



Original Article

# Fabrication of Microchannels by Using the CO<sub>2</sub> Galvo Laser Marking Machine and Thermo-mechanical Sealing Method

Ho Anh Tam\*, Nguyen Viet Hung, Nguyen Huu Duc, Do Thi Huong Giang

*Key Laboratory for Micro-Nano Technology, VNU University of Engineering and Technology,  
144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

Received 29 May 2019

Revised 08 June 2019; Accepted 10 June 2019

**Abstract:** Microchannel in microtechnology is a channel with a hydraulic diameter below 1 mm. Microchannels are primarily used in biomedical devices and microfluidic applications. Fabrication of microchannels has always been a complex task even at the world centres of excellence. This article addresses the fabrication techniques for creating microchannels using a 40W CO<sub>2</sub> Galvo laser marking machine. It was able to control the channel dimensions by changing the power, scanning speed, and scanning time of the laser source. The results show that the created channel width increased as the laser power increased and the scanning speed decreased. Similarly, the channel depth increased as the laser power increased. Successfully tested in the laminar flow and droplet modes, the created microchannels were sealed using the thermo-mechanical method at 220°C. This is a new method for faster and cheaper production of microdevices that could be explored for sustainable development in the industry. The article concludes that with an appropriate solution, microchannels with minimal width and depth dimensions of 50 μm × 50 μm can be developed with channel roughness of 2-3 μm.

**Keywords:** Microfluidics, microchannels, CO<sub>2</sub> marking machine, Galvo, mechanical sealing method.

\* Corresponding author.

*E-mail address:* [hoanhtam@vnu.edu.vn](mailto:hoanhtam@vnu.edu.vn)

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.4913>



## Chế tạo kênh vi lưu sử dụng laze CO<sub>2</sub> đầu lắc Galvo kết hợp với phương pháp ép kênh cơ học

Hồ Anh Tâm\*, Nguyễn Việt Hùng, Nguyễn Hữu Đức, Đỗ Thị Hương Giang

*Phòng Thí nghiệm trọng điểm Micro và Nano, Trường Đại học Công Nghệ, ĐHQGHN  
144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 29 tháng 5 năm 2019

Chỉnh sửa ngày 08 tháng 6 năm 2019; Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 6 năm 2019

**Tóm tắt:** Vi kênh trong công nghệ micro là một kênh có đường kính thủy lực dưới 1 mm. Vi kênh chủ yếu được sử dụng trong các thiết bị y sinh và các ứng dụng vi lưu. Chế tạo vi kênh luôn là một nhiệm vụ phức tạp ngay cả tại các trung tâm xuất sắc trên thế giới. Bài báo này đề cập đến kỹ thuật chế tạo để tạo ra các vi kênh bằng cách sử dụng máy Laze CO<sub>2</sub> có đầu lắc Galvo công suất 40W. Phương pháp này có thể điều khiển kích thước vi kênh bằng cách thay đổi công suất, tốc độ quét, thời gian quét của nguồn laze. Kết quả cho thấy độ rộng kênh được tạo ra tăng lên khi tăng công suất nguồn laze và giảm tốc độ quét. Tương tự, độ sâu của kênh cũng được tăng cường với việc tăng cường công suất nguồn. Với một giải pháp phù hợp, có thể chế tạo được các vi kênh có kích thước chiều rộng và chiều sâu tối thiểu là 50  $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ . Trong trường hợp này, độ gồ ghề của mặt kênh dẫn là 2-3  $\mu\text{m}$ . Vi kênh được đóng gói, hoàn thiện bằng phương pháp nhiệt cơ ở 220 °C. Chúng đã được thử nghiệm thành công trong hai hiệu ứng chảy tầng và tạo giọt. Đây là một phương pháp mới để chế tạo các thiết bị vi kênh nhanh hơn và rẻ hơn. Việc xây dựng thành công cũng như tối ưu hóa quy trình chế tạo kênh dẫn vi lưu sử dụng laze và phương pháp đóng gói kênh đơn giản sẽ mở ra nhiều hướng đi cho sự phát triển công nghệ vi lưu vào thực tế.

**Keywords:** Kênh dẫn vi lưu, laze CO<sub>2</sub>, đầu lắc Galvo, ép kênh cơ học.

### 1. Mở đầu

Vi kênh trong công nghệ vi mô là một kênh có đường kính thủy lực dưới 1 mm [1]. Các vi kênh thường được sử dụng trong kiểm soát chất lỏng (như kênh dẫn vi lưu - microfluidics) và truyền nhiệt (như bộ trao đổi nhiệt - micro heat

exchangers), đặc biệt là các thiết bị y sinh và các ứng dụng vi lưu. Khái niệm về vi kênh được đề xuất lần đầu tiên bởi Tuckerman và Pease của Phòng thí nghiệm Điện tử Stanford [2]. Việc phát triển thành công ứng dụng của kênh dẫn vi lưu trong lĩnh vực y sinh là một trong những bước tiến lớn của thế giới đặc biệt là chế tạo các

\*Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: [hoanhtam@vnu.edu.vn](mailto:hoanhtam@vnu.edu.vn)

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.4913>

thiết bị xét nghiệm tại chỗ, cho phép thực hiện các xét nghiệm nhanh, kết quả chính xác với khả năng tái sử dụng. Hơn nữa thiết bị được chế tạo với kích thước rất nhỏ gọn, dễ dàng trong quá trình vận hành.

Kênh dẫn vi lưu là một cấu phần quan trọng của các thiết bị y sinh, có khả năng tích hợp nhiều hệ thống và thực hiện nhiều chức năng trên cùng một thiết bị trong một kích thước rất nhỏ như các lab-on-a-chip [3,4].

Chế tạo vi kênh luôn là một nhiệm vụ khó khăn khi sử dụng các công nghệ sản xuất thông thường [5]. Vật liệu chế tạo vi kênh trong các loại ứng dụng khác nhau có thể sử dụng cả kim loại, polyme và gốm. Vật liệu sử dụng phổ biến nhất hiện nay là các vật liệu rắn có tính trong suốt và khả năng tương thích sinh học cao như Polymethylmethacrylate (PMMA) và Polydimethylsiloxane (PDMS).

Các vi kênh có thể được chế tạo bằng các phương pháp và quy trình khác nhau, bao gồm cả các kỹ thuật chế tạo truyền thống và phi truyền thống như phay, in nổi, in 3D, quang khắc, xử lý cắt lazer và xử lý plasma [5]. Trong những năm gần đây, một số kỹ thuật lai cũng đã được phát triển để chế tạo vi kênh. Mới đây, Salimpour và đồng nghiệp đã đề xuất một phương pháp mới rất hiệu quả để thiết kế vi kênh dựa trên các cấu trúc dạng lớp (laminar) [6]. Tuy nhiên, phương pháp lazer (micromachining laser) được phát triển như một công nghệ tiềm năng để chế tạo vi kênh. Xử lý bằng lazer đã được chứng minh là hiệu quả cả về độ sạch và thời gian [5]. Nói chung, quy trình và công nghệ chế tạo tại vi kênh hiện nay đòi hỏi các công nghệ chế tạo phức tạp và chi phí lớn, được thực hiện chủ yếu trong các phòng thí nghiệm cao cấp. Các phương pháp chế tạo được sử dụng đa số trên thế giới hiện nay như phương pháp quang khắc, in 3D, xử lý bề mặt với plasma đều khá phức tạp [7,8]. Hơn thế nữa, trong giai đoạn đầu phát triển, hầu hết các kết quả thiết kế và chế tạo các hệ thống vi lưu đều không công bố trong các tài liệu mở mà được đăng ký cấp bằng sáng chế [9].

Trong nghiên cứu này, vi kênh đã được chế tạo bằng phương pháp khắc lazer sử dụng lazer

CO<sub>2</sub> kết với các phương pháp ép kênh cơ học. Vết hội tụ của lazer trên bề mặt của vật liệu có kích thước rất nhỏ cỡ micro-mét đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật cao [10]. Đây là phương pháp chế tạo đơn giản, có tính chủ động cao về công nghệ và chi phí rất thấp, có tiềm năng ứng dụng vào sản xuất.

## 2. Phương pháp thực nghiệm

### 2.1. Chuẩn bị vật liệu

Vật liệu được sử dụng trong chế tạo kênh dẫn vi lưu là thủy tinh hữu cơ PMMA (C<sub>5</sub>O<sub>2</sub>H<sub>8</sub>)<sub>n</sub> 99% (do hãng Sigma-Aldrich cung cấp) và PDMS (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OSi)<sub>n</sub> hai thành phần dạng keo làm chất nền (pre-polymer) và chất đóng rắn (cross-link) (sản phẩm của hãng Merck).

Vật liệu PMMA ban đầu ở dạng rắn được cắt nhỏ thành mẫu có kích thước 50 mm x 35 mm và được vệ sinh bề mặt bằng axêton. 22 g PDMS được chuẩn bị bằng cách trộn hai dạng keo thành phần lại với nhau theo với tỷ lệ trộn là chất nền/chất đóng rắn là 10/1 và độ dày 3 mm.

Hai thành phần của PDMS được trộn đều trong vòng 15 phút sau đó được đưa vào buồng hút chân không trong 1 giờ để loại bỏ hoàn toàn bọt khí trong quá trình khuấy trộn. Tiếp theo PDMS được đem ủ nhiệt ở 70 °C trong 1 giờ. Kết thúc quá trình, PDMS ở dạng rắn ổn định sẽ được cắt thành các mẫu có kích thước 50 mm x 35 mm, sau đó được vệ sinh bằng dung dịch axêton để đảm bảo vật liệu không nhiễm bụi bẩn.

### 2.2. Phương pháp chế tạo vi kênh sử dụng hệ lazer CO<sub>2</sub> đầu lắc Galvo

Lazer CO<sub>2</sub> sử dụng đầu lắc Galvo với hai động cơ hoạt động theo nguyên lý của ganvanô kế. Hai động cơ đều được gắn với gương mạ vàng đặt vuông góc. Khi tín hiệu từ bộ xử lý truyền vào hệ đầu quét, đầu quét sẽ nhận các tín hiệu điện và 2 động cơ trong hệ sẽ chuyển động theo tín hiệu nhận được. Hệ đầu quét Galvo có thể cho phép quét tia lazer với độ chính xác và tốc độ quét tốt [11,12]. Lazer CO<sub>2</sub> có bước sóng nằm trong vùng hồng ngoại 10.6 μm nên khi vết lazer

hội tụ trên bề mặt của vật liệu thì tương tác chủ yếu sẽ là tương tác nhiệt. Khi quét trên bề mặt vật liệu tia laze sẽ tạo ra những rãnh theo đường đi của chúng và chính những rãnh này sẽ tạo thành các kênh vi lưu sau khi được đóng kín.

Hệ laze trong thực nghiệm sử dụng ống phóng laze CO<sub>2</sub> liên tục công suất 40 W, đầu quét Galvo của Sino-Galvo cho tốc độ quét tối đa lên tới 7000 mm/s, phần mềm điều khiển Ezcad 2.7.6 cho phép điều khiển và đặt các thông số quan trọng như công suất laze (%) và tốc độ quét tia.

Sự thay đổi của các thông số như công suất nguồn, tốc độ quét, số lần quét và chế độ quét tia laze trên bề mặt của vật liệu sẽ tạo ra những thay đổi về chất lượng (độ rộng, độ sâu và độ mịn) của kênh. Các thông số này sẽ được thu thập và phân tích để sử dụng trong việc kiểm soát thông số của kênh.

### 2.3. Khảo sát thông số của vi kênh

Kính hiển vi Axio được sử dụng để kiểm tra các kích thước của vi kênh. Thang chia được tích hợp sẵn trên kính hiển vi sẽ được sử dụng để đo độ rộng bằng cách đo từ trên xuống và đo độ sâu bằng cách đo từ mặt bên sang.

Vi kênh sau chế tạo được nối với bơm trọng lực để bơm các chất lỏng có độ nhớt khác nhau nhằm kiểm tra các hiệu ứng. Bơm trọng lực có một bình đựng dung dịch được đặt cao bên trên kênh để dung dịch trong bình có thể di chuyển trong ống dẫn qua kim truyền và vào trong kênh.

### 2.4. Đóng gói kênh và kiểm tra chất lượng kênh

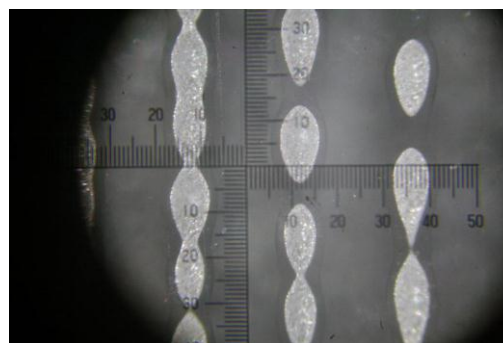
Các phương pháp đóng gói hệ vi kênh sau chế tạo được sử dụng là phương pháp ép nhiệt với mẫu kênh gồm hai lớp vật liệu PMMA và phương pháp ép kênh cơ học bằng vít trên mẫu kênh ba lớp dạng sandwich PMMA-PDMS-PMMA.

Vi kênh sau đó sẽ được tiến hành bơm dung dịch chất màu để kiểm tra tính chất và các hiệu ứng trong kênh được ghi lại bằng camera quang học.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Tác động của laze trên bề mặt vật liệu và sự hình thành vi kênh

Hình 1 minh họa ảnh chụp vết hội tụ của laze trên bề mặt vật liệu khi vận hành ở tốc độ cao và công suất thấp. Kết quả cho thấy khi tốc độ quét cao, vết của nguồn laze CO<sub>2</sub> khi hội tụ và quét trên bề mặt của vật liệu có thể là những vết laze gián đoạn (các vết ở giữa và bên phải hình 1) khi công suất laze thấp. Sự hình thành và chất lượng của vi kênh chỉ được thực hiện với các điều chỉnh thích hợp về thông số quét. Độ mịn hay độ gồ ghề của bề mặt kênh cũng bị tác động bởi các thông số của laze đầu ra. Thực tế, như sẽ chỉ ra cụ thể trong các phần sau, các vết hội tụ được kết nối liên tục và vi kênh bắt đầu được hình thành (vết bên trái hình 1) ở tốc độ quét thấp hoặc/và công suất cao (xem hình 3).

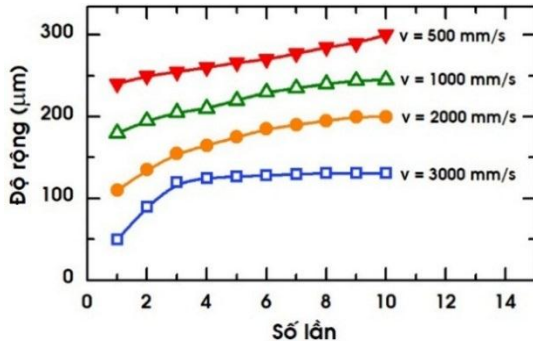


Hình 1. Ảnh chụp vết hội tụ gián đoạn của laze trên bề mặt vật liệu khi quét ở tốc độ cao và công suất thấp.

### 3.2. Độ rộng vi kênh

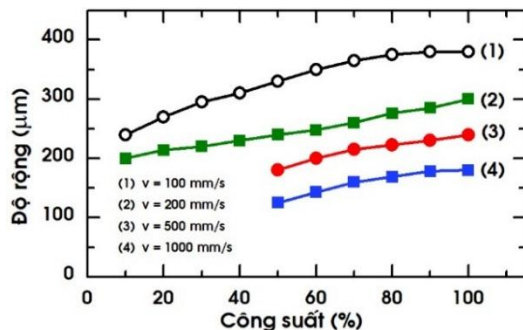
Đặt chế độ làm việc với công suất laze cố định ở 100% cho tất cả các lần quét (từ 1 đến 10 lần), kết quả về sự hình thành của độ rộng vi kênh được minh họa trên hình 2. Từ đồ thị này có thể nhận xét như sau: độ rộng vi kênh cơ bản được hình thành từ lần quét đầu tiên và tăng nhanh ở một vài lần quét tiếp theo. Độ rộng kênh dần đạt đến một giá trị ngưỡng (trong khoảng 100 – 300 μm) trên khi tiếp tục tăng số lần quét. Điều này có thể giải thích là do kích thước của vết laze hội tụ không đổi diện tích phần PMMA chịu tác động của chùm laze là có giới hạn, nên

khi kênh đạt đến một độ rộng nào đó, chùm laze sẽ không còn tác động tới các lớp PMMA theo chiều mở rộng bề ngang của kênh nữa. Thêm vào đó, còn quan sát thấy sự giảm mạnh của kích thước vi kênh khi tăng tốc độ quét. Các hiệu ứng này cũng xảy ra cũng tương tự khi thực hiện trên vật liệu PDMS.



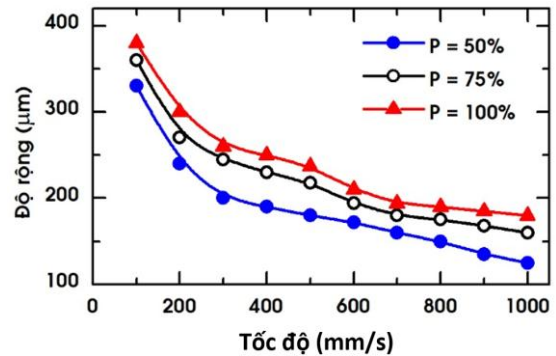
Hình 2. Sự phụ thuộc của độ rộng vi kênh vào số lần và tốc độ quét.

Lần lượt thay đổi công suất laze từ 10% tới 100% với bước biến đổi 10%, độ rộng của kênh gần như tăng tuyến tính với công suất của laze (hình 3). Điều này rất có ý nghĩa vì ta có thể dễ dàng xác định độ rộng của kênh theo ý đồ thiết kế bằng cách thay đổi công suất của laze quét. Như đã nêu ra ở trên, ở dải tốc độ quét cao và công suất laze thấp, chỉ có các vết laze gián đoạn được tạo ra. Thực tế, vi kênh không được hình thành ở chế độ quét với công suất < 50% và tốc độ 500 và 1000 mm/s nên không có sự ghi nhận kết quả độ rộng kênh trong các chế độ làm việc này (xem hình 3). Kết quả khảo sát cũng cho thấy ở tốc độ quét 200 mm/s, độ tuyến tính thu được là tốt nhất.



Hình 3. Sự phụ thuộc của độ rộng kênh vào công suất laze.

Sự phụ thuộc của độ rộng vi kênh vào tốc độ quét được trình bày trên hình 4. Kết quả về sự giảm của độ rộng kênh khi tăng tốc độ quét tia đã chỉ ra ở hình 2 và 3 được biểu diễn trực tiếp ở đây. Nhận thấy rằng, độ rộng kênh phụ thuộc mạnh vào tốc độ quét < 300 mm/s. Ở trên tốc độ quét này, sự thay đổi xảy ra rất chậm.



Hình 4. Sự phụ thuộc của độ rộng kênh vào tốc độ quét.

Các kết quả khảo sát độ rộng vi kênh phụ thuộc vào số lần quét, công suất và tốc độ đều có độ lặp lại và tin cậy cao trong điều kiện làm việc ổn định là nhiệt độ từ 25 – 30 °C, độ ẩm dưới 40%. Tuy nhiên từ các khảo sát trên, ta có thể rút ra kết luận rằng khi chế tạo kênh vi lưu, cách không chế kích thước kênh tối ưu nhất là thay đổi theo công suất phát laze vì phương pháp này thu được độ tuyến tính cao nhất.

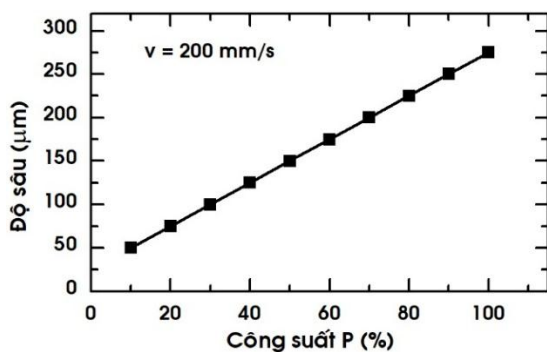


Hình 5. Khảo sát chiều sâu kênh dẫn.

### 3.3. Độ sâu vi kênh

Ngoài độ rộng, chiều sâu của kênh được khảo sát thông qua mặt cắt nhờ vào tính chất trong suốt của vật liệu. Trong trường hợp này, chiều sâu cũng được đo bằng hệ camera tự tạo,

trong đó có tích hợp các thang đo kích thước như hình 5 với độ chia nhỏ nhất là 20  $\mu\text{m}$ . Độ sâu của kênh được xác định là vị trí từ điểm sâu nhất của vết lazer đến bề mặt vật liệu. Tuy nhiên, đối với các phương pháp chế tạo kênh khác nhau thì hình dạng của kênh chế tạo bằng những phương pháp đó cũng sẽ có sự khác nhau về hình thái học. Phương pháp quét lazer cho ra những kênh có độ rộng lớn nhất ở bề mặt vật liệu và nhỏ dần khi độ sâu tăng dần lên. Điều này có thể được giải thích là do phân bố công suất theo dạng chùm Gauss của tia lazer, với đặc trưng là mật độ công suất lazer tập trung cao xung quanh tâm của vết lazer. Như đã phân tích ở trên, dưới đây ta chỉ khảo sát sự phụ thuộc của chiều sâu kênh vào công suất của lazer ở tốc độ 200 mm/s vì có thể đạt được độ tuyến tính cao nhất. Quả thật vậy, hình 6 minh họa sự phụ thuộc của độ sâu của kênh vào công suất lazer và sự phụ thuộc này hoàn toàn tuyến tính. Với chế độ quét 200 mm/s và công suất 100%, độ sâu của kênh có thể đạt tới 275  $\mu\text{m}$ .



Hình 6. Sự phụ thuộc của chiều sâu kênh vào công suất lazer.

Như vậy, các kích thước của kênh dẫn thay đổi tuyến tính với công suất của lazer, là một kết luận quan trọng giúp cho việc chế tạo các hệ thống vi lưu bằng lazer trở nên tiện lợi và hiệu quả hơn.

### 3.4. Quy trình chế tạo kênh dẫn theo kích thước yêu cầu

Trong thực tế, các kích thước chiều rộng và chiều sâu của kênh cần được chế tạo chính xác để đạt được mục đích sử dụng theo thiết kế ban đầu. Với các khảo sát ở trên, có thể nhận thấy

rằng phương pháp lazer phù hợp để chế tạo các kênh dẫn có kích thước trong khoảng vài trăm  $\mu\text{m}$ . Do đặc điểm hình thái học của kênh được chế tạo bằng phương pháp lazer là độ rộng nhỏ dần khi độ sâu tăng lên, nên độ sâu của kênh chỉ nên được khống chế ở trong khoảng từ 100 - 200  $\mu\text{m}$  để đảm bảo loại bỏ được tác động của hiện tượng mao dẫn tới việc khống chế dòng chảy chất lỏng trong kênh.

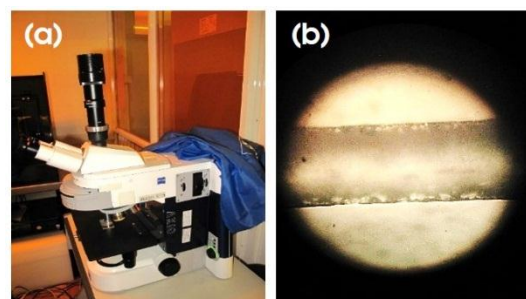
Trước tiên, ta xác định công suất lazer cần đặt để đạt được độ sâu kênh dẫn mong muốn (tại tốc độ 200mm/s) dựa vào đồ thị thực nghiệm hình 6.

Tiếp đến, với công suất lazer đã biết, ta sẽ xác định được độ rộng của kênh với tia lazer đơn theo đồ thị thực nghiệm hình 3. Độ rộng của kênh theo thiết kế sẽ đạt được bằng cách quét song song các tia lazer đơn cạnh nhau với tỉ lệ chồng chập của các vết tối thiểu là 50%. Việc quét tia này được hỗ trợ bởi tính năng Hatch trong phần mềm điều khiển. Do đặc tính chùm Gauss đã nêu ở trên, ta sẽ thu được kênh có chiều rộng mong muốn mà không làm tác động thay đổi chiều sâu của kênh.

Như vậy, với quy trình trên, ta sẽ thu được các kênh dẫn có kích thước mong muốn, với đặc thù hình thái học là xuất hiện các rãnh song song trong lòng kênh dẫn.

### 3.5. Độ gồ ghề bề mặt kênh dẫn

Để quan sát được tính chất bề mặt trong kênh dẫn, kính hiển vi Axio của hãng Zeiss đã được sử dụng với độ phóng đại lên tới 100 $\times$ . Phương pháp này rất phù hợp với cấu trúc vi kênh được thiết kế với cấu hình zikzak.



Hình 7. Kính hiển vi Axio (a) và hình ảnh chụp bề mặt kênh dẫn (b).

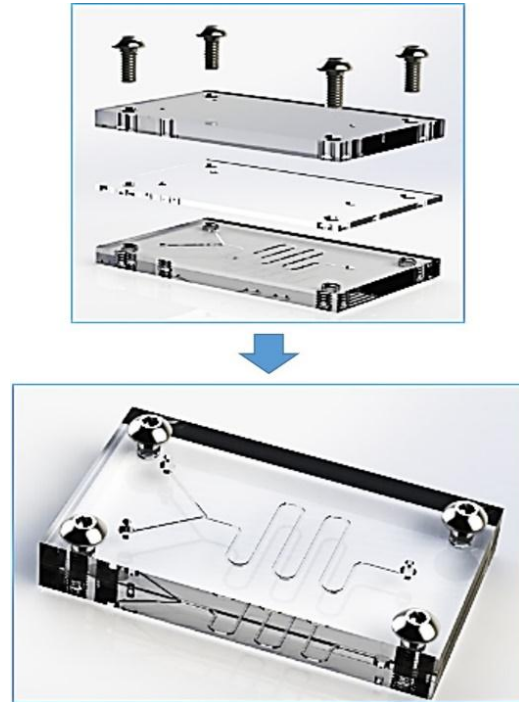
Kính hiển vi Axio và hình ảnh bề mặt kênh dẫn được trình bày trên hình 7. Hình ảnh quan sát được cho thấy kênh dẫn có tính chất bề mặt mịn, biên của kênh dẫn phẳng đều. Độ gồ ghề của vi kênh là 2-3  $\mu\text{m}$ , đảm bảo chất lỏng lưu thông trong kênh ở chế độ tối ưu nhất. Như vậy, phương pháp khắc laze cho cấu trúc kênh có dạng võng đều, sâu nhất ở giữa và cao dần về hai biên của kênh (xem thêm hình 5). Nhìn theo chiều ngang từ trái sang phải có thể thấy lòng kênh khá đều đặn, không xuất hiện các gờ của vật liệu.

### 3.6. Phương pháp đóng kín kênh dẫn bằng ép cơ học

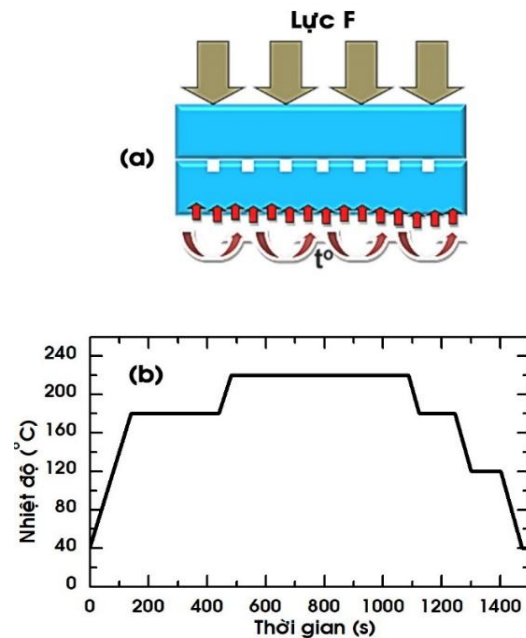
Hình ảnh 3D kết cấu của vi kênh đóng gói bằng phương pháp ép kênh cơ học bằng vít được đưa ra trên hình 8 theo cấu hình sandwich PMMA-PDMS-PMMA. Phương pháp và giản đồ nhiệt của quá trình ép nhiệt 2 lớp PMMA được chỉ ra trên hình 9. Nhiệt độ hóa dẻo của PMMA trong khoảng 240-250  $^{\circ}\text{C}$ , nhưng khi đặt nhiệt độ lên khoảng 200-220  $^{\circ}\text{C}$  kết hợp với lực ép thì các phân tử ở bên mặt tiếp xúc của hai lớp vật liệu đã có thể bắt đầu khuếch tán dần vào nhau và tạo sự kết dính giữa hai lớp vật liệu từ đó đóng kín kênh sau chế tạo.

Cả hai phương pháp ép kênh sử dụng trong nghiên cứu này đều là những phương pháp đơn giản và giá thành thấp. Phương pháp ép kênh bằng vít cơ học với kênh khắc trên PDMS và PMMA cho chất lượng kênh tốt nhất, kênh đóng kín hoàn toàn và không bị rò nước. Ép nhiệt là phương pháp dựa trên giản đồ nhiệt của PMMA để tạo sự khuếch tán giữa hai lớp vật liệu PMMA tiếp xúc với nhau.

Như vậy có thể thấy rằng, thay vì sử dụng phương pháp xử lý bề mặt bằng plasma vốn chỉ sử dụng được trong việc đóng kín kênh dẫn trên nền PDMS lên để thủy tinh hoặc silic, các phương pháp ép kênh cơ học cho phép đóng kín kênh dẫn với nhiều sự lựa chọn vật liệu hơn với hiệu quả tương đương.



Hình 8. Hình ảnh 3D kết cấu của vi kênh đóng gói bằng phương pháp ép kênh cơ học bằng vít.



Hình 9. Hình minh họa đóng gói kênh bằng phương pháp ép nhiệt (a) và giản đồ nhiệt (b).

### 3.7. Quan sát hiệu ứng chảy trong kênh

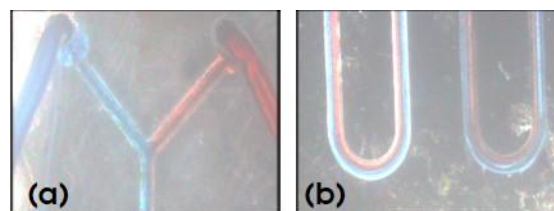
Với tính chất trong suốt của hai vật liệu chế tạo vi kênh nên các hiệu ứng xảy trong kênh cũng đã có thể dễ dàng quan sát ra bằng mắt thường. Trong nghiên cứu này, một hệ camera quang học còn được sử dụng để ghi lại các biểu hiện của chất lỏng hoạt động trong kênh. Mỗi phương pháp ép khác nhau sẽ cho ra một sản phẩm và dung dịch sẽ được bơm vào trong từng sản phẩm để khảo sát và kiểm tra đặc tính của chúng. Dưới đây, hai hiệu ứng chảy tầng và tạo giọt sẽ được quan sát.



Hình 10. Hệ camera quang học quan sát các hiệu ứng xảy ra trong kênh.

#### - Hiệu ứng chảy tầng

Hiệu ứng chảy tầng được thử nghiệm với vi kênh có độ rộng 200  $\mu\text{m}$  để đảm bảo bơm trọng lực đủ áp lực bơm dung dịch vào trong kênh. Hình ảnh chảy tầng của hai dung dịch màu khác nhau có thể thấy rõ trên hình 11. Nhận thấy rằng, hiệu ứng chảy tầng xảy ra tốt, dung dịch chảy trong kênh không bị tắc, dòng phân bố liên tục và tốc độ đều. Kênh trộn khá hiệu quả, cho kết quả trộn đều cả hai dung dịch ở cuối kênh. Hiệu ứng của dung dịch trong kênh xảy ra rõ ràng, kênh chảy đều không bị rò và không bị hiện tượng bọt khí. Có thể điều chỉnh để dung dịch chảy ở tốc độ cao, một phần do áp suất của bơm cao, một phần do kênh mịn giúp cho dung dịch có thể lưu thông trong kênh dễ dàng.

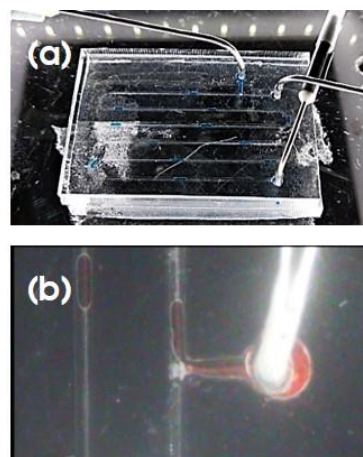


Hình 11. Hiệu ứng chảy tầng ở đầu kênh (a) và giữa kênh (b) được ghi lại bằng camera quang học.

#### - Hiệu ứng tạo giọt (droplet)

Để thực hiện hiệu ứng tạo giọt, hai ống dẫn được sử dụng đồng thời, một ống truyền dung dịch màu và một ống còn lại truyền dung dịch dầu. Trong trường hợp này, hai pha dung dịch khác nhau được bơm cùng lúc vào trong vi kênh ở hai đầu vào. Hai pha dung dịch này phải được thiết kế vuông góc với nhau. Bằng cách kiểm soát lưu lượng của bơm, có thể điều chỉnh được kích thước của giọt tạo ra.

Kết quả thu được cho giọt màu như trên hình 12. Có thể thấy rằng hiệu ứng xảy ra rõ ràng, giọt tạo ra nhỏ và đều, thể tích mỗi giọt có thể điều chỉnh từ 1÷10  $\mu\text{l}$ , có thể ứng dụng vào hệ đo vi từ kế ứng dụng trong sinh học.



Hình 12. Hiệu ứng tạo giọt trong kênh với chất màu được ghi lại bằng camera quang học trên toàn bộ kênh dẫn (a) và hình ảnh giọt màu được tạo ra (b).



#### 4. Kết luận

Các vi kênh có độ rộng và độ sâu trong khoảng 50 - 500  $\mu\text{m}$  đã được chế tạo bằng phương pháp sử dụng laze CO<sub>2</sub> với đầu lặc Galvo. Phương pháp này cho thấy có khả năng xử lý bề mặt hiệu quả và chính xác trên cả hai loại vật liệu rất phổ biến hiện nay trong chế tạo vi kênh là PMMA và PDMS. Vết laze hội tụ trên bề mặt vật liệu có độ đồng đều cao và độ gồ ghề chỉ khoảng 2-3  $\mu\text{m}$ . Đầu lặc Galvo điều khiển tia laze quét với tốc độ lớn và độ chính xác rất cao nên thời gian chế tạo được rút ngắn đáng kể. Các phương pháp ép kênh cơ học đã thực hiện để đóng kín kênh hoàn toàn cho phép chất lỏng lưu thông liên tục trong kênh mà không bị tắc nghẽn hay rò rỉ. Đây là những kết quả phát triển có tính đơn giản nhưng độc đáo, cho phép mở ra cơ hội khai thác công nghệ laze vào trong chế tạo hệ thống vi kênh ứng dụng trong y sinh.

#### Lời cảm ơn

Công trình nghiên cứu này thuộc nhiệm vụ thường xuyên 2018 của PTN Trọng điểm Công nghệ micrô và nanô, trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, mã số TXTCN. 18. 06.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] G. Satish Kandlikar, Heat transfer and fluid flow in minichannels and microchannels. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier B.V. 2006, pp. 450. ISBN 978-0-08-044527-4.
- [2] D.B. Tuckerman, R.F.W. Pease, High-performance heat sinking for VLSI. IEEE Electron device letters 2 (5) (1981) 126-129. <https://dx.doi.org/10.1109/EDL.1981.25367>
- [3] M.R. Salimpour, A.T. Al-Sammarraie, A. Forouzandeh and M. Farzaneh, Constructal design of circular multilayer microchannel heat sinks. Journal of Thermal Science and Engineering Applications 11 (1) (2019) 011001. <https://dx.doi.org/10.1115/1.4041196>
- [4] Petra S. Dittrich, Lab-on-a-chip: microfluidics in drug discovery Nature 442 (2016) 210-224.
- [5] D. Mark, Microfluidic Lab-on-a-Chip Platforms: Requirements, Characteristics and Applications, NAPSA 24 (2010) 305.
- [6] Shashi Prakash and Subrata Kumar, Fabrication of microchannels: A review, Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture 229 (8) (2015) 1273-1288.
- [7] George M. Whitesides, The origins and the future of microfluidics, Nature 442 (2006) 368-384.
- [8] Chee M.B. Ho, 3D printed microfluidics for biological applications, LabChip 15 (2015) 3627.
- [9] B. Ekstrom, G. Jacobsson, O. Ohman, et al. Microfluidic structure and process for its manufacturing. Patent WO 91/16966, 1990
- [10] Dong Qin, Soft lithography for micro and nano patterning, NatureProtocols 5 (2010) 491-510.
- [11] Shashi Prakash, Experimental and theoretical analysis of defocused CO<sub>2</sub> laze microchanneling on PMMA for enhanced surface finish, JMM 27 (2016) 250.
- [12] Beat Jaeggi, Time-optimized laze micro machining by using a new high dynamic and high precision galvo scanner, Proceedings (2016) 9735.