

DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.130

CHẾ TẠO THIẾT BỊ VI LÔNG TRÊN NỀN GIẤY BẰNG MÁY IN LASER

Ngô Bảo Chân¹, Dương Thị Hồng Nhung², Huỳnh Huỳnh Anh Thi³ và Đỗ Châu Minh Vĩnh Thọ^{3*}

¹Công ty cổ phần Chứng nhận và Giám định VinaCert

²Trường trung học phổ thông Kế Sách

³Trường Đại học Y Dược Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Đỗ Châu Minh Vĩnh Thọ (email: dcmvtho@ctump.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 03/11/2022

Ngày nhận bài sửa: 24/01/2023

Ngày duyệt đăng: 06/02/2023

Title:

Fabrication of microfluidic paper-based analytical by the laser printer

Từ khóa:

Máy in laser, phân tích điểm quan tâm, thiết bị vi lông trên nền giấy

Keywords:

Laser printer Microfluidic paper-based analytical devices, point-of-care

ABSTRACT

Microfluidic paper-based analytical devices (μ PAD) have provided a breakthrough in rapid sample and field analysis. The first time, the CF279A toner ink was used to fabricate μ PAD by laser-printer to expand the scope as well as provided evidence into research on the fabrication of laser printed μ PAD. This paper used 102 filter paper, after printing on paper with laser printing, the mold was heated in an oven at a temperature of 150°C to form hydrophilic and hydrophobic channels. The fabricated μ PAD devices have hydrophobic and hydrophilic channel widths of 1.0 mm and 0.4 mm or more, respectively. Compare with some research using other methods such as stamping. Screen printing gives a higher resolution.

TÓM TẮT

Thiết bị vi lông trên nền giấy (μ PAD) mang lại bước đột phá trong phân tích mẫu nhanh và phân tích tại hiện trường. Đây là lần đầu tiên có nghiên cứu sử dụng loại mực CF279A trong chế tạo thiết bị μ PAD, điều này giúp mở rộng phạm vi cũng như cung cấp các bằng chứng vào số lượng ít các nghiên cứu chế tạo thiết bị μ PAD bằng máy in laser. Giấy lọc 102 được sử dụng, sau khi in bằng máy in laser, khuôn sẽ được gia nhiệt ở tủ sấy với nhiệt độ 150°C để hình thành các vùng ưa nước và kỵ nước. Thiết bị μ PAD chế tạo có độ rộng kênh kỵ nước và ưa nước lần lượt là 1,0 mm và 0,4 mm trở lên. So với một số nghiên cứu bằng các phương pháp khác như in đóng dấu, in bàn thủ công cho độ phân giải cao hơn.

1. GIỚI THIỆU

Thập kỷ vừa qua là sự bùng nổ của các thiết bị kiểm tra điểm quan tâm (point-of-care) được làm từ giấy. Mặc dù các thiết bị tương tự đã được biết từ rất sớm như giấy đo pH (có từ những năm 1800s), tuy nhiên ứng dụng phân tích dựa trên nền giấy thực sự bùng nổ khi Whitesides và cộng sự giới thiệu một nghiên cứu định lượng nhiều chỉ tiêu phân tích trên nền giấy và có thể phân tích ngay tại hiện trường vào năm 2007 (Yamada et al., 2017). Thuật ngữ “ μ PAD”- microfluidic paperbased analytical devices cũng được

giới thiệu đầu tiên bởi nhóm Whitesides dùng để chỉ các mô hình giấy mà các chất gặp nhau phản ứng trên giấy thông qua các sợi mao quản với một lượng mẫu nhỏ mà không phải dùng bơm (Martinez et al., 2007). Điều này đã gây tác động đáng kể đến ngành phân tích hóa học bởi chỉ cần một lượng nhỏ mẫu và thuốc thử nhưng cho khả năng phân tích, giới hạn phát hiện, độ chọn lọc cao mà giá thành rẻ và nhanh chóng (Busa et al., 2016). Bằng chứng là từ tháng 10 năm 2012 đến tháng 10 năm 2014, có hơn 1000 bài

báo được đăng về lĩnh vực này, điều này cho thấy sức hút vô cùng lớn từ μ PAD (David et al., 2014).

Thử nghiệm trên giấy sớm nhất được thực hiện thủ công bằng cách cắt và tẩm các tác nhân hóa học để thực hiện phản ứng lên màu. Đây là một phương pháp dễ thực hiện, tuy nhiên có khuyết điểm là độ lặp lại thấp, không thể sản xuất quy mô công nghiệp. Do đó, nhiều nghiên cứu chuyên sâu và phức tạp hơn đã được nghiên cứu như quang khắc (Photolithography), in sáp (Wax Printing), in phun (Inkjet printing), in nổi (Flexographic printing), in stamping, sử dụng bản in thủ công, vẽ bằng bút,... Hiện nay, các thiết bị chế tạo thiết bị μ PAD 3 chiều cũng đã và đang được tập trung nghiên cứu do có thể thêm nhiều chức năng cho thiết bị mà không cần phải thêm kích thước. Các phương pháp trên vẫn còn tồn tại một vài nhược điểm, điển hình như phương pháp dựa trên quang khắc sử dụng các dung môi hữu cơ, chất cản quang đắt tiền và trang thiết bị hiện đại. phương pháp in bằng máy in phun thì cần thay đổi mực in nhằm tăng tính kỵ nước của mực, có thể làm hỏng thiết bị in. In sáp là phương pháp phổ biến, nhưng máy in sáp hiện nay trên thị trường có giá thành rất cao, các phương pháp như in thủ công hoặc vẽ bằng bút không có tính tự động cao, khó trong việc sản xuất với số lượng lớn.

Một phương pháp chế tạo khác là sử dụng máy in laser đã ra đời. Nghiên cứu đầu tiên được báo cáo là của Rajesh Ghosh et al. (2019). Nhóm nghiên cứu đã sử dụng mực in có sẵn trên thị trường (CE278A) điều này giúp tuổi thọ của máy in được tăng lên. Kết quả cho thấy sử dụng máy in laser hoàn toàn đáp ứng được việc chế tạo thiết bị μ PAD. Tuy nhiên, đến thời điểm hiện tại vẫn chưa có nhiều nghiên cứu về chế tạo thiết bị μ PAD bằng máy in laser. Do đó, bài báo quyết định dùng phương pháp in laser cho việc chế tạo thiết bị, nhưng thay vì sử dụng mực CE278A, bài báo lựa chọn mực CF279A cho nghiên cứu nhằm mục tiêu đa dạng hóa nguồn mực để chế tạo thiết bị μ PAD, đồng thời cũng góp phần củng cố bằng chứng về các thành công khi chế tạo thiết bị μ PAD bằng máy in laser.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất và thiết bị

Mực HP CF279A; máy in laser HP Pro MFP M26A (T0L49A); giấy lọc Whatman số 40, 41,42,589/3, No.3, No.4, Double A4; giấy lọc 102. Máy khuấy từ gia nhiệt ARE (VELP Scientifica); tủ sấy Memmert (UN110, để bảo đảm tính chính xác và độ lặp lại thí nghiệm, thiết bị đã được hiệu chuẩn

bởi công ty TNHH Đảm bảo Chất lượng Việt Nam (AoV)); kính hiển vi quang học Optikal lab 20.

Các thiết bị μ PAD được thiết kế trên phần mềm Microsoft Word 2019. 1.2.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Cách chế tạo thiết bị μ PADs

Mục tiêu của nghiên cứu là chế tạo thiết bị μ PAD bằng cách sử dụng máy in laser. Mực in thương mại từ máy in laser được dùng để tạo cấu trúc kỵ nước. Thiết bị được chế tạo với 3 bước:

Bước 1: Thiết kế khuôn trên máy tính;

Bước 2: Sử dụng máy in laser để in khuôn;

Bước 3: Gia nhiệt giấy vừa in để làm chảy mực in vào trong cấu trúc sợi của nền giấy nhằm tạo ra hàng rào kỵ nước.

Bài báo sử dụng mực HP CF279A với thành phần có chứa 43-53% styrene acrylate copolymer, 1-5% ethylene propylene copolymer, 0.1-2% Ester wax



1. Thiết kế khuôn 2. In bằng máy in laser 3. Gia nhiệt

Hình 1. Quy trình chế tạo thiết bị bằng máy in laser

2.2.2. Điều kiện thử nghiệm ban đầu

Các giấy lọc được in khuôn với kích cỡ giống nhau. Sau khi in, thiết bị μ PAD được để trong tủ sấy và gia nhiệt đến 150°C trong 20 phút; để nguội, thêm 2 μ L thuốc nhuộm vào kênh ưa nước, kiểm tra độ rò rỉ của thuốc nhuộm. Lý do lựa chọn nhiệt độ 150°C là vì theo giấy chứng nhận phân tích (CoA) của mực HP CF279A, mực có nhiệt độ nóng chảy tại 140°C.

2.2.3. Phương pháp đánh giá

Để đánh giá mức độ thành công cũng như độ phân giải (độ rộng kênh kỵ nước và ưa nước) của thiết bị μ PAD, thuốc nhuộm được thêm, sau đó scan bằng máy in laser HP Pro MFP M26A và đánh giá thông qua sự di chuyển của phẩm màu trên thiết bị.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tối ưu hóa loại giấy

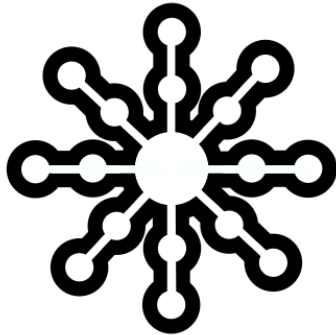
So với các phương pháp chế tạo thiết bị μ PADs khác, việc sử dụng máy in laser không thích hợp cho tất cả các nền mẫu giấy bởi lớp mực phủ lên không

đủ nhiều và độ thấm vào cấu trúc bên trong của sợi giấy là không cao. Do đó, việc tìm ra loại giấy tối ưu là điều quan trọng. Nghiên cứu tiến hành thử nghiệm trên 7 loại giấy gồm: Whatman số 40; 42; 589/3; No.3; No.4; giấy lọc 102 và giấy double A4 có độ dày khác nhau như bảng 1.

Bảng 1: Thông số các loại giấy sử dụng

Loại giấy	Độ dày (µm)	Kích thước lỗ (µm)
Giấy double A4	101	-
Whatman số 589/3	160	< 2
Giấy lọc loại 102	~180	-
Whatman số 42	200	2,5
Whatman số 4	205	20-25
Whatman số 40	210	8
Whatman số 3	390	6

Các thông số được tham khảo tại địa chỉ: <https://www.sigmaldrich.com>



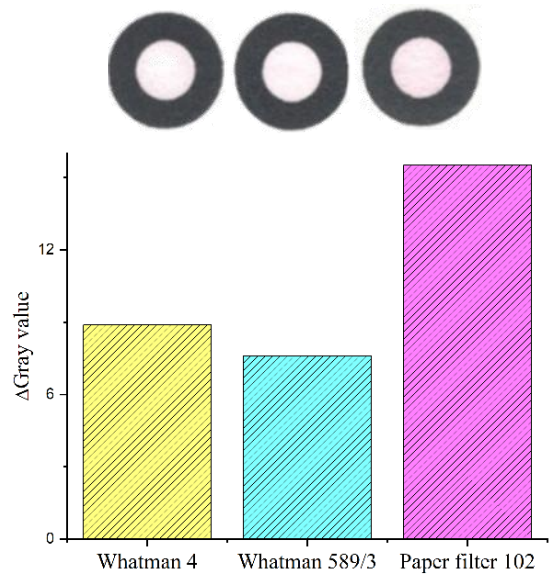
Hình 2. Khuôn thiết bị để tối ưu hóa loại giấy

Kết quả thu được cho thấy các loại giấy lọc Whatman No.42, No.40 và No.3 có hiện tượng rò rỉ nước ra khỏi hàng rào kỵ nước, chứng tỏ là lớp hàng rào kỵ nước chưa được hình thành hoàn toàn. Nguyên nhân có thể là do độ dày của lớp hàng rào kỵ nước, đối với các loại giấy lọc có độ dày trên 200 µm, quá trình hình thành hàng rào kỵ nước khó khăn. Riêng đối với giấy lọc số 4, dù có độ dày trên 200 µm nhưng vẫn tạo hàng rào kỵ nước tốt, có thể giải thích là do kích thước lỗ lớn, các lớp mực để

dàng thấm qua lớp giấy in. Đối với giấy Double A4, nước khó thấm.

Giấy lọc Whatman 589/3, số 4 và giấy lọc 102 cho kết quả tốt. Tuy nhiên, giấy lọc Whatman số 4 cho hiệu ứng “coffee ring” rõ ràng. Hiệu ứng này làm cho màu sắc không đồng đều, gây khó khăn trong quá trình phân tích sau khi lên màu. Giấy lọc Whatman 589/3 là giấy lọc ít hiệu ứng “coffee ring”.





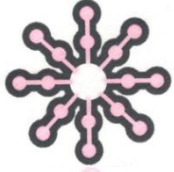


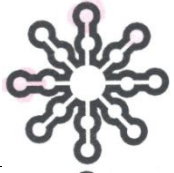


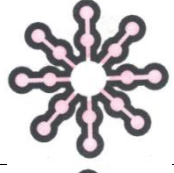


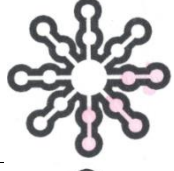


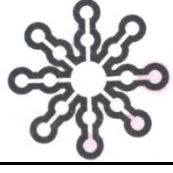
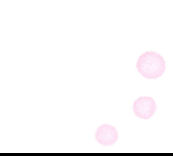
Tuy nhiên, khi khảo sát lên màu sơ bộ để phân tích nitrite bằng cách sử dụng nguyên tắc của phản ứng Griess, thiết bị được tẩm thuốc thử bao gồm (citric acid, N-(1-Naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride, sulfanilic acid) cho phản ứng với nồng độ nitrite là 10 mg/L. Hình ảnh được scan bằng máy in Ricoh Aficio MP 4000 và được xử lý bằng phần mềm Image J để tính giá trị ΔGray, kết quả cho thấy giấy lọc 102 cho màu sắc đậm hơn. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo, giấy lọc 102 được sử dụng để chế tạo thiết bị µPAD.



Hình 3. Sự khác biệt cường độ màu sắc giữa các giấy lọc khác nhau

Kết quả thu được như Bảng 2.

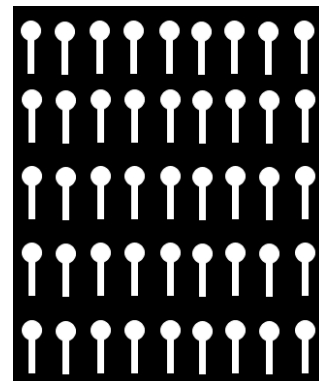
Bảng 2. Hiện trạng thiết bị μ PAD khi thêm thuốc nhuộm

Loại giấy lọc	Không viên	Mặt trước khuôn	Mặt sau khuôn
Double A4	Mực không thấm	-	-
Whatman 589/3			
Giấy lọc 102			
Whatman 42			
Whatman 4			
Whatman 40			
Whatman 3			

3.2. Tối ưu hóa thời gian

Để tối ưu hóa thời gian chế tạo thiết bị μ PADs, mẫu được in theo khuôn trên giấy lọc 102; sau đó gia nhiệt ở nhiệt độ 150°C bằng máy khuấy từ gia nhiệt ARE của hãng VELP Scientifica trong khoảng thời gian 5-10-15-20 phút.






Để kiểm tra mức độ hình thành rào cản kỵ nước, thuốc nhuộm được thêm lên thiết bị μ PADs vừa chế tạo.

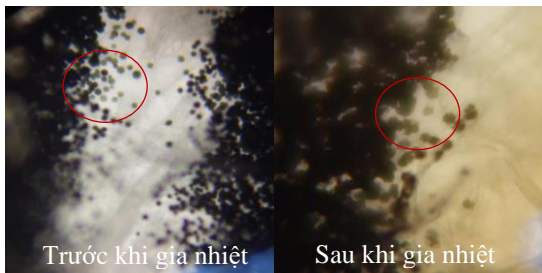


Hình 4. Khuôn dùng để tối ưu hóa thời gian gia nhiệt

Kết quả thu được như bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tối ưu hóa thời gian

Không gia nhiệt	
Gia nhiệt 150°C trong 5 phút	
Gia nhiệt 150°C trong 10 phút	
Gia nhiệt 150°C trong 15 phút	
Gia nhiệt 150°C trong 20 phút	



Hình 5. Hình ảnh các hạt nhựa dưới kính hiển vi điện tử





Mặc dù quá trình kỵ nước hình thành tốt, nhưng tỷ lệ thành công chỉ khoảng 55% (n = 31), các thiết bị nằm ngoài bia vẫn chưa hình thành được lớp rào cản kỵ nước, các phẩm nhuộm chảy tràn ra bên ngoài. Nguyên nhân là do máy khuấy từ gia nhiệt hoạt động dựa vào sự gia nhiệt của điện trở dẫn đến nhiệt độ không phân bố đồng đều giữa các vị trí khác nhau. Càng xa tâm, nhiệt độ sẽ càng giảm.



Hình 6. Thiết bị μPADs được chế tạo ở nhiệt độ 150°C trong 15 phút bằng máy khuấy từ

Để khắc phục hiện tượng này, bài báo tiến hành gia nhiệt trên thiết bị tủ sấy Memmert ở nhiệt độ 150°C trong 10-15-20-25 phút và tiến hành tương tự như đối với máy khuấy từ gia nhiệt (Bảng 4).

Bảng 4. Kết quả khảo sát thời gian gia nhiệt trong tủ sấy

Gia nhiệt 150°C trong 10 phút	
Gia nhiệt 150°C trong 15 phút	
Gia nhiệt 150°C trong 20 phút	
Gia nhiệt 150°C trong 25 phút	



Hình 7. Thiết bị μPADs được chế tạo ở nhiệt độ 150°C trong 20 phút trong tủ sấy

Kết quả trên tủ sấy ta thấy rằng gia nhiệt trên tủ sấy cho kết quả tốt hơn tỷ lệ thành công 100% đối với mọi vị trí bởi tủ sấy có độ đồng đều nhiệt cao (theo kết quả hiệu chuẩn thiết bị được thực hiện bởi công ty TNHH Bảo đảm chất lượng Việt Nam (AoV), ở nhiệt độ 130°C, có độ đồng đều nhiệt độ là 1,29°C). Tương tự như đối với thời gian trên máy khuấy từ gia nhiệt thời gian trên 15 phút, quá trình hình thành rào cản kỵ nước cho kết quả tốt. Để đảm bảo bài báo lựa chọn thời gian 20 phút ở 150°C trong tủ sấy là thời gian và nhiệt độ tối ưu cho các thí nghiệm tiếp theo.

Tóm lại, quá trình chế tạo thiết bị μPADs được chế tạo tối ưu như sau: Khuôn được in vào giấy lọc 102, gia nhiệt ở nhiệt độ 150°C trong 20 phút trong tủ sấy

3.3. Tối ưu hóa độ rộng kỵ nước

Hai thông số quan trọng đánh giá tính năng của một phương pháp chế tạo μPADs là độ rộng của

vùng kỵ nước và độ rộng của vùng ưa nước. Một phương pháp cho các thông số động rộng vùng kỵ nước và vùng ưa nước càng thấp sẽ giúp chế tạo thiết bị μ PADs càng nhỏ và giảm thiểu được chi phí chế tạo cũng như gia tăng năng suất.

Để khảo sát độ rộng vùng kỵ nước, đề tài tiến hành in các khuôn hình tròn với độ dày lần lượt là 0,2-0,4-0,6-0,8-1,0-1,5 mm. Sau đó, gia nhiệt trong tủ sấy ở nhiệt độ 150°C trong 20 phút. Để nguội, thêm 1 μ L phẩm nhuộm vào vùng ưa nước. Mỗi thí nghiệm lặp lại >10 lần.



Hình 8. Khuôn dùng để tối ưu hóa độ rộng kỵ nước

Kết quả thu được như Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả nghiên cứu độ rộng kênh kỵ nước

	Mặt trước	Mặt sau
Độ rộng 0,0 mm		
Độ rộng 0,2 mm		
Độ rộng 0,4 mm		
Độ rộng 0,6 mm		
Độ rộng 0,8 mm		
Độ rộng 1,0 mm		
Độ rộng 1,5 mm		

Qua kết quả trên cho thấy với độ rộng trên 1,0 mm cho kết quả tốt nhất.

Bảng 6. So sánh độ rộng kênh kỵ nước so với các nghiên cứu khác

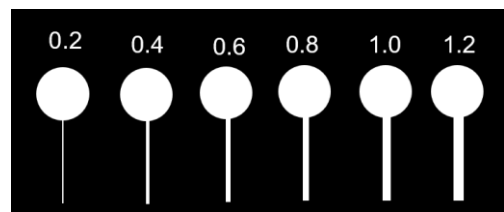
Nhóm nghiên cứu	Phương pháp chế tạo	Độ rộng vùng ưa nước
Qiaohong He et al., 2013	Quang khắc	$\geq 0,2$ mm
Arjnarong Mathaweensurn et al., 2020	In stamping	$\geq 1,2$ mm
Wijitar Dungchai et al., 2011	In bản in thủ công	$\geq 1,3$ mm
Tenda K et al., 2016	In Sáp	$\geq 1,2$ mm
Ryan A. Ruiz et al., 2022	In truyền nhiệt	$\geq 1,0$ mm
Nghiên cứu này	In laser	$\geq 1,0$ mm

So sánh kết quả với các nghiên cứu trước đó nhưng bằng các phương pháp khác nhau ta thấy rằng in bằng máy in laser cho kết quả tốt hơn so với in stamping, in bản in thủ công, in sáp bởi nhìn chung đây là các phương pháp mực sử dụng là mực sáp, khi gia nhiệt lớp kỵ nước sẽ phát triển ra lớn hơn dẫn đến độ rộng của kênh kỵ nước cũng tăng, đồng thời phương pháp in stamping và in bằng bản in thủ công thao tác đưa mực lên giấy làm bằng tay, thiết bị cần có kích thước đủ lớn để thao tác do đó cũng dẫn đến độ rộng kênh kỵ nước tăng.

3.4. Tối ưu hóa độ rộng ưa nước

Để khảo sát độ rộng vùng ưa nước, bài báo in khuôn μ PAD lên giấy lọc 102 với độ rộng kênh ưa nước tương ứng là 0,2- 0,4- 0,6- 0,8- 1,0- 1,2 mm. Các vùng ưa nước được in trên nền mực đen nhằm tránh sự ảnh hưởng của độ rộng vùng kỵ nước.

Sau đó, thiết bị μ PADs được gia nhiệt trong tủ sấy ở nhiệt độ 150°C trong 20 phút, thêm phẩm nhuộm. Mỗi thí nghiệm lặp lại trên 10 lần. Kết quả thu được như Hình 9.



Hình 9. Khuôn dùng để tối ưu hóa độ rộng ưa nước

Kết quả cho thấy được rằng so với kết quả của Rajesh Ghosh (2019), nghiên cứu cho kết quả tương đương độ rộng kênh ưa nước phải từ 0,4 mm trở lên, so với các phương pháp khác như in stamping, in bản in thủ công, nghiên cứu cho độ rộng kênh ưa nước nhỏ hơn chứng tỏ phương pháp có độ phân giải cao hơn.

Ta dễ dàng nhận thấy rằng độ rộng kênh ưa nước nhỏ hơn 0,4 mm, phẩm nhuộm không thể dẫn lên kênh ưa nước.

Bảng 7. So sánh độ rộng kênh ưa nước so với các nghiên cứu khác

	Mặt trước	Mặt sau
Độ rộng vùng ưa nước 0,2 mm		
Độ rộng vùng ưa nước 0,4 mm		
Độ rộng vùng ưa nước 0,6 mm		
Độ rộng vùng ưa nước 0,8 mm		
Độ rộng vùng ưa nước 1,0 mm		

Bảng 8. So sánh độ rộng kênh ưa nước so với các nghiên cứu khác

Nhóm nghiên cứu	Phương pháp chế tạo	Độ rộng vùng ưa nước
Ghosh, R et al., 2019	In laser	≥ 0,4 mm
Arjnarong Mathaweasansurn et al., 2020	In stamping	≥ 1,4 mm
Wijitar Dungchai et al., 2011	In bản in thủ công	≥ 0,6 mm
Strong, E.B et al., 2019	In Sáp	≥ 0,3 mm
Ryan A. Ruiz et al.,2022	In truyền nhiệt	≥ 0,9 mm
Nghiên cứu này	In laser	≥ 0,4 mm

4. KẾT LUẬN

Thiết bị μ PADs bằng máy in laser được chế tạo thành công trong nghiên cứu. Quy trình tối ưu để chế tạo thiết bị là sử dụng mực CF279A in lên giấy lọc 102, gia nhiệt ở nhiệt độ 150°C trong khoảng 20 phút trong tủ sấy. Thiết bị μ PAD chế tạo có độ rộng kênh kỵ nước và kênh ưa nước lần lượt là 1,0 mm và 0,4 mm trở lên. So sánh với các phương pháp khác như in đóng dấu, phương pháp đề nghị cho độ phân giải cao hơn (biểu hiện cho kênh kỵ nước và kênh ưa nước nhỏ hơn). Thiết bị μ PAD có thể tạo thành hình hoa văn phức tạp, chứng tỏ đủ đáp ứng

nhu cầu chế tạo các loại μ PAD bằng máy in laser, đóng góp bằng chứng cũng như mở rộng phạm vi chế tạo của thiết bị μ PAD.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin cảm ơn lãnh đạo công ty Cổ phần Chứng nhận và Giám định VinaCert đặc biệt là anh Nguyễn Hữu Dũng, anh Lê Hữu Thái và các anh, chị, em nhân viên Trung tâm Phân tích và Giám định Chất lượng hàng hóa VinaCert đã tạo những điều kiện tốt nhất cho cho tác giả trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Busa, L. S. A., Mohammadi, S., Maeki, M., Ishida, A., Tani, H., & Tokeshi, M. (2016). Advances in Microfluidic Paper-Based Analytical Devices for Food and Water Analysis. *Micromachines*, 7(5), 86. <https://doi.org/10.3390/mi7050086>.
- David, M., Cate, Jaclyn, A., Adkins, Jarawan Mettakoonpitak, Charles, S., & Henry, C. S. (2014). Recent Developments in Paper-Based Microfluidic Devices," *Analytical Chemistry*, 87(1), 19-41, <https://doi.org/10.1021/ac503968p>.
- Dungchai, W., Chailapakul, O., & Henry, C. S. (2011) "A low-cost, simple, and rapid fabrication method for paper-based microfluidics using wax screen-printing," *Analyst*, 136(1), 77–82. <https://doi.org/10.1039/C0AN00406E>.
- Ghosh, R., Gopalakrishnan, S., Savitha, R., Renganathan, T., & Pushpavanam, S. (2019). Fabrication of laser printed microfluidic paper-based analytical devices (LP- μ PADs) for point-of-care applications. *Sci Rep*, 9, 7896. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44455-1>.
- He, Q., Ma, C., Hu, X., & Chen, H. (2013). Method for Fabrication of Paper-Based Microfluidic Devices by Alkylsilane SelfAssembling and UV/O3-Patterning, *Analytical Chemistry*, 85(3), 1327–1331 <https://doi.org/10.1021/ac303138x>.
- Martinez, A., Phillips, S., Butte, M. & Whitesides, G. (2007). Patterned Paper as a Platform for Inexpensive, Low-Volume, Portable Bioassays. *Angewandte Chemie International Edition*, 46(8), 1318-1320. <https://doi.org/10.1002/anie.200603817>.
- Mathaweesansurn, A., Thongrod, S., Khongkaew, P., Phechkrajang, C. M., Wilairat, P., & Choengchan, N. (2020). Simple and fast fabrication of microfluidic paper-based analytical device by contact stamping for multiple-point standard addition assay: Application to direct analysis of urinary creatinine. *Talanta*, 210 <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120675>.
- Ruiz, R. A., Gonzalez, J. L., Vazquez-Alvarado, M., Martinez, N. W., & Martinez, A. W. (2022). Beyond Wax Printing: Fabrication of Paper-Based Microfluidic Devices Using a Thermal Transfer Printer. *Analytical Chemistry*, 94(25), 8833-8837, <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c01534>.
- Safety data sheet-Toner Cartridge for HP CF279A (HP 79A). http://www.cloverimaging.mx/en/download/sds_base/12919.
- Strong, E. B., Schultz, S. A., Martinez, A. W., & Martinez N. W.. (2019). Fabrication of Miniaturized Paper-Based Microfluidic Devices (MicroPADs). *Sci Rep*, 9, 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37029-0>.
- Tenda, K., Ota, R., Yamada, K., Henares, T. G., Suzuki, K., & Citterio, D. (2016) High-Resolution Microfluidic Paper-Based Analytical Devices for Sub-Microliter Sample Analysis. *Micromachines*, 7(5), 80. <https://doi.org/10.3390/mi7050080>.
- Yamada, K., Suzuki, K., & Citterio, D. (2017). Text-Displaying Colorimetric Paper-Based Analytical Device, *ACS Sensors*, 2(8), 1247–1254. <https://doi.org/10.1021/acssensors.7b00464>.