Tạp chí Khoa học Quốc tế AGU
ISSN 0866 - 8086

NGHIÊN CỨU CÁC THÔNG SỐ QUANG KHẮC SỬ DỤNG CHẾ TẠO ĐIỆN CỰC nMOS

Nguyễn Hoàng Quân[(1)], Trần Quốc Thanh[(2)], Trương Hải Yến[(3)], Nguyễn Hoàng Trung[(4)], Nguyễn Văn Toàn[(5)], Hồ Thanh Huy[(1)], Nguyễn Văn Hiếu[(1)]

[1] *Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, Đại học Quốc gia TP. HCM,*
[2]*Ampere Computing Vietnam, TP.HCM,*
[3]*Ryomo Vietnam Solutions, TP.HCM,*
[4]*Trường Đại học SPKT TP. HCM,*
[5]*Tohoku University, Sendai, Japan.*

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 04/08/2022
Ngày nhận kết quả bình duyệt: 10/11/2022
Ngày chấp nhận đăng: 01/01/2023

Title:
The study of lithography parameters for the fabricating process of nmos electrodes

Keywords:
Photolithography, UVLED, nMOS, PC interface, Etching

Từ khóa:
Photolithography, UVLED, nMOS, PC interface, Etching.

ABSTRACT

MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) is a Transistor with structure and operation different from conventional Transistors that is based on the principle of operation of magnetic field effect to generate current. MOSFET is a device with input impedance. The large input is suitable for amplifying small signal sources.With the ability to quickly switch large currents and voltages such as oscillators creating magnetic fields, pulse power supplies and high voltage control circuits. A metal-oxide semiconductor field-effect transistor, MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), is a type of transistor that uses an electric field to control and affect the conductivity of a semiconductor material. With outstanding advantages from the ability to quickly close large current and voltage, high input impedance, high thermal stability and high working frequency, MOSFETs are widely used in control circuits and digital circuits, especially integrated circuits. Therefore, researching, manufacturing and gradually mastering MOS technology is essential for laboratories to manufacturing plants.

In this work, we designed and fabricated a computer-controlled mini Photolithography Machine with a resolution of less than 50 uM and tested the fabrication of nMOS electrodes to determine optical parameters. optimal etching through 18 test samples as follows: irradiation time (tex) 45 giây, rinsing time (tdev) 55 giây, distance between emission source and mask (h) 10 cm, intensity for UV LED emission (I) 50 mA and irradiation angle (θ) 0o.

Samples performed in our photolithography cabinet were verified by SEM technology (Semiconductors lab, SHTP labs). They were checked on a high definition scale down to 8 µM size of nMOS technology. Furthermore, the photolithography cabinet succeeded in manufacturing and conducted effective initial experiments on photolithography and the surveying of some optimal parameters for the study of MEMS, sensors and electronic devices.

TÓM TẮT

Transistor hiệu ứng trường kim loại-oxit bán dẫn, MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), là loại transistor sử dụng điện trường để kiểm soát, tác động đến độ dẫn của vật liệu bán dẫn. Với ưu điểm nổi bật từ khả năng đóng nhanh dòng điện và điện áp lớn, trở kháng vào cao, khả năng ổn định nhiệt cao và tần số làm việc lớn, MOSFET được sử dụng nhiều trong các mạch điều khiển và vi mạch số, nhất là mạch tích hợp. Do đó, việc nghiên cứu, chế tạo và từng bước làm chủ công nghệ MOS là hết sức cần thiết cho các phòng thí nghiệm đến các nhà máy chế tạo.

Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đã thiết kế, chế tạo tủ quang khắc mini điều khiển qua máy tính với độ phân giải dưới 50 µM và thử nghiệm chế tạo điện cực nMOS nhằm xác định các thông số quang khắc tối ưu qua 40 mẫu thử nghiệm như sau: thời gian chiếu xạ (t_{ex}) 45 giây, thời gian tráng rửa (t_{dev}) 55 giây, khoảng cách giữa nguồn phát xạ và mặt nạ (h) 10 cm, cường độ cho UV LED phát xạ (I) 50 mA và góc chiếu xạ (θ) 0°.

Các mẫu thực hiện trong hệ quang khắc này được kiểm chứng qua việc chụp ảnh SEM (tại PTN bán dẫn, Trung tâm NCTK- SHTP) đạt độ nét cao khi kích thước bé nhất của chi tiết nMOS là 8 µM . Nhóm nghiên cứu đã thành công trong chế tạo tủ quang khắc và tiến hành các thực nghiệm ban đầu hiệu quả về thông số quang khắc, ăn mòn cho các cấu trúc MEMS, cảm biến sau này.

1. GIỚI THIỆU

Các chất bán dẫn đang dùng phổ biến nhất là Silicon (Si), Germanium (Ge) cho sản xuất linh kiện bán dẫn. Carbon được dùng chủ yếu trong sản xuất điện trở và các đồng hồ chiết áp. Tùy theo loại bán dẫn được chế tạo mà chúng được pha tạp thêm các nguyên tố nhóm III và các nguyên tố nhóm V, hoặc cả hai loại cho các quy trình công nghệ, tạo các lớp và cấu trúc cho các linh kiện có mức năng lượng lượng tử đa giếng. Một số công trình nghiên cứu và tài liệu biên tập cho giảng dạy hiện nay chưa nhiều như Trần Văn Vũ (2003) và Trần Anh Quang (2011).

Cấu trúc của nMOS gồm các lớp tiếp giáp kim loại-oxit-bán dẫn tại kênh dẫn, tiếp giáp PN tại các cực nguồn và cực máng, tiếp giáp kim loại-bán dẫn tại cực cổng. Sau đó dựa trên các đặc điểm của các lớp tiếp giáp này để thiết lập các công thức và tiến hành mô phỏng cho nMOS. Theo Jaeger, Richard C (2002) thì công nghệ quang khắc là bước quan trọng liên quan đến độ chính xác trong công nghệ vi mạch cần nắm vững.

Quang khắc (Photolithography) là kỹ thuật được sử dụng rộng rãi trong công nghệ bán dẫn và công nghệ vật liệu. Người ta sử dụng bức xạ cực tím làm biến đổi các chất cản quang phủ trên bề mặt vật liệu để chuyển hình dạng chi tiết của mẫu cần chế tạo lên đế wafer hoặc các vật liệu khác nhằm tạo ra các chi tiết như mong muốn. Công nghệ quang khắc có thể tạo ra những chi tiết vật liệu có kích cỡ micromet. Đối với các chi tiết vật liệu có kích thước nhỏ vào khoảng nanomet, người ta không dùng quang khắc để chế tạo (do sự nhiễu xạ ánh sáng) mà thay thế bằng phương pháp quang khắc chùm điện tử (electron beam lithography).

Nghiên cứu công nghệ chế tạo bán dẫn tại phòng thí nghiệm là rất quan trọng cho việc đào tạo nguồn nhân lực cho ngành vi mạch bán dẫn hiện nay từ mô phỏng đến chế tạo thực tế. Tác giả Trần Quốc Thanh (2014) khẳng định việc mô phỏng cấu trúc cho nMOS, thiết kế mặt nạ, phủ điện cực, thực hiện quy trình quang khắc, ăn mòn và kiểm tra chất lượng các mẫu điện cực của linh kiện nMOS,.. là đang làm chủ được các bước

quan trọng trong của công nghệ vi mạch bán dẫn đã thực hiện. Bên cạnh đó, việc chế tạo thiết bị quang khắc cho các thực nghiệm phạm vi luận văn, luận án nhưng chất lượng tốt, giảm chi phí nguyên vật liệu và thời gian với kinh phí nghiên cứu là mục tiêu của nghiên cứu này. Phát triển tiếp ý tưởng thiết kế của Lê Đoàn Anh Duy (2014), nhóm nghiên cứu tiếp tục thực hiện các nội dung:

(1) Thiết kế và chế tạo tủ quang khắc chiếu xạ UV LED điều khiển bằng máy tính cho quy mô phòng thí nghiệm.

(2) Thiết kế 03 loại mask với các kích thước tối thiểu từ 48 µM xuống 1 µM cho quy trình quang khắc điện cực nMOS.

(3) Thực hiện chiếu xạ từ 20 giây đến 60 giây và thời gian tráng rửa từ 20 giây đến 70 giây để xác định được 2 thời gian tối ưu cho quy trình quang khắc nMOS.

(4) Kết luận và đánh giá quy trình công nghệ cho chế tạo điện cực nMOS.

2. MÔ TẢ THỰC NGHIỆM

Thay cho nguồn sáng dùng đèn thủy ngân công suất cao với hệ thấu kính phức tạp từ máy Mask Aligner (hãng SUSS Micro TEC) từ Trung tâm Nghiên cứu Triển khai thuộc Khu Công nghệ cao TP. HCM, chúng tôi sử dụng nguồn phát 18 UV LED (UV LED 3W) có cùng bước sóng 365 nM. Những UV LED này được sắp xếp sát nhau và theo một trật tự nhất định sao cho cường độ sáng được phân bố đồng đều khi chiếu xạ. Tủ chiếu xạ này gồm phần cơ khí, mô tơ bước cho phần di chuyển của bộ đèn theo khoảng cách với mẫu chiếu (wafer), bộ đèn, nguồn cấp và sử dụng vi xử lý cho điều khiển thời gian chiếu UV LED, giao diện kết nối với PC qua cổng COM để nhập các dữ liệu đầu vào.

Sử dụng phần mềm Layout Editor để thiết kế 3 dạng mask với các kích thước (a,b,c) khác nhau cho cấu trúc nMOS đơn giản. Sau đó, các mask được in trên các tấm plastic và sử dụng chiếu xạ bằng tủ được chế tạo theo các tham số thời gian khác nhau.

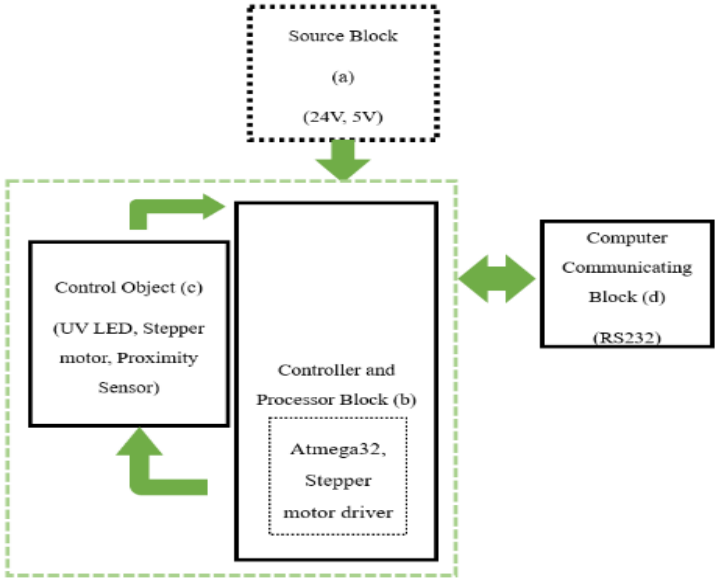
Bằng cách chụp SEM (máy S4800, 10kV) tại Trung tâm NCKT Khu Công nghệ cao (SHT Labs) để so sánh chất lượng mẫu quang khắc, ăn mòn của tủ quang khắc này với mẫu được thực hiện từ Mask Aligner chuyên dụng. Kết quả, cho thấy tủ quang khắc mini này đạt chất lượng tương đương khi tiệm cận kích thước của chi tiết điện cực cỡ 8 µM . Tủ mini này rất hiệu quả cho các nghiên cứu về MEMS và cảm biến sau này. Chi tiết việc thiết kế, chế tạo và nguyên lý hoạt động, kiểm tra hoạt động được trình bày chi tiết ở phần dưới.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

3.1 Tủ quang khắc chiếu xạ UV LED điều khiển bằng máy tính

Giao tiếp giữa vi điều khiển Atmega32 với mạch điều khiển công suất dùng MOSFET (IRF520): Mạch điều khiển công suất được kết nối với vi điều khiển qua chân PB5 (OCRA).Tùy theo đèn LED chúng ta sử dụng mà cung cấp nguồn vào là 24 V hoặc 3,3 V. Cường độ sáng được điều khiển qua cường độ xung PWM từ 0 đến 100%.

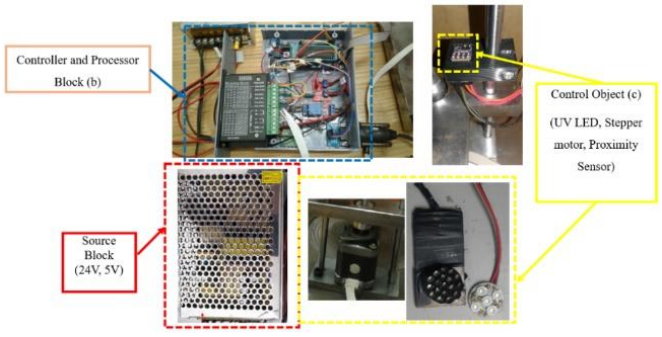
Giao tiếp giữa vi điều khiển Atmega32 với TB6600 Stepper Motor Driver: Động cơ bước 1.8 độ STP-43D3014 được điều khiển bởi Atmega32 thông qua Stepper Motor Driver. Driver kết nối với vi điều khiển qua 3 chân, PORTB 2 là chân ENABLE, PORTB 6 là chân DIR, PORTB 7 là chân STEP. Vi điều khiển cho phép động cơ hoạt động tương ứng với chân ENABLE ở mức thấp. Khi đã được khởi tạo hoạt động thì DIR bằng 1 động cơ sẽ quay thuận, DIR bằng 0 động cơ sẽ quay nghịch. Giá trị của STEP bằng 1 và 0 thì động cơ sẽ xoay một bước tương ứng với 1,8 độ.



Hình 1.Sơ đồ khối điều khiển của vi xử lý trong tủ quang khắc mini sử dụng UV LED.

Giao tiếp giữa vi điều khiển Atmega32 với cảm biến khoảng cách ToF Laser Radar VL53L0X: Vi điều khiển kết nối với cảm biến khoảng thông qua giao tiếp I2C qua các chân cấp nguồn, SDA và SCD tương ứng với chân PD1 và PD0 của vi điều khiển. Vi điều khiển đóng vai trò là Master và Cảm biến khoảng cách đóng vai trò là Slave, Slave được gọi bởi Master và phục vụ theo yêu cầu từ Master.

Nguồn chiếu xạ dùng trong hệ quang khắc mini gồm 18 UV LED loại 365 nM, công suất 3W mỗi bóng (18 UVLED được mắc song song 3 hàng, mỗi hàng gồm 6 UVLED mắc nối tiếp.. Hệ thiết bị quang khắc gồm khối nguồn (24 V, 5 V) cấp nguồn cho khối điều khiển và đối tượng điều khiển. Đối tượng điều khiển (UV LED, động cơ bước, cảm biến khoảng cách) nhận tín hiệu điều khiển từ vi xử lý và hoạt động. Khối điều khiển và xử lý thực hiện các thuật toán, nhận và truyền tín hiệu và xử lý điều khiển toàn bộ hệ thống. Sau cùng là khối giao tiếp máy tính, nhận tín hiệu đã qua xử lý từ khối điều khiển và gửi về máy tính như hình 1. Phần điều chuyển mẫu chiếu xạ trên mặt phẳng XY được kế thừa của bệ cơ khí bánh răng chính xác của thiết bị SEM cũ và được thiết kế thêm phần máy bơm hút giữ đế (wafer), động cơ bước điều khiển khoảng cách chiếu xạ với cảm biến hồng ngoại như hình 3.



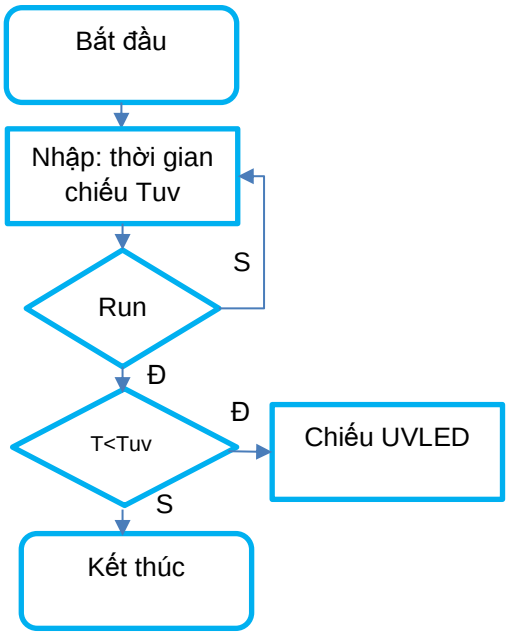
Hình 2. Các khối chức năng mạch thực tế của tủ quang khắc mini.

Tủ được thiết kế phần cơ cố định và vỏ hộp với nguyên liệu là mica đen, có chức năng che chắn, bảo vệ hệ trong quá trình sử dụng. Hộp được thiết kế màu tối để không ảnh hưởng đến kết quả thí nghiệm do có sử dụng các hoá chất nhạy với ánh sáng.

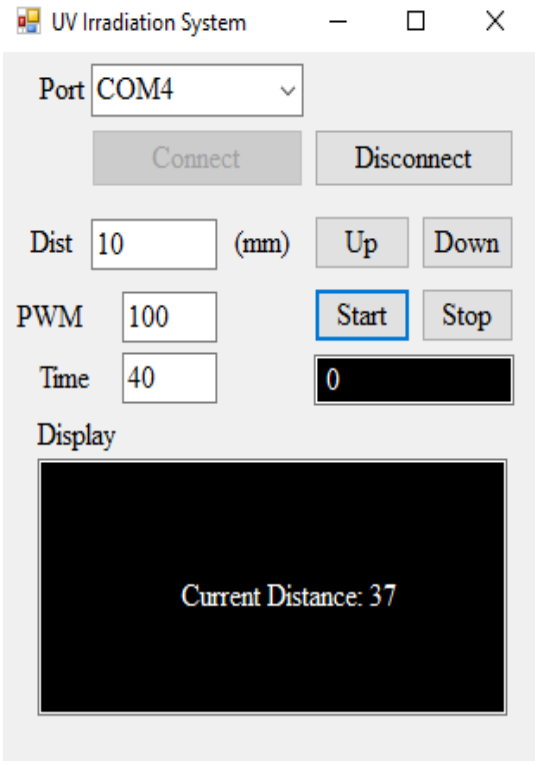
Hình 3. Tủ quang khắc mini công nghệ UV LED được thiết kế và chế tạo.

Việc nối kết tủ quang khắc qua máy tính được mô tả như hình 4 với thời gian xác định và khoảng cách với mẫu cần chiếu UV. Mẫu wafer sau khi được làm sạch sẽ được đưa vào đế giữ wafer trong thiết bị quang khắc. Khoảng cách nguồn sáng được thiết lập cố định ban đầu cách mặt nạ quang khắc 10 cm. Quy trình quang khắc sau đó được điều khiển qua máy tính (vi điều khiển Atmega32 giao tiếp UART qua cổng COM- RS232) gồm việc điều chỉnh khoảng cách nguồn sáng chiếu xạ đến mask, thời gian chiếu xạ và cường độ chiếu xạ. Các thông số được gửi đến bộ vi điều khiển bên dưới cho việc điều khiển chùm sáng và hệ động cơ của thiết bị quang khắc, dữ liệu sau đó được gửi ngược dữ lại trên máy tính.

Phần giao diện được lập trình giao diện C# trên window với các thông số đầu vào là cổng nối kết (port), khoảng cách chiếu (dist), di chuyển lên (up), di chuyển xuống (down), công xuất chiếu (PWM), thời gian chiếu (giây), trạng thái (không nối kết, bắt đầu, kết thúc) như hình 5.



Hình 4. Sơ đồ thuật toán cho vi điều khiển phần cơ khí và đèn chiếu UV trong tủ quang khắc mini.

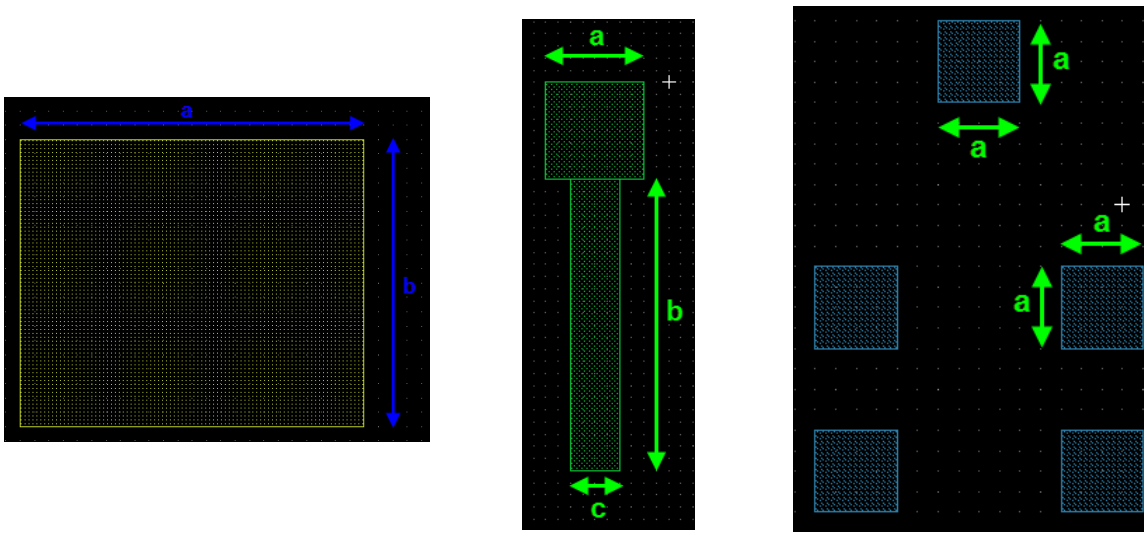


Hình 5. Giao diện nhập thông số đầu vào cho điều khiển hoạt động của tủ quang khắc nối kết PC qua cổng COM4.

Tủ quang khắc mini được điều khiển các thông số cơ bản như thiết bị chuyên dụng Mask Aligner (giá trị hàng trăm ngàn USD) nhưng được thu nhỏ, điều khiển số và sử dụng UV LED có bước sóng đỉnh nhọn hiệu quả cho việc quang khắc. Tủ được chế tạo và kiểm tra hoạt động ổn định và chiếu xạ chính xác, thao tác đơn giản, chi phí thấp.

3.2 Thiết kế các loại mask cho quy trình chế tạo điện cực nMOS

Tiếp theo là chế tạo ba loại mặt nạ (mask) cho quy trình chế tạo với kích thước đã thiết kế và mô phỏng theo cấu trúc nMOS (mà nhóm nghiên cứu đã làm từ trước bằng phần mềm Layout Editor giáo dục. Hình dạng và thông số các kích thước của các mask như Hình 6 và Bảng 1.



(a) (b) (c)

Hình 6. Hình dạng của 03 mask cho quy trình chế tạo điện cực nMOS:(a) Mask 1, (b) Mask 2 và (c) Mask 3.

Bảng 1. Thông số các kích thước (a,b,c) của 03 loại mask của điện cực nMOS.

Loại mặt nạ (mask)	*Kích thước a (µM)*	*Kích thước b (µM)*	*Kích thước c (µM)*
Mask 1	48	40	*Không*
	24	20	
	12	10	
	6	5	
Mask 2	16	48	8
	8	24	4
	4	12	2
	2	6	1
	1	5	0.5
Mask 3	8	*Không*	*Không*
	4		
	2		
	1		

Đối với Mask 1 với các cặp kích thước dài (a) và rộng (b) lần lượt như bảng 1: (48,40), (24,20), (12,10) và (6,5) với đơn vị là µM . Tương tự cho Mask 2 với 03 thông số (a,b,c) và mak 3 chỉ có thông số a.

3.3 Thực nghiệm xác định thời gian chiếu xạ và thời gian tráng rửa tối ưu quy trình nMOS

a. Khảo sát theo thời gian chiếu xạ mẫu (đối với Mask 2)

Thời gian chiếu xạ lên mẫu làm ảnh hưởng tới năng lượng bức xạ chiếu lên mẫu.Trong bài báo, chúng tôi thực hiện khảo sát quy trình chiếu xạ với các mẫu đế silic 1 cm x 1 cm đã được phủ vật liệu đồng, và đã phủ lớp cản quang dương với tốc độ quay phủ high speed 4000 rpm/50 giây từ máy quay phủ spincoating cũng như quy trình soft bake mẫu trong 60 giây ở nhiệt độ 100 ^{o}C. Với cùng điều kiện chiếu của nguồn phát xạ, năng

lượng bức xạ chiếu lên mẫu tỷ lệ thuận với thời gian chiếu xạ. Thử với thời gian tráng rửa là 60 giây, cho thông số đầu vào cho thời gian chiếu xạ UV LED từ 20 giây tăng đến 60 giây (như Bảng 2) để khảo sát chất lượng quang khắc của 8 mẫu đối với Mask 2. Lý do không chọn Mask 1 là kích thước lớn, Mask 3 là kích thước bé và cả 2 có hình vuông đơn giản. Mask 2 có 03 thông số kích thước quan trọng cần khảo sát để chọn điều kiện tối ưu khi chế tạo. Điều kiện khảo sát thời gian chiếu xạ của các mẫu như sau:

. Khoảng cách giữa nguồn UV và mẫu đế: h = 10 cm.

. Góc tới của tia chiếu xạ tới mẫu: theta = 0^{o}.

. Dòng điện qua bộ phát xạ UV: I = 50 mA.

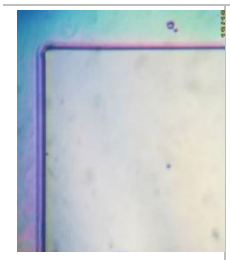
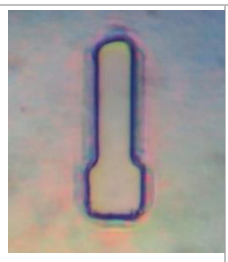
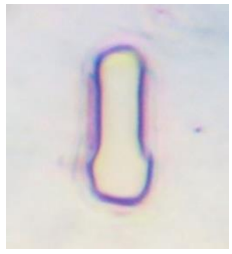
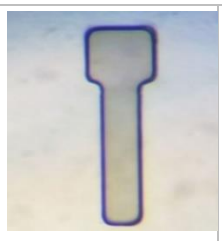
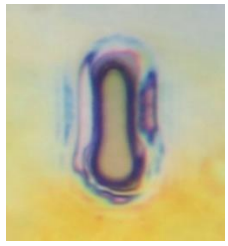
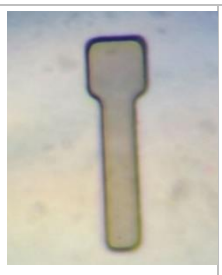
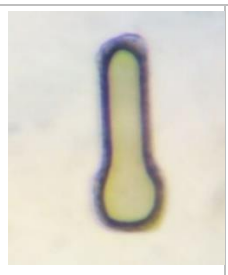
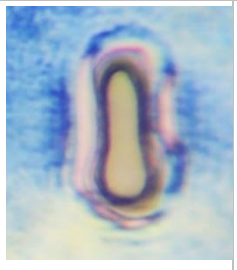
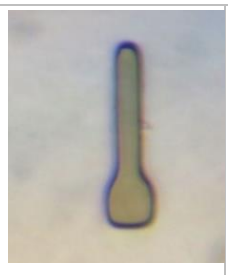
Với các điều kiện như quy trình đã xác định, chúng ta thay đổi chiếu xạ UV (tex) và sau ăn mòn chụp ảnh qua kính hiển vi để quan sát hình dạng của 08 mẫu của Mask 2 như Bảng 2.

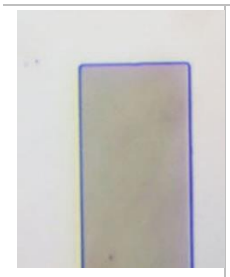
Bảng 2. Bảng thử nghiệm thời gian chiếu xạ mẫu bằng UV LED từ 20 giây đến 60 giây

Ký hiệu mẫu	*Thời gian chiếu xạ, t_{ex} (giây)*
Mẫu T01	20
Mẫu T02	30
Mẫu T03	35
Mẫu T04	40
Mẫu T05	45
Mẫu T06	50
Mẫu T07	55
Mẫu T08	60

Tiến hành chiếu xạ lần lượt với 08 mẫu tương ứng với 05 bộ thông số (a,b,c như bảng 1) của Mask 2 thu được 40 trường hợp (như Bảng 3).

Bảng 3. Hình dạng của điện cực nMOS được quang khắc, ăn mòn với 08 mẫu chiếu xạ tia UV với thời gian khác nhau (20 giây đến 60 giây) và 05 loại bộ kích thước khác nhau.

Bộ kích thước (a,b,c) 1	*Bộ kích thước (a,b,c) 2*	*Bộ kích thước (a,b,c) 3*	*Bộ kích thước (a,b,c) 4*	*Bộ kích thước (a,b,c) 5*
Mẫu T01 với t_{ex} = 20 giây				
				Chưa hiện mẫu
Mẫu T02 với t_{ex} = 30 giây				
				
Mẫu T03 với tex = 35 giây				
				
Mẫu T04 với tex = 40 giây				
				

Mẫu T05 với tex = 45 giây				
				
Mẫu T06 với tex = 50 giây				
				
Mẫu T07 với tex = 55 giây				
				
Mẫu T08 với tex = 60 giây				
				Điện cực biến mất hoàn toàn

Trong bảng 3, quan sát kính hiển vi cho thấy, mẫu T01 vẫn còn chất cảm quang, các mẫu T02 đến T04 đường viền không sắc nét chứng tỏ có độ dốc giữa chất cảm quang và wafer, mẫu T06, T07 và T08 các cấu trúc bị chiếu quá giới hạn nên bị ăn khuyết sâu vào cấu trúc. Trong khi đó, mẫu T05 là có chất lượng sắc nét nhất khi sử dụng tủ quang khắc mini này. Thực nghiệm với

5 bộ thông số kích thước khác nhau từ các mask 2 trong bảng 1, mỗi bộ thông số gồm 8 mẫu như nhau và được đánh số thứ tự từ mẫu T01 đến mẫu T08. Thực hiện tổng cộng 40 mẫu thành công để đánh giá, chúng tôi đã xác định thời gian chiếu xạ là 45 giây là tốt cho quang khắc với tính chất mẫu và điều kiện của tủ này. Từ cố định thông số t_{ex} này, chúng tôi tiếp tục khảo sát các thông số khác để tìm ra sự tối ưu.

b. Khảo sát theo thời gian tráng rửa mẫu

Chúng tôi tiếp tục thực nghiệm khi chiếu xạ UV LED trong 45 giây thì thời gian tráng rửa sẽ bao lâu là tối ưu cho các kích thước mẫu điện cực nMOS quang khắc. Khi ngâm mẫu vào trong dung dịch tráng rửa thì sẽ có phản ứng xảy ra giữa dung dịch tráng rửa và phần chất cảm quang đã bị quang hóa. Chính các phản ứng này giữa phần quang hóa và không quang hóa sẽ tạo nên hình dạng của chi tiết. Phần bị quang hóa và không quang hóa chỉ khác nhau về tốc độ phản ứng, nên thời gian tráng rửa là yếu tố rất quan trọng. Việc tìm ra thời gian tráng rửa thích hợp với từng mẫu có độ dày khác nhau và thời gian chiếu xạ khác nhau có vai trò rất lớn đối với kết quả của mẫu quang khắc. Thông số này thường thu được trên một lượng lớn mẫu quang khắc bằng thực nghiệm. Tiếp tục tiến hành khảo sát thời gian tráng rửa mẫu cho các mask mẫu 2 với thời gian chiếu xạ UV là 45 giây như Bảng 4.

Bảng 4. Bảng tổng kết khảo sát thời gian tráng rửa của các mẫu.

Ký hiệu mẫu	*Thời gian tráng rửa (s)* t_{dev}
T11	20
T12	30
T13	35
T14	40
T15	45
T16	50
T17	55
T18	60
T19	65
T20	70

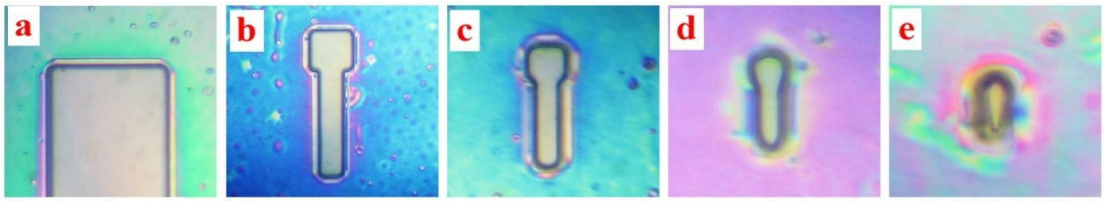
Sau đây là kết quả của các mẫu được chế tạo với thời gian chiếu xạ (t_{ex}) là 45 giây và thời gian tráng rửa (t_{dev}) từ 20 s, 30 s, 35 s, 40 s, 45 s, 50 s, 55 s, 60 s, 65 s, 70 s được thực hiện bởi Trần Quốc Thanh (2014).

Bảng 5. Hình dạng của điện cực nMOS được quang khắc, ăn mòn với 10 mẫu chiếu xạ tia UV trong 45 giây và thời gian rửa thay đổi (từ 20 giây đến 70 giây) cho 05 loại bộ kích thước khác nhau. Trong đó, hình thứ 5 của mẫu T20 bị rửa trôi hoàn toàn.

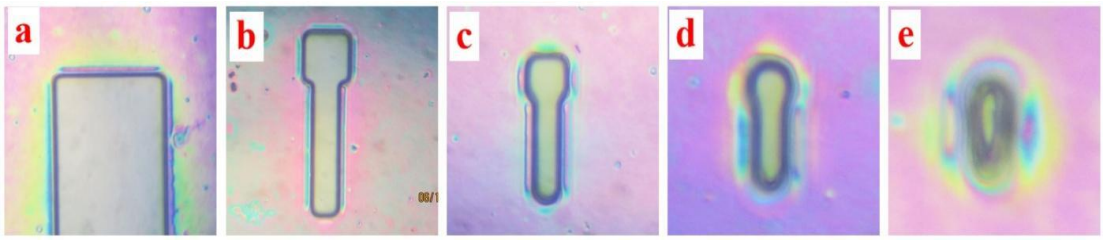
Mẫu T11 với t_{dev} = 20 giây

Mẫu T12 với t_{dev} = 30 giây

Mẫu T13 với t_{dev} = 35 giây

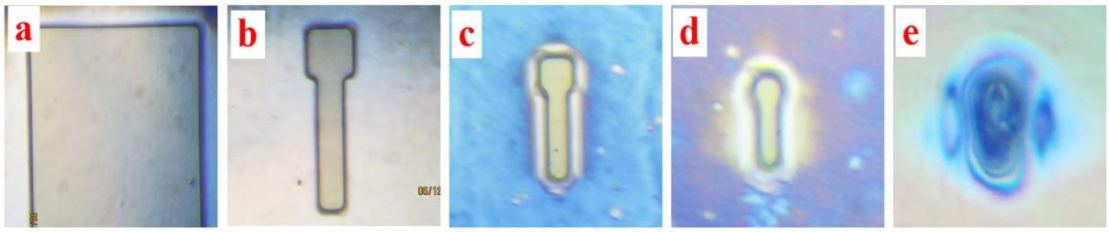


Mẫu T14 với t_{dev} = 40 giây



Mẫu T15 với t_{dev} = 45 giây

Mẫu T16 với t_{dev} = 50 giây

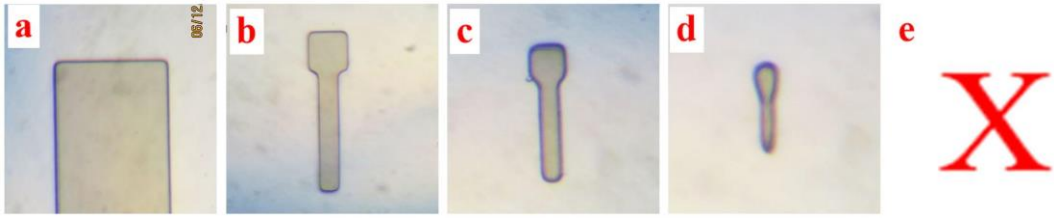


Mẫu T17 với t_{dev} = 55 giây

Mẫu T18 với t_{dev} = 60 giây

Mẫu T19 với t_{dev} = 65 giây

Mẫu T20 với t_{dev} = 70 giây



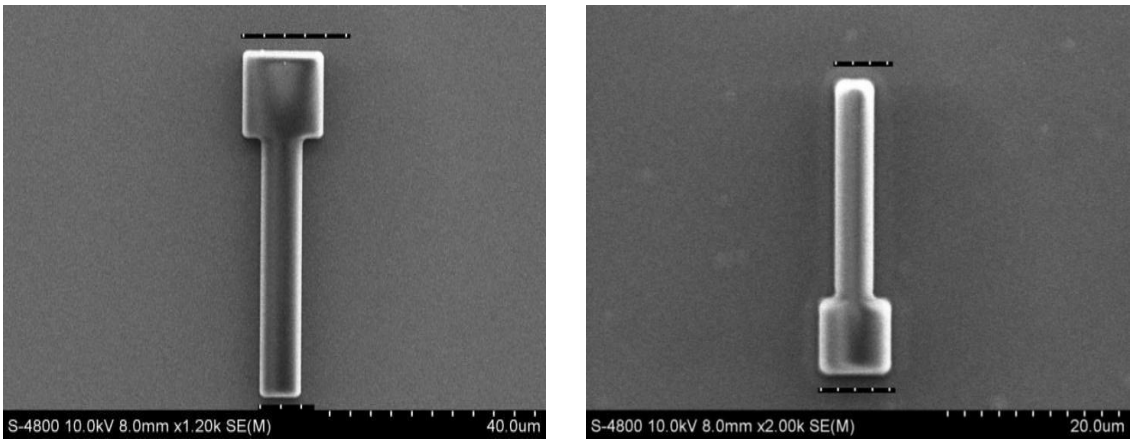
Từ kết quả thực nghiệm của Trần Quốc Thanh (2014), chúng tôi tiếp tục khảo sát 50 hình cho 10 mẫu (T11 đến T20) cho thấy: (1) Ứng với các mẫu có thời gian tráng rửa từ 20 - 70 giây có sự biến chuyển rõ rệt. Các mẫu càng về sau càng sạch chất cảm quang hơn. Cấu trúc của các chi tiết càng rõ ràng hơn; (2) Các chi tiết cần chế tạo có kích thước và hình dạng khác nhau thì thời gian tráng rửa cũng khác nhau. Đối với các chi tiết lớn như các mẫu a (với bộ kích thước 16 µM; 48 µM; 8 µM) và mẫu b (với bộ kích thước 8 µM; 24 µM; 4 µM), nếu thời gian ngâm lâu hơn một chút thì phần bị ăn mòn bởi chất tráng rửa không đáng kể, khoảng thời gian cho ảnh rõ nét từ 40 - 65 giây. Nhưng đối với các chi tiết nhỏ, các mẫu b, c, d, thì có thể dẫn đến cấu trúc bị rửa trôi hoàn toàn, đặc biệt với mẫu c (với bộ kích thước 4 µM;12 µM;2 µM) với thời gian tráng rửa từ 55 - 60 giây cho ảnh rõ nét, nhưng các mẫu c, d, e bị ăn mòn nhanh chóng sau 50 giây. Do đó, khi cấu trúc càng nhỏ thì thời gian tráng rửa càng chính xác càng tốt.

Qua ảnh chụp trên kính hiển vi và quan sát, chúng tôi xác định được điều kiện cho thông số thời gian tối ưu: mẫu sạch chất cảm quang, cấu trúc chế tạo phải hiện rõ ràng, sắc nét và xét các cấu trúc có kích thước từ lớn đến nhỏ dần. Đối với mẫu mask 2, thời gian chiếu xạ UV LED cho mẫu là 45 giây và thời gian tráng rửa (t_{dev}) tối ưu là 55 giây.

4. THẢO LUẬN

4.1. Kiểm chứng

Qua các mẫu thực nghiệm, xác định thời gian thực hiện quy trình quang khắc và ăn mòn của mẫu trong tủ quang khắc này (t_{ex}=45 giây và t_{dev}=55 giây). Để đánh giá chất lượng sau quang khắc, ăn mòn và kích thước nhỏ nhất có thể chế tạo, các mẫu được chế tạo trong thời gian tối ưu và quan sát ảnh SEM (S-4800, 10kV, độ phóng đại 20.000 lần) tại Phòng thí nghiệm công nghệ bán dẫn, Trung tâm NCTK của Khu Công nghệ cao (SHTP). Mask 2a cho điện cực nMOS được kiểm tra là hình búa với 3 thông số (a = 16 µM , b = 48 µM và c = 8 µM) và Mask 2b với thông số (a = 8 µM , b = 24 µM và c = 4 µM) như hình 7.



Mask 2a Mask 2b

Hình 7. Ảnh chụp SEM của Mask 2a và Mask 2b để so sánh độ nét và chất lượng của thông số quang khắc của tủ quang khắc.

Với ảnh SEM cho mẫu Mask 2a với kích thước phần dưới là 8 µM (2ô x 4 µM) thì các đường nét vẫn rõ thể hiện chi tiết cấu trúc được chế tạo thành công như bản mask thiết kế. Nhưng hình của Mask 2b (đầu trên) với kích thước 4 µM (2ô x 2 µM) thì các đường chi tiết nMOS bị nhòe thể

hiện cấu trúc không nguyên vẹn. Việc khảo sát các kích thước khác được trình bày trong các công bố tiếp theo cho cấu trúc cụ thể. Do đó, tủ quang khắc mini này đã thực hiện thành công việc quang khắc, ăn mòn các chi tiết có kích thước đến 8 µM.

4.2. Kết luận

Qua kết quả chụp SEM, các maks đã được thể hiện qua hình dạng các mẫu thực nghiệm. Qua các bước thực nghiệm, thời lượng chiếu xạ và thời lượng tráng rửa đã được xác định tối ưu cho các chi tiết cấu trúc nMOS thí điểm và các linh kiện sau này. Các cạnh góc vuông của mẫu do bị ảnh hưởng của quá trình tráng rửa nên không giữ được góc cạnh sắc nét như trong thiết kế. Các thông số, điều kiện cho hệ quang khắc tối ưu cho việc chế tạo các mẫu đã được xác định: khoảng cách giữa nguồn phát xạ và mặt nạ: h = *10 cm*, cường độ dòng điện qua bộ phát xạ: *I = 50 mA*, góc chiếu xạ: $\theta = 0^0$, t_{ex}=45 giây và t_{dev}=55 giây và kích thước tới hạn là 8 µM.

5. KHUYẾN NGHỊ

Báo cáo khẳng định thành công trong chế tạo tủ quang khắc mini sử dụng UV LED kết nối và điều khiển qua máy tính và thực nghiệm chế tạo các mẫu quang khắc với các mặt nạ đã thiết kế. Kế hoạch sắp tới là phối hợp với nhóm tác giả Yo-Sheng Lin, Guo-Hao Li, Nguyễn Văn Hiếu (2015) thực hiện một số công đoạn chế tạo chíp Down-conversion mixer (75–85 GHZ, công nghệ 90 nm CMOS). Chúng tôi cũng đang hợp tác với nhóm Nguyễn Văn Toàn, Trương Thị Kim Tươi, Nguyễn Văn Hiếu and Takahito Ono (2021) trong việc đào tạo nguồn nhân lực về MEMS, cảm biến theo hình thức chuyên gia qua lại và tủ quang khắc mini này sẽ là phương tiện thực nghiệm với quy mô nhỏ và kiểm chứng cho các khóa luận và đề tài nghiên cứu của đơn vị.

Nhóm nghiên cứu đề xuất Trường Đại học Khoa học Tự nhiên tiếp tục đầu tư việc xây dựng phòng thí nghiệm về công nghệ MEMS, cảm biến, linh kiện điện tử để đẩy mạnh hợp tác với các nhóm nghiên cứu trong nước, quốc tế hiện có và tham gia vào chương trình phát triển vi mạch bán dẫn của UBND TP. HCM hiện nay. Rất mong được sự hợp tác của các nhà khoa học, chuyên gia lĩnh vực này.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này thuộc đề tài cấp trường "*Thiết kế thiết bị quang khắc mini cho phòng thí nghiệm MEMS*", được tài trợ của Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM (Mã số T-2019-10).

Tác giả xin cảm ơn sự hỗ trợ nhiệt tình của các giáo sư của Ono and Toda lab (Tohoku University, Japan) đã góp ý và chia sẻ nhiều kinh nghiệm về công nghệ MEMS. Ghi nhận đóng góp của nghiên cứu viên, sinh viên tại SEE lab và các nhà khoa học của SHTP labs đã hỗ trợ thiết bị chế tạo, quang khắc và đo kiểm. Tác giả xin trân trọng ghi nhận ý kiến của các nhà khoa học đã trao đổi, phản biện giúp nâng cao chất lượng của bài báo cáo này. Xin trân trọng cảm ơn các tác giả mà chúng tôi đã tham khảo và trích dẫn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Nguyen Van Toan, Truong Thi Kim Tuoi, Nguyen Van Hieu and Takahito Ono. (Apr. 2021). ThermoElectric Generator with a high integration density for portable and wearable self-powered electronic devices. *Energy Conversion and Management*, 245,[114575]. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114571.

Yo-Sheng Lin, Guo-Hao Li, & Nguyen Van Hieu. (2015). A 75–85 GHZ Down-conversion mixer with integrated marchand baluns in 90 nm CMOS with excellent matching and port-to-port isolation for automotive radars. *Microwave and Optical Technology Letters*, 57, 1, 73-80. https://doi.org/10.1002/mop.28774.

Trần Văn Vũ. (2003). *Tổng quan về quang khắc*. Hà Nội: Nhà xuất bản Đại học Bách khoa Hà Nội.

Jaeger, Richard C. (2002). *Introduction to Microelectronic Fabrication (2nd ed.)*. New Jersey: Upper Saddle River: Prentice Hall.

Trương Hải Yến. (2019). *Hoàn thiện thiết bị chiếu xạ tia cực tím cho nghiên cứu quang khắc điện cực linh kiện điện tử, (Khóa luận cử nhân không xuất bản). Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, Hồ Chí Minh, Việt Nam.*

Trần Quốc Thanh. (2014). *Mô phỏng cấu trúc nMOS và thiết kế mặt nạ cho quy trình chế tạo nMOS*. (Luận văn Thạc sĩ không xuất bản). Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, Hồ Chí Minh, Việt Nam.

Lê Đường Anh Duy. (2014). *Thiết kế và chế tạo máy quang khắc mini*. (Khóa luận cử nhân không xuất bản), Trường Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, Hồ Chí Minh, Việt Nam.

Trần Anh Quang. (2011). *Nghiên cứu quy trình công nghệ quang khắc trong phòng sạch sử dụng chế tạo linh kiện kích thước micro*, (Khóa luận cử nhân không xuất bản). Trường Đại học Công nghệ, ĐHQG Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam.