hợp bằng chương trình Matlab. Kích thước khe được thay đổi và tỷ số của cường độ được lấy tích phân của ảnh bị che (với khe tổng hợp) so với toàn bộ ảnh của chùm laser (S) sau khi qua màng mỏng nằm trong khoảng 0.2 đến 0.6 được đo để xác định độ méo pha nhằm thu được giá trị tối ưu của S.

so as to obtain the optimum value of S.

Fig. 1. Schematic diagram of Z-scan setup.

### 3. Results and discussion

The structural characterization of the PLD carbon thin film was studied by recording Raman spectrum (LabRam HR 800) using He-Ne laser (632.8 nm) as an excitation source. The Raman spectrum of the PLD carbon thin film is shown in Fig. 2. The de-convoluted spectrum shows five peaks; 1604 cm<sup>-1</sup>, 1586 cm<sup>-1</sup>, 1347 cm<sup>-1</sup>, 1326 cm<sup>-1</sup> and 1104 cm<sup>-1</sup>. The peak at 1586 cm<sup>-1</sup> designated as G-band originates from lattice vibrations due to E<sub>2g</sub> symmetry and corresponds to sp<sup>2</sup> bonding [8]. The peak at 1347 cm<sup>-1</sup> known as D-band appears due to the presence of structural disorder and corresponds to the breathing modes of A<sub>1g</sub> symmetry [8]. Depending upon the disorder, the position and width of D band may vary. In the present spectrum, a small peak around 1326 cm<sup>-1</sup> appeared as a sub-band of D band. The Raman peak towards higher frequency at 1604 cm<sup>-1</sup> is due to microcrystalline graphite [9]. The origin of peak at 1104 cm<sup>-1</sup> is not known [10,11]. The presence of sp<sup>2</sup> bonding in the present carbon film furnishes delocalized n-electrons, thus exhibiting the optical nonlinearity.

The recorded CCD image of the

H.1.Sơ đồ bố trí thí nghiệm Z-scan

### 3.Kết quả và thảo luận

Chúng ta dùng phổ Raman (LabRam HR 800) để nghiên cứu đặc tính cấu trúc của màng mỏng carbon PLD, nguồn kích thích là laser He-Ne (632.8 nm). Phổ Raman của màng mỏng carbon được biểu diễn trong H.2. Phổ được lấy nét có 5 peak: 1604 cm<sup>-1</sup>, 1586 cm<sup>-1</sup>, 1347 cm<sup>-1</sup>, 1326 cm<sup>-1</sup> and 1104 cm<sup>-1</sup>. Peak tại 1586 cm<sup>-1</sup> do vùng G bắt nguồn từ các dao động mạng do đối xứng E<sub>2g</sub> và tương ứng với liên kết sp<sup>2</sup> [8]. Peak nằm tại 1347 cm<sup>-1</sup> theo chúng tôi hiểu là vùng D xuất hiện do sự biến dạng cấu trúc và tương ứng với các mode breathing của đối xứng A<sub>1g</sub> [8]. Tùy thuộc vào sự biến dạng, vị trí và độ rộng của vùng D có thể thay đổi. Trong phổ đang xét, peak nhỏ quanh 1326 cm<sup>-1</sup> đóng vai trò như vùng con của vùng D. Peak Raman hướng về tần số cao ở 1604 cm<sup>-1</sup> do vi tinh thể than chì [9]. Chúng ta chưa biết được nguồn gốc của peak ở 1104 cm<sup>-1</sup> [10, 11]. Sự hiện diện của liên kết sp<sup>2</sup> trong màng mỏng carbon này tạo ra các electron ...bất định xứ, vì thế tạo nên tính phi tuyến quang học.

Ảnh CCD ghi nhận được của

transmitted beam through the thin film positioned at 20 mm from the focal point is shown in Fig. 3(a) and (b) for OA and CA Z-scan configuration (for  $S \sim 0.40$ ) respectively.

The transmitted intensity for OA was normalized with that of the far field (beyond the Rayleigh length where nonlinear effect does not exist) intensity in order to obtain the normalized transmittance. Fig. 4 shows the normalized transmittance plot as a function of 'z'. The experimental data was fitted to Eq. (1) and is shown as solid line in Fig. 4 [12].

.....  
where,  $c = \frac{I_0 L_{eff}}{2z_0^2}$ ,  $b = 1/z_0$ ,  $z_0$  is the Rayleigh length,  $I_0$  is the intensity of the laser beam at the focus, is the NLA coefficient and  $L_{eff}$  is the effective thickness of the carbon film which is given by Eq. (2).

(2)

The OA Z-scan profile shows valley around the focal position and symmetric to either side of it, indicating the reverse saturation absorption (RSA) effect in the film. The NLA coefficient was calculated from Eq. (1) and found to be  $8.22 + 0.91 \text{ cm/W}$ .

In order to determine the NLR coefficient from Z-scan images, the contribution of NLA is to be subtracted by obtaining the closed Z-scan images at optimum aperture size such that the CA Z-scan

chùm truyền qua màng mỏng cách tiêu điểm 200 mm được biểu diễn trong H.3(a) và (b) ứng với cấu hình Z-scan OA và CA (khi  $S \sim 0.40$ ).

Cường độ truyền qua của OA được chuẩn hóa đối với cường độ truyền qua ở trường xa (vượt quá khoảng Rayleigh nơi không tồn tại hiệu ứng phi tuyến. H.4 biểu diễn đồ thị truyền qua chuẩn hóa theo 'z'. Dữ liệu thực nghiệm được khớp với Pt.(1) và được biểu diễn bằng đường liền nét trong H.4 [12].

Trong đó,  $c = \frac{I_0 L_{eff}}{2z_0^2}$ ,  $b = 1/z_0$ ,  $z_0$  là khoảng Rayleigh,  $I_0$  là cường độ của laser tại điểm hội tụ, .... là hệ số NLA và  $L_{eff}$  là độ dày hiệu dụng của màng carbon tuân theo Pt.(2)

(2)

Biên dạng Z-scan OA có thung lũng quanh vị trí hội tụ và đối xứng ở hai phía của nó, cho thấy màng mỏng có hiệu ứng hấp thụ bão hòa ngược (RSA). Hệ số NLA được tính từ Pt.(1) và có giá trị bằng  $8.22 + 0.91 \text{ cm/W}$ .

Để xác định hệ số NLR từ các ảnh Z-scan, đóng góp của hấp thụ phi tuyến được loại trừ bằng cách tìm ảnh Z-scan đóng tại kích thước khe tối ưu sao cho đường cong Z-scan CA



Fig. 2. Raman spectrum of PLD deposited carbon thin film.

Fig. 4. Normalized transmittance curve for carbon thin film for open aperture Z-scan.

Fig. 5. CA Z-scan curve for various aperture sizes;  $S \sim 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, \text{ and } 0.60$ .

curve is symmetric around the focal point and peak height and valley depth are equal. The normalized transmittance of CA Z-scan was obtained for  $S \sim 0.20$  to  $0.60$  in a step of  $0.05$ . CA transmission curves for various value of  $S$  are plotted in Fig. 5. The symmetry of CA curve was estimated by the parameter  $A/pv = A(\text{peak intensity}) - A(\text{valley intensity})$ , where  $A(\text{peak intensity})$  and  $A(\text{valley intensity})$  are defined by  $A(\text{peak intensity}) = \text{peak intensity} - 1$  and  $A(\text{valley intensity}) = 1 - \text{valley intensity}$

The plot for  $A/pv$  as a function of  $S$  is shown in Fig. 6. The

Fig. 6.  $A/pv$  for CA transmission curve as a function of  $S$ .

minimum value of  $A/pv$  in the CA transmission curve is at  $S \sim 0.40$ , corresponds to best symmetry. Hence  $S \sim 0.40$  is the optimum aperture size for the determination of the coefficient of nonlinear refraction.

Fig. 7 shows the normalized

H.2. Phổ Raman của màng mỏng carbon lắng tụ bằng phương pháp PLD.

H.4. Đường cong truyền qua chuẩn hóa đối với màng mỏng carbon trong Z-scan khe mở.

H.5. Đường cong Z-scan CA ứng với các kích thước khe khác nhau;  $S \sim 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, \text{ và } 0.60$ .

Đối xứng quanh tiêu điểm và độ cao peak và chiều sâu thung lũng bằng nhau. Chúng tôi thu được đường cong Z-scan CA truyền qua chuẩn hóa ứng với  $S \sim 0.20$  đến  $0.60$  với bước  $0.05$ . Các đường cong truyền qua CA ứng với các giá trị  $S$  khác nhau được biểu diễn trong H.5. Sự đối xứng của đường cong CA được ước lượng bằng tham số  $A/pv = A(\text{cường độ peak}) - A(\text{cường độ thung lũng})$ , trong đó  $A(\text{cường độ peak})$  và  $A(\text{cường độ thung lũng})$  được định nghĩa qua công thức  $A(\text{cường độ peak}) = \text{cường độ peak} - 1$  và  $A(\text{cường độ thung lũng}) = 1 - \text{cường độ thung lũng}$ .

Đồ thị...theo  $S$  được biểu diễn trong H.6.

H.6.....đối với đường cong CA theo  $S$ .

Giá trị cực tiểu của...trong đường cong truyền qua CA nằm tại  $S \sim 0.40$ , tương ứng với tính đối xứng tốt nhất. Vì thế,  $S \sim 0.40$  là kích thước khe tối ưu để xác định chiết suất phi tuyến.

H.7 biểu diễn đồ thị truyền qua

transmittance plot for CA Z-scan experiment for  $S \sim 0.40$  only. It shows a prefocal minima (valley) followed by a postfocal maxima (peak), suggesting positive refractive nonlinearity. The experimental data was fitted to the normalized CA transmission expression [13], given by Eq. (3).

.....  
 where,  $a = 2n_2 I_0 L_{eff} / A z_0$  and  $n_2$  is the NLR coefficient. The NLR coefficient 'n2' of the carbon film is found to be  $(1.40 + 0.10) \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{W}$ . The separation between the peak and  
 Fig. 7. Normalized transmittance curve for carbon thin film for close aperture Z-scan,  $S = 0.40$ .

valley position of normalized transmission,  $Az_p - v$  for CA Z-scan curve in the present case is 4.4 mm satisfying the Eq. (4) for the third order optical nonlinearity [13].  
 (4)

where the Rayleigh length,  $z_0$  is 2.53 mm in the present case. In Fig. 7, the peak and valley were symmetrically placed with respect to the focus, indicating the small phase distortion (i.e.  $A @ 0 < 1$ ) in the film. The phase distortion,  $A_0$ , due to the nonlinear refractive index at the focus ( $z=0$ ) is defined as [13]  
 (5)

The numerical value of  $A_0$  was calculated from the

chuẩn hóa đối với thí nghiệm Z-scan CA khi  $S \sim 0.40$ . Đường cong này có một cực tiểu trước điểm hội tụ (thung lũng) tiếp tho là cực đại sau điểm hội tụ (peak), cho thấy hiệu ứng tán sắc phi tuyến dương. Dữ liệu thực nghiệm được khớp với biểu thức truyền qua CA chuẩn hóa [13], tuân theo Pt.(3).

Trong đó,.....và  $n_2$  là hệ số NLR. Theo tính toán hệ số NLR 'n2' là  $(1.40 + 0.10) \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{W}$ . Khoảng cách giữa peak và

H.7. Đường cong truyền qua chuẩn hóa đối với màng mỏng carbon trong trường hợp Z-scan khe đóng,  $S = 0.40$ .

Vị trí thung lũng của đường cong truyền qua chuẩn hóa,.....ứng với đường cong Z-scan CA trong trường hợp này là 4.4 mm thỏa mãn Pt.(4) đối với sự phi tuyến quang học bậc ba [13]  
 (4)

Trong đó ....khoảng Rayleigh,  $z_0$  là 2.53 mm trong trường hợp này. Trong H.7, peak và thung lũng nằm đối xứng đối với tiêu điểm, cho thấy độ méo pha nhỏ (tức là ....) trong màng. Độ méo pha, ....., do chiết suất phi tuyến tại tiêu điểm ( $z=0$ ) được định nghĩa là [13]  
 (5)

Giá trị bằng số của...được tính từ tham số...của đường cong

parameter 'a' of the fitted curve, Fig. 7, and found to be  $\sim 0.22$ .

Since the phase distortion is small, it can also be estimated using following relationship [1,13]:

(6)

where,  $\Delta T_{p-v}$  is difference between the normalized peak and valley transmission. From Eq. (6),  $A_{00}$  was estimated and found to be  $\sim 0.24$  for  $S \sim 0.40$ , nearly same as that of obtained by Eq. (5). Thus  $S = 0.4$  is the optimum value confirming the validity of the present Z-scan set-up.

#### Conclusion

The NLA and NLR coefficients of PLD deposited carbon thin film was obtained in a single Z-scan setup using CCD camera in place of photodiode as a detector. The implementation of the synthetic aperture in the present setup provides the option of selecting the aperture size more precisely for the optimization of closed Z-scan curve without physically repeating the experiment for the determination of NLR coefficient. The transmittance curve for CA Z-scan measurement has a valley followed by a peak which indicates that the nonlinearity in the carbon film is due to self-focusing. The peak-valley separation is 1.7 times of the Rayleigh length of the focusing beam, confirming the presence of third order nonlinearity. The

khớp

H.7, và chúng ta tìm được giá trị  $\sim 0.22$ .

Bởi vì độ méo pha nhỏ, đại lượng này cũng có thể ước lượng bằng hệ thức sau [1, 13]:

(6)

Trong đó, ....là độ chênh lệch giữa hệ số truyền qua peak và thung lũng. Từ pt(6), chúng ta có thể ước lượng được...và suy ra được nó gần bằng  $\sim 0.24$  khi  $S \sim 0.40$ , gần như tương tự với giá trị thu được bằng Pt.(5). Vì thế,  $S = 0.4$  là giá trị tối ưu xác nhận giá trị (xác nhận tính hiệu lực) của hệ Z-scan này.

#### Kết luận

Chúng tôi đã xác định được các hệ số NLA và NLR của màng mỏng carbon lắng tụ bằng hệ thống Z-scan đơn dùng CCD camera thay thế cho photodiode đóng vai trò là detector. Việc áp dụng khe tổng hợp trong hệ hiện tại giúp chúng ta có thể chọn được kích thước khe chính xác hơn để tối ưu hóa đường cong Z-scan đóng mà không cần lặp lại thí nghiệm để xác định chiết suất phi tuyến. Đường cong truyền qua ứng với phép đo Z-scan khe đóng có peak sau thung lũng cho thấy sự phi tuyến trong màng mỏng carbon là do tự hội tụ. Khoảng cách peak-thung lũng bằng 1.7 lần khoảng Rayleigh của chùm hội tụ, xác nhận sự hiện diện của phi tuyến bậc ba. Sự phù hợp giữa giá trị lý thuyết và thực nghiệm của hệ số méo pha khẳng định giá

agreement of the theoretical and experimental value of phase distortion factor confirms the suitability of present simplified Z- scan -system using CCD in a single scan.

trị của hệ thống Z-scan đơn giản hóa này dùng CCD trong một lần quét duy nhất.