

Danh sách nội dung có sẵn tại [Khoa học Trực tiếp](#)

Phần cứngX

trang chủ tạp chí: www.elsevier.com/locate/ohx

Thiết kế và chế tạo máy phủ nhúng chi phí thấp và có thể lập trình

Christy Dunlap¹, Đá lông vũ Skylar¹, Matthew Smith¹, Mẫn Vũ¹, Amanda Williams, Jason Bailey, Hàn Hồ[†]

Khoa Kỹ thuật Cơ khí, Đại học Arkansas, Fayetteville, AR 72701, Hoa Kỳ



thông tin bài viết

Lịch sử bài viết:

Nhận vào ngày 21 tháng 5 năm 2022
 Nhận ở dạng sửa đổi ngày 14 tháng 9 năm 2022
 Được chấp nhận ngày 22 tháng 9 năm 2022

Từ khóa:

Lớp phủ nhúng
 Kiểm soát chính xác
 Hiệu suất đạp xe
 Động cơ điện
 Arduino
 Mã nguồn mở

trùu tượng

Máy phủ nhúng cung cấp một thiết bị nhỏ gọn có thể được sử dụng để có được lớp phủ đồng nhất và nhất quán trên bề mặt. Bài viết này mô tả một thiết kế máy phủ nhúng ít tốn kém hơn với các thông số kỹ thuật tương tự như các máy phủ nhúng khác. Máy bao gồm một động cơ bước NEMA 23, màn hình cảm ứng và vỏ acrylic để bảo vệ bề mặt khỏi bụi. Máy được lập trình bằng Arduino IDE, cho phép thực hiện các thay đổi dễ dàng. Kích thước nhỏ của máy phủ nhúng khiến nó trở nên lý tưởng để sử dụng trong phòng thí nghiệm. Phần lớn các bộ phận không cần thay đổi sau khi mua, cho phép thay thế và thi công dễ dàng.

- 2022 (Các) tác giả. Được xuất bản bởi Elsevier Ltd. Đây là một bài viết truy cập mở theo CC THEO giấy phép (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Bảng thông số kỹ thuật

Tên phần cứng	Máy phủ nhúng có chi phí thấp và có thể lập trình
Lĩnh vực chủ đề	Khoa học Kỹ thuật và Vật liệu Kỹ thuật cơ khí và khoa học vật liệu GNU GPL v3
Loại phần cứng	
Giấy phép nguồn mở	\$569
Chi phí phần cứng	https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3AB6Z
Kho lưu trữ tệp nguồn	

[†]Đồng tác giả. ĐT: +1 (479) 575 6790; Fax: +1 (479) 575 6982.Địa chỉ email:[\(H.Hồ\)](mailto:hanhu@uark.edu).¹C. Dunlap, S. Featherstone, M. Smith và M. Vũ đã đóng góp ngang nhau cho công trình này.

1. Phần cứng trong bối cảnh

Máy phủ nhúng chính xác là một máy giữ chất nền và nhúng nó vào dung dịch, dung dịch này nằm bất động ở đó để cho phép lớp phủ được áp dụng, sau đó rút ra hoàn toàn để có thể khô. Việc ngâm và rút diễn ra ở tốc độ không đổi, được điều khiển bởi máy. Quá trình này sau đó được lặp lại tùy thuộc vào số chu kỳ mà khách hàng yêu cầu.

Có một số cách để phủ một chất nền. Một số cách phổ biến bao gồm phủ cuộn, phun nhiệt, phủ quay và phủ nhúng. Lớp phủ cuộn hoạt động bằng cách chuyển chất nền qua các con lăn được phủ. Trong quá trình phun nhiệt khi bề mặt được phun lớp phủ^[1]. Lớp phủ quay hoạt động bằng cách phân phối lớp phủ bằng cách quay lớp nền. Lớp phủ nhúng là quá trình nhúng chất nền trực tiếp vào dung môi. Mỗi phương pháp đều hữu ích trong những tình huống khác nhau. Một số hấp dẫn hơn khi sử dụng trong nhà máy trong khi một số khác tốt hơn khi sử dụng trong phòng thí nghiệm. Mỗi phương pháp đều có những nhược điểm và ưu điểm. Ví dụ, sơn phun cung cấp lớp phủ kém đồng đều hơn. Bằng cách sử dụng máy phủ nhúng, người dùng có thể phủ một cách chính xác lên bề mặt. Độ dày của lớp phủ có thể được kiểm soát bằng cách điều chỉnh thời gian giữ chất nền trong lớp phủ và số chu kỳ. Lượng chất nền được phủ có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi khoảng cách di chuyển.

Hiện có rất nhiều mẫu thiết kế cho máy phủ nhúng trên thị trường. Thông thường, chúng bao gồm một động cơ bước cho phép chuyển động rất chính xác và có kiểm soát; những sản phẩm bán chạy nhất bao gồm bảng điều khiển kỹ thuật số được lập trình để cung cấp khoảng cách di chuyển có thể điều chỉnh dựa trên kích thước mẫu, kiểm soát tốc độ cho cả tốc độ ngâm và rút của giá đỡ mẫu cũng như kiểm soát số chu kỳ được thực hiện.

Máy phủ nhúng cung cấp một cách dễ dàng để phủ lên chất nền để sử dụng trong môi trường phòng thí nghiệm. Chúng đã được sử dụng cho một loạt các ứng dụng. Ví dụ, Mechiakh và cộng sự. sử dụng máy phủ nhúng để lắng đọng TiO₂ cho các nghiên cứu đặc tính.^[2] Mahadik và cộng sự. đi qua một phương pháp tổng quát và chi phí thấp để hình thành lớp phủ siêu kỵ nước.^[3] Salles và cộng sự. đã thử nghiệm tính hiệu quả của màng mỏng Titanium cacbua MXene được điều chế bằng cách sử dụng lớp phủ nhúng làm chất dẫn trong suốt để sử dụng trong các thiết bị điện tử.^[4] Ma và cộng sự. đã sử dụng một trạm phủ nhúng có độ chính xác vi mô được phát triển nội bộ để phủ lên các vi kim một lớp phủ nóng chảy dành cho phân phối thuốc không tan trong nước^[5]. Jeong và cộng sự. nghiên cứu thành phần màng phủ nhúng với dung dịch chứa các hạt nhô^[6].

Một nhược điểm là giá của máy phủ nhúng chính xác. Các loại máy phủ nhúng cạnh tranh nhất trên thị trường có phạm vi từ \$1000 đến \$3000, tuy nhiên mức giá trần cao hơn nhiều^[7].

Đã có một số nhóm đã thiết kế máy phủ nhúng của riêng mình để tránh phải trả giá cao như vậy. Ví dụ, Castillo-Vilcatoma et al. đã thiết kế một máy phủ nhúng có giá dưới 100 đô la bằng cách sử dụng các bộ phận tái chế. Máy của họ sử dụng bo mạch Arduino và phần mềm để đạt được phạm vi tốc độ nhúng trong khoảng 0,1–6 mm s⁻¹^[số 8]. Loza M. et al đã thiết kế máy phủ quay và máy phủ nhúng bằng Arduino^[9]. Thiết bị phủ nhúng của họ đạt được tốc độ từ 0,6 cm h⁻¹đến 30 cm tối thiểu-1. Adámek đã chế tạo một máy phủ nhúng^[10]. Vận tốc thiết bị của anh ấy có thể được đặt từ 0 đến 20 mm s⁻¹. Mohdisha đã tìm cách cải thiện hiệu suất của máy phủ nhúng bằng cách hạn chế độ rung thông qua việc họ lựa chọn các bộ phận, chẳng hạn như động cơ hoặc đai ốc^[11]. Những thiết kế này được cá nhân hóa theo những thành phần có sẵn và có thể khó sao chép và điều chỉnh hoặc thiếu hướng dẫn lắp ráp đầy đủ. Thiết kế máy phủ nhúng được trình bày ở đây cung cấp một mô hình cơ sở có thể dễ dàng sửa đổi để đáp ứng các thông số kỹ thuật khác nhau.

2. Mô tả phần cứng

Thiết kế máy phủ nhúng được chia thành hai phần lắp ráp phụ, phần máy và phần mạch điện. Phần máy bao gồm các tấm acrylic, cụm truyền động tuyến tính và kẹp. Các tấm acrylic đóng vai trò vừa là lớp nền vừa là lớp chống bụi cho máy. Bộ truyền động tuyến tính là bộ phận chính của máy, nó bao gồm một vít me acme và một giá đỡ. Một chiếc kẹp được gắn vào giá đỡ thông qua giá đỡ ở góc. Kẹp được sử dụng để giữ chất nền trong quá trình nhúng. Máy được lắp ráp bằng cách sử dụng đai ốc và bu lông để cho phép lắp ráp và thay đổi thiết kế dễ dàng. Bảng acrylic phía trên được gắn vào phần còn lại của máy thông qua Velcro chắc chắn để cho phép dễ dàng tiếp cận bộ truyền động tuyến tính và động cơ. Thiết kế này cũng cho phép thực hiện những thay đổi để đáp ứng nhu cầu của người tiêu dùng. Ví dụ: nếu muốn khoảng cách di chuyển dài hơn thì thanh dẫn hướng tuyến tính, tấm bên acrylic và các mặt đóng khung nhanh sẽ chỉ cần được tăng tỷ lệ. Phần mạch bao gồm động cơ bước NEMA 23, bảng ELGOO Uno R3 (được sử dụng làm bộ điều khiển động cơ), trình điều khiển động cơ TB6600, công tắc giới hạn và tấm chắn màn hình cảm ứng. Uno được lập trình bằng Arduino IDE để cho phép người dùng dễ dàng nhập các thông số kỹ thuật mong muốn như khoảng cách di chuyển, số chu kỳ, tốc độ, thời gian dừng và thời gian sấy thông qua màn hình cảm ứng^[12]. Người dùng còn có tùy chọn kết nối ELEGOO Uno R3 với máy tính thông qua dây USB và trực tiếp thay đổi thông số kỹ thuật thông qua Arduino IDE. Arduino IDE thường được sử dụng cho các ứng dụng có thể tùy chỉnh. Ví dụ, Luken et al. sử dụng bộ vi điều khiển nano Arduino để điều khiển thiết bị lọc dòng tiếp tự động. Bộ điều khiển trong thiết bị của họ được sử dụng để điều khiển máy bơm, xuất ra màn hình LCD và nhận thông tin từ các cảm biến^[13].

Máy phủ nhúng được lập trình trong đó khi bật lần đầu, phải nhấn nút điều hướng để làm cho giá đỡ nâng lên cho đến khi chạm đến công tắc giới hạn để đảm bảo mỗi lần sử dụng đều bắt đầu từ cùng một vị trí. Thiết kế còn có nút reset để dừng máy bất cứ lúc nào trong quá trình sử dụng. Tất cả các mạch được đặt trong một hộp mạch và được gắn ở bên trái của phần còn lại của máy, cho phép dễ dàng tiếp cận và bảo vệ mạch khỏi lớp phủ được sử dụng trong máy phủ nhúng. Thiết kế máy phủ nhúng này cho phép người dùng dễ dàng tùy chỉnh và có nhiều ứng dụng.

- Do kích thước nhỏ của máy, máy nhúng này rất lý tưởng để sử dụng trong phòng thí nghiệm.
- Nó có thể được sử dụng để chuẩn bị chất nền cho các nghiên cứu về tính chất vật liệu.
- Máy phủ nhúng có thể được sử dụng để phủ nhiều loại màng lên bề mặt. Ví dụ, một thử nghiệm được thực hiện với lưới đồng làm chất nền và lớp phủ gel được áp dụng cùng với chất nhúng để làm cho lưới siêu thẩm nước.

3. File thiết kế

Tất cả các tệp thiết kế (mã CAD và Arduino) có thể được tìm thấy tại <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3AB6Z>.

3.1. Tập tin phần cứng

Tên file thiết kế	Loại tệp	Giấy phép nguồn mở	Vị trí của tập tin
Lắp ráp hoàn chỉnh	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/tk8sn

- Xem phụ lục để biết vị trí của cụm thiết bị truyền động, ốc vít và các tệp CAD đóng khung máy bổ sung được sử dụng trong cụm lắp ráp hoàn chỉnh ([Hình 18](#)).

3.1.1. File lắp ráp hộp mạch

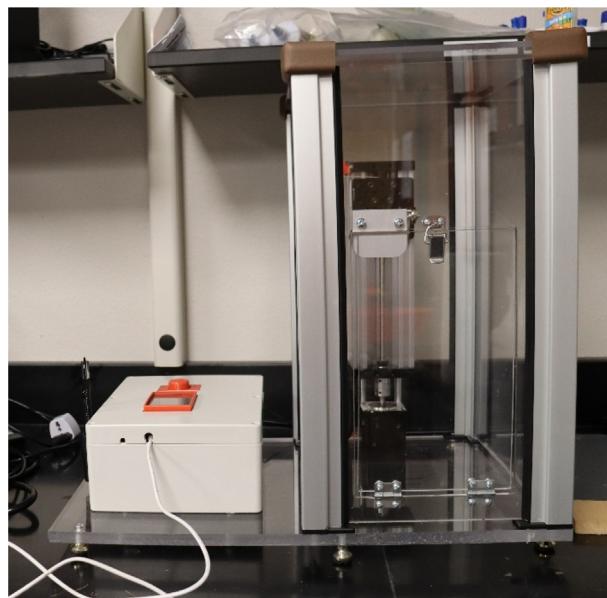
Tên file thiết kế	Loại tệp	Giấy phép nguồn mở	Vị trí của tập tin
Đầu hộp mạch	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/7txa3
Đáy hộp mạch điện	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/8qu2s
Ông đứng	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/e8bm9
Cái nút	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/s2u35
bìa nút	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/xsa2p

- Tệp CAD trên cùng của hộp mạch ([Hình 8](#)) cho biết những vết cắt đã được thực hiện trên nắp hộp được mua ban đầu. Các lỗ được tạo ở mặt trên cũng như các mặt dành cho màn hình cảm ứng, nút đặt lại và dây điện.
- Tệp CAD dưới cùng của hộp mạch ([Hình 10](#)) cho thấy những lỗ nào đã được khoan trong hộp đã mua để gắn nó vào để acrylic.
- Riser là một phần có thể in 3d ([Hình 14](#)) để nâng màn hình cảm ứng và nút lên ngang bằng với mặt trên của hộp mạch.

3.1.2. Tập tin đóng khung máy

Tên file thiết kế	Loại tệp	Giấy phép nguồn mở	Vị trí của tập tin
Lắp ráp cửa	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/mxnyj
Bảng điều khiển cửa	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/uw38n
Cửa	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/5erp9
Cơ sở nhà ở mới	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/rf9ju
Bảng điều khiển bên L&R	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/64sef
Bảng điều khiển bên	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/bjnxu
Bảng trên cùng	CAD	GPL-3.0	https://osf.io/b4umj

- Tấm cửa acrylic được mua theo kích thước từ nhựa vòi giống như các mặt acrylic khác. Tuy nhiên, một cánh cửa đã được cắt ra từ tấm này từ một xưởng gia công bên ngoài.



Hình 1.Việc lắp ráp hoàn chỉnh thiết bị phủ nhung. Máy bao gồm một hộp mạch với bảng điều khiển màn hình cảm ứng và một buồng kín để thực hiện lớp phủ nhung.

- Tệp CAD mặt sau acrylic ([Hình 9](#)) hiển thị vị trí các lỗ được khoan trên tấm acrylic đã cắt theo kích thước từ nhựa máy. Những lỗ này đã được thêm vào để gắn bộ truyền động tuyến tính vào máy.
- Tệp CAD cơ sở máy ([Hình 11](#)) cho thấy những lỗ nào đã được khoan trên bảng acrylic để gắn hộp mạch, chân cân bằng và đế khung nhanh ở góc.

3.2. Tập tin phần mềm

Tên file thiết kế	Loại tệp	Giấy phép nguồn mở	Vị trí của tập tin
chất nhung	Mã Arduino	GPL-3.0	https://osf.io/jgtav
Motor_Test_Code	Mã Arduino	GPL-3.0	https://osf.io/m64yt

- Tệp Dip Coater Code có mã Arduino được tải lên ELEGOO Uno R3.
- Tệp Mã kiểm tra động cơ có mã Arduino có thể được sử dụng để kiểm tra xem động cơ có được kết nối đúng cách hay không.

4. Hóa đơn vật liệu

4.1. Hóa đơn vật liệu - thành phần điều khiển

Thành phần chỉ định	Số lượng	Chi phí mỗi đơn vị: \$ \$	Tổng nguồn nguyên liệu Chi phi -	Vật liệu kiểu
Trình điều khiển động cơ TB6600	1	\$11,99	\$11,99 https://www.amazon.com/UsongShine-Stepper-Controller-Arduino-Printer/dp/B07HHS14VQ/ref=sr_1_1_sspa?dchild=1&keywords=tb6600&qid=1606953122&sr=8-1-spons&psc=1&smid=A1RTFVC120VZT2&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGImaWVyPUEyUVk4U1VKMDk5SEsyImVuY3j5cHRIZElkPUEwOTUzOTE5MlhNVUhOOFhMVVKQizLbmNyeXB0ZWRBZEIkPUEwNDIwMTUzMUo2NkM5NjhZUOxRyZ3aWRnZXROYW1IPXNwx2F0ZiZhY3RpB249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCzb05vdExvZ0NsawNrPxRydWU="	Không cụ thể
ELEGOO UNOR3 bộ khởi đầu		\$29,75	\$29,75 https://www.amazon.com/gp/product/B01D8KOZF4/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&psc=1	Không cụ thể
Nguồn điện Excelway		\$10,99	\$10,99 https://www.banggood.com/Excelway-9-24V-3A-72W-AC-or-DC-Adapter-Switching-Power-Supply-Regulated-Power-Adapter-Display-EU-Plug-p-1250656.html?akmClientCountry=America&abprots=0&rmmds=search&p=NU271226024945201810&custlxnkid=429307&cur_warehouse=CN	Không cụ thể
Bộ chuyển đổi đầu nối DC Ksmile		\$5,99	\$5,99 https://www.amazon.com/Female-Power-Adapter-Connector-Camera/dp/B01ER6QWAY/ref=sr_1_4?dchild=1&keywords=d+&b%0D%0Achuyển+đổi+cái+đầu+nối&qid=1606954404&sr=8-4	Không cụ thể
Động cơ bước NEMA 23		\$27,99	\$27,99 https://openbuildpartstore.com/nema-23-stepper-motor/	Không cụ thể
Màn hình cảm ứng kháng chiến		\$18,99	\$18,99 https://www.amazon.com/gp/product/B01EUVJYME/ref=ox_sc_act_title_1?smid=A2WWHQ25ENKV1&psc=1	Không cụ thể
Cylewet 6 Chiếc V-153-1C25 Micro Công Tắc Giới Hạn Bản Lề Dài Tháng Cánh Tay Đòn SPDT Snap Hành Động Rất Nhiều Cho Arduino (Gói 6) CYT1068		6,99 USD	6,99 USD https://www.amazon.com/Cylewet-V-153-1C25-Straight-Arduino-CYT1068/dp/B071NSRH3/ref=sr_1_1_sspa?dchild=1&keywords=limit+switch+for+arduino&qid=1617127748&s=industrial&sr=1-1-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGImaWVyPUE0MzUwNzISVkm4WkEmZW5jcnlwdGVkSWQ9QTEwMTMyMjM0NUoyWkhUVUBSQVAmZW5jcnlwdGVkQWRjZD1BMDczNTEyOTjGMjdKlpDMVowVzAmd2lkZ2V0TmFzT1zcF9hdGYmYWNoaW9uPNsaWNrUmVkaXjY3QmZG9Ob3RMb2dDbGljaz10cnVl	Không cụ thể
Mở rộng lá chắn vít Gifkun		9,28 USD	9,28 USD https://www.amazon.com/Gikfun-Shield-Expansion-Arduino-EK7007/dp/B014SGTP20	Không cụ thể
BNTECHGO 18 Gauge Dây silicon 10 ft đỏ và 10 ft đen Dây đồng bị mắc kẹt 18 AWG linh hoạt		6,98 USD	6,98 USD https://www.amazon.com/BNTECHGO-Silicone-Flexible-Strands-Stranded/dp/B01AQOI36M/ref=sr_1_35_sspa?dchild=1&keywords=silicone+wire&qid=1617130186&sr=8-35-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGImaWVyPUEyVlUU1GU0cxVzFNjmVuY3j5chHRIZElkPUEwNDQ2NDA5WDjjMFZwKlCRUgjVmVY3j5cHRIZEFkSWQ9QTEwMzk0OTBHWlpYRTYzRDVaSEcmd2lkZ2V0TmFzT1zcF9tdGYmYWNoaW9uPWNsaWNrUmVkaXjY3QmZG9Ob3RMb2dDbGljaz10cnVl	Không cụ thể

4.2. Hóa đơn vật liệu – Đính kèm

	Thành phần chỉ định	Số lượng	Chi phí mỗi đơn vị-\$	Tổng cộng Chi phí - \$	Nguồn nguyên liệu	Vật liệu kiểu
1	Vỏ bọc cho mạch (10,4 2 3,7 in.)	7. 1	\$22,99	\$22,99	Amazon	Polyme
2	Đế acrylic (Độ dày = 1/2 in, Chiều rộng = 14 in, Chiều dài = 20 in, Màu sắc: trong suốt)		\$52,50	\$52,50	\$52,50	Acrylic
3 (Quay lại bảng điều khiển)	1,000x1,000 Cấu hình ống (Chiều dài = 17 in)	4	4,83 USD		\$19,32	Kim loại
3 (Quay lại bảng điều khiển)	Tấm ốp lưng và cửa bằng acrylic (Độ dày = 1/4 inch, Chiều rộng = 8 inch, Chiều dài = 17 inch, Màu sắc: trong suốt)	2	\$13,60	\$27,20	\$27,20	Acrylic
4 (Cửa bảng điều khiển)	Đầu nối đế góc 90 độ	4	\$1,45	\$5,80	\$5,80	Polyme
5	Gói thiết bị truyền động tuyến tính C-Beam	1	\$112,99	\$112,99	https://openbuildspartstore.com/c-chùm-tuyến-tính-thiết-bị-truyền	Khác
6	Giá đỡ góc	1	\$27,90	\$27,90	https://www.mcmaster.com/15655A41/	Kim loại
7	Kẹp lò xo thu nhỏ	1	2,65 USD	2,65 USD	https://www.mcmaster.com/6076A17/	Kim loại
9	Tấm acrylic bên trái và bên phải (Độ dày = 1/4 in, Chiều rộng = 12 in, Chiều dài = 17 in, Màu sắc: trong suốt)	2	\$20,40	\$40,80	https://www.tapplastics.com/sản-phẩm/nhựa/cut-to-size-plastic/acrylic-sheets-cast-clear/510	Acrylic
11	Bản lề gắn mộng có lỗ (Chốt không thể tháo rời, Thép mạ kẽm, 100x1/200Lá Cửa) (1598A52)	2	1,12 USD	2,24 USD	https://www.tapplastics.com/sản-phẩm/nhựa/cut-to-size-plastic/acrylic-sheets-cast-clear/510	Kim loại
13	Chốt rút (Bắt vít, Thép không gỉ 304, 1-3/400 Dài 7/800Rộng) (6082A12) Nắp cuối khung nhanh	1	6,77 USD	6,77 USD	https://www.mcmaster.com/6082A12/	Kim loại
14		4	1,25 USD	\$5,00	https://8020.net/9210.html	Polyme
15	Bảng điều khiển acrylic trên cùng (Độ dày = 1/4 inch, Chiều rộng = 10 inch, Chiều dài = 14 inch, Màu sắc: trong suốt)	1	\$14,00	\$14,00	https://www.tapplastics.com/sản-phẩm/nhựa/cut-to-size-plastic/acrylic-sheets-cast-clear/510	Acrylic
16	Đai ốc lục giác mỏng - M5	2	0,10 USD		https://openbuildspartstore.com/mỏng-hex-nut-m5/	Kim loại
18	Vít đầu lục giác loại 8,8 có độ bền trung bình bằng thép 1 Mạ kẽm, M4 0,7 mm Ren, dài 16 mm		7,26 USD	7,26 USD	https://www.mcmaster.com/91280A136/	Kim loại
19	Xoay San lắp mặt bằng Thép mạ kẽm có đệm cao su và 10-32 lỗ ren	6	\$4,30	\$25,80	https://www.mcmaster.com/6103K81/	Kim loại
20	Vít biên dạng thấp M5 (10 gói) 2 (12 mm)		\$1,09	\$2,18	https://openbuildspartstore.com/low-profile-vít-m5-10-pack/	Kim loại
21	Chặn cửa nhôm số 4483 Hillman #10-32x 1-in Phillips/ Vít máy dẫn động kết hợp có rãnh (6 số)	1	\$5,30	\$1,28	\$1,28	Kim loại
26	#10-32x 1-in Phillips/ Vít máy dẫn động kết hợp có rãnh (6 số)	1	\$1,28		\$1,28	Kim loại

↑ (tiếp tục)

Thành phần chỉ định	Số lượng Chi phí mỗi đơn vị-\$	Tổng cộng Chi phí - \$	Nguồn nguyên liệu	Vật liệu kiểu
22 & 23 Hillman #10-32x 3/4-in Phillips/ 1 Ổ đĩa kết hợp có rãnh Vít máy (8 số)	\$1,28	\$1,28	https://www.lowes.com/pd/Hillman-10-32-x-3-4-in-Phillips-Slotted-Combination-Drive-Machine-Vít-8-Count/3035879	Kim loại
24 và 25 Hillman #4-40 Phillips 1/2 inch/ 1 Vít máy truyền động kết hợp có rãnh (14-Đếm)	\$1,28	\$1,28	https://www.lowes.com/pd/Hillman-4-40-x-1-2-in-Phillips-Slotted-Combination-Drive-Machine-Vít-14-Count/3036645	Kim loại
Gel siêu keo Gorilla	1	\$6,84	https://www.amazon.com/Gorilla-Super-Glue-gram-Clear/dp/B082XGL21J/ref=sr_1_3?dchild=1&keywords=gorilla+glue&qid=1625866263&sr=8-3	

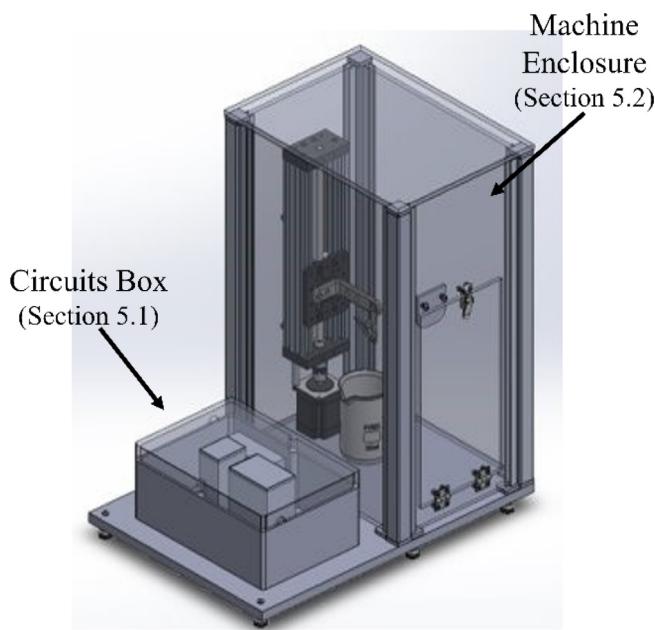
4.3. Danh mục vật liệu – Vỏ bọc và điều khiển các kết nối/hoàn thiện

Thành phần chỉ định	Số lượng Chi phí mỗi đơn vị-\$	Tổng nguồn nguyên liệu Chi phi - \$	Nguồn nguyên liệu Chi phi - \$	Vật liệu kiểu	
Miếng đệm băng điều khiển tiết kiệm dòng 15 Số 2115 (30 feet) Miếng đệm viền cạnh kênh chữ U màu đen 1 EPDM 33/640cao X 32/1100 Rộng - Chiều dài 5 feet (1,55 M)	16	0,53 USD	8,48 USD	https://8020.net/2115.html	Polyme
Alex Tech 10ft-1/40010ft-3/800 10ft-1/200Ống luồn dây điện dạng ống chia dây – Đen	1	8,99 USD	8,99 USD	https://www.amazon.com/dp/B07DGFMZJF/ref=cm_sw_r_cp_api_glt_fabc_5ZT02DGGJVCK1N19714F_mã_hóa=UTF8&th=1	Polyme
Bút cảm ứng	1	\$12,99	\$12,99	https://www.amazon.com/Alex-Tech-50ft-Tubing-Conduit/dp/B07TWB5MKD/ref=sr_1_3?dchild=1&keywords=electrical%252Btube&qid=1616694105&sr=8-3&th=1	Không thông số kỹ thuật
Gel siêu keo Gorilla	1	\$11,87	\$11,87	https://www.amazon.com/Stylus-Chuyên_nghiệp-Điều_hướng-Kháng-Điện_dung/dp/B07PCPXPZ2/ref=sr_1_4?dchild=1&keywords=bút+bút+cho+điện+trở+màn+hình+cảm+ứng&qid=1624885783&s=điện tử&sr=1-4	Không thông số kỹ thuật
				https://www.amazon.com/Gorilla-Super-Glue-gram-Clear/dp/B082XGL21J/ref=sr_1_3?dchild=1&keywords=gorilla+glue&qid=1625866263&sr=8-3	

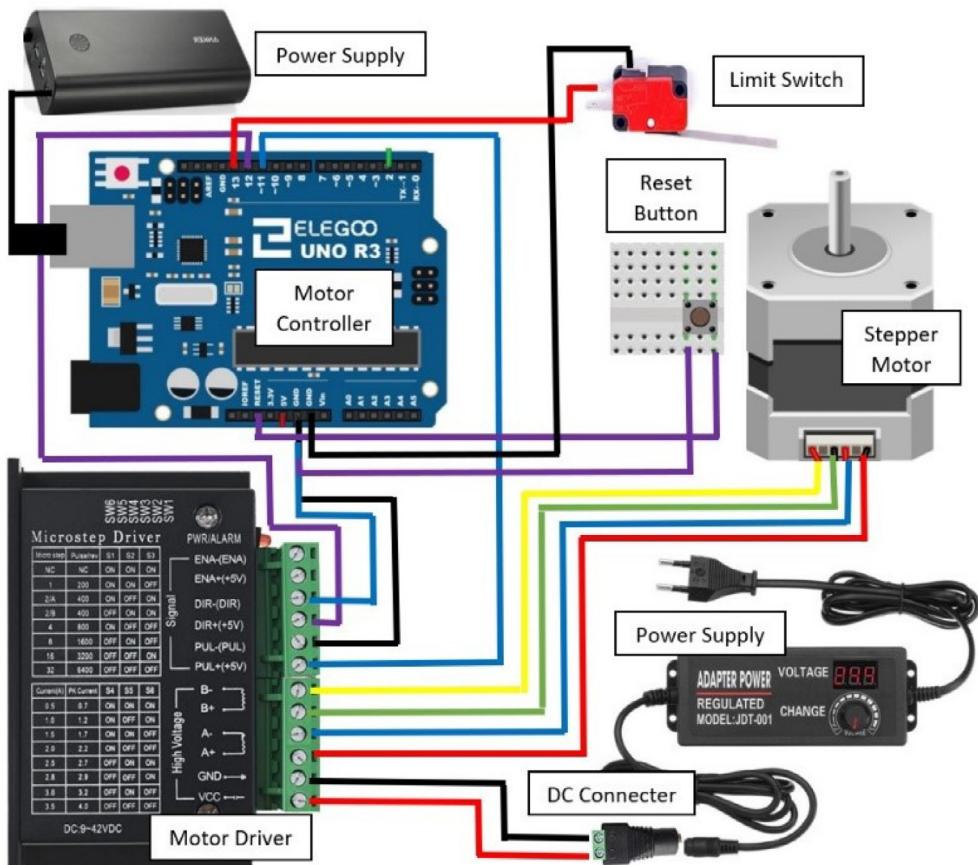
Phần lớn các vật liệu cần thiết có thể được mua và sử dụng khi có, chẳng hạn như khung nhanh, ốc vít và các thành phần mạch điện. Mặt trước acrylic và nắp mạch cần được khoét lỗ bằng cách sử dụng máy cắt hoặc cưa laser. Để acrylic, mặt trước acrylic, mặt sau acrylic và đáy hộp mạch cần phải khoan lỗ.

5. Hướng dẫn xây dựng

Quá trình xây dựng được chia thành ba phần riêng biệt. Đầu tiên là kết nối phần điều khiển của thiết bị. Điều này bao gồm các kết nối được thực hiện trong mạch và tải lên mã cần thiết để điều khiển máy. Phần thứ hai là thi công phần vỏ của máy. Điều này bao gồm một bộ truyền động tuyến tính, vỏ acrylic và vỏ mạch. Phần cuối cùng trình bày cách kết nối máy đóng khung phần mạch. Điều này bao gồm việc lắp đầy hộp mạch, lắp bộ truyền động tuyến tính và bọc dây dẫn.



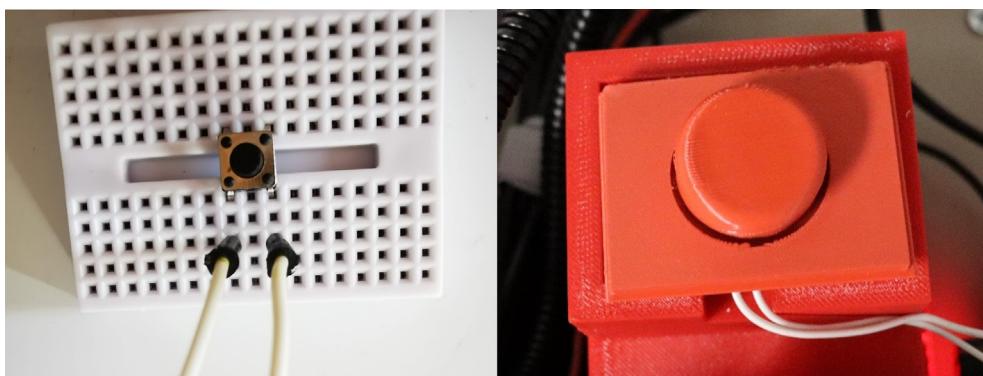
Hình 2.Bản vẽ CAD của thiết kế.



Hình 3.Sơ đồ mạch không bao gồm màn hình cảm ứng.

5.1. Hướng dẫn xây dựng - Điều khiển

1. Kết nối trực tiếp phần mở rộng tấm chắn vít với ELEGOO UNO R3 từ bộ khởi động.
2. Kết nối màn hình cảm ứng với phần mở rộng tấm chắn vít. Nó sẽ phù hợp trực tiếp với các thiết bị đầu cuối.
3. Kết nối trình điều khiển động cơ TB6600 với động cơ bước NEMA 23. Động cơ NEMA 23 đi kèm với dây 4 dây có đầu nối kèm theo cảm trực tiếp vào động cơ bước. Đối với trình điều khiển động cơ TB6600, các công tắc được bật tương ứng với 200 bước trên mỗi vòng quay. Điều quan trọng cần lưu ý là động cơ của một nhà sản xuất khác có thể có bộ màu khác cho dây. Đối với động cơ được chỉ định, các kết nối được thực hiện như sau:
 a. Dây màu vàng trên động cơ bước đến cực B trên TB6600
 b. Dây màu xanh lá cây trên động cơ bước đến cực B+ trên TB6600
 c. Dây màu xanh trên động cơ bước đến cực A trên TB6600
 d. Dây màu đỏ trên động cơ bước đến cực A+ trên TB6600
4. Kết nối Đầu nối DC với trình điều khiển động cơ TB6600. Các kết nối được thực hiện như sau:
 Một. Đầu cực GND trên TB6600 đến cực – trên đầu nối DC sử dụng dây màu đen.
 b. Đầu cuối VCC trên TB6600 đến đầu cuối + trên đầu nối DC bằng dây màu đỏ.
5. Cắm nguồn điện của bộ chuyển đổi AC/DC vào đầu nối DC.
 Một. Nguồn điện của bộ chuyển đổi AC/DC được đặt thành 24 V. Nguồn điện này chỉ được sử dụng cho trình điều khiển động cơ. Bảng mạch ELEGOO UNO R3 được cấp nguồn từ máy tính.
6. Kết nối một trong các nút với bảng mạch nhỏ. Đặt nút sao cho nó ở cả hai bên của bảng mạch. Cả hai thành phần này đều có thể được tìm thấy trong bộ khởi động.
7. Nối hai dây vào nút. Cả hai đều ở cùng một phía của bảng mạch như minh họa trong [Hình 4](#).
8. Nút bọc nút và nắp nút in 3d. Phần này cũng có thể được thay thế bằng bất kỳ nút nào.
9. Hàn dây màu đỏ và đen vào công tắc hành trình. Dựa vào nhãn [Hình 5](#), hàn dây đen vào Gnd và dây đỏ vào +.
10. Kết nối tất cả các thành phần với ELEGOO UNO R3. Tất cả những thiết bị sau đây sẽ được kết nối thông qua các đầu vít trên bo mạch mở rộng tấm chắn vít. Một số thành phần sẽ được kết nối với cùng một thiết bị đầu cuối trên ELEGOO UNO R3. Thực hiện các kết nối như sau:
 Một. Nối đất với ELEGOO UNO R3 để
 Tô. Gnd trên công tắc giới hạn (dây màu đen)
 ii. Thiết bị đầu cuối DIR-(DIR) trên TB6600



Hình 4.Nút reset được kết nối với một breadboard nhỏ và được bọc bằng nắp nút in 3d.



Hình 5.Công tắc giới hạn có nhãn tham chiếu cho các kết nối.

- iii. Thiết bị đầu cuối PUL- (PUL) trên TB6600
- iv. Nút (Hoặc dây được kết nối với bảng mạch bằng nút sẽ hoạt động)

b. Reset pin trên m ELEGOO UNO R3 sang dây còn lại trên breadboard bằng nút

c. Ghim 13 trên ELEGOO UNO R3 vào phần + của công tắc hành trình (dây màu đỏ)

d. Chân 12 trên ELEGOO UNO R3 tới cực DIR+(+5V) trên TB6600

đ. Chân 11 trên ELEGOO UNO R3 tới cực PUL(+5V) trên TB6600

11. Sử dụng Arduino IDE để mở mã được cung cấp.

12. Cài đặt các thư viện cần thiết

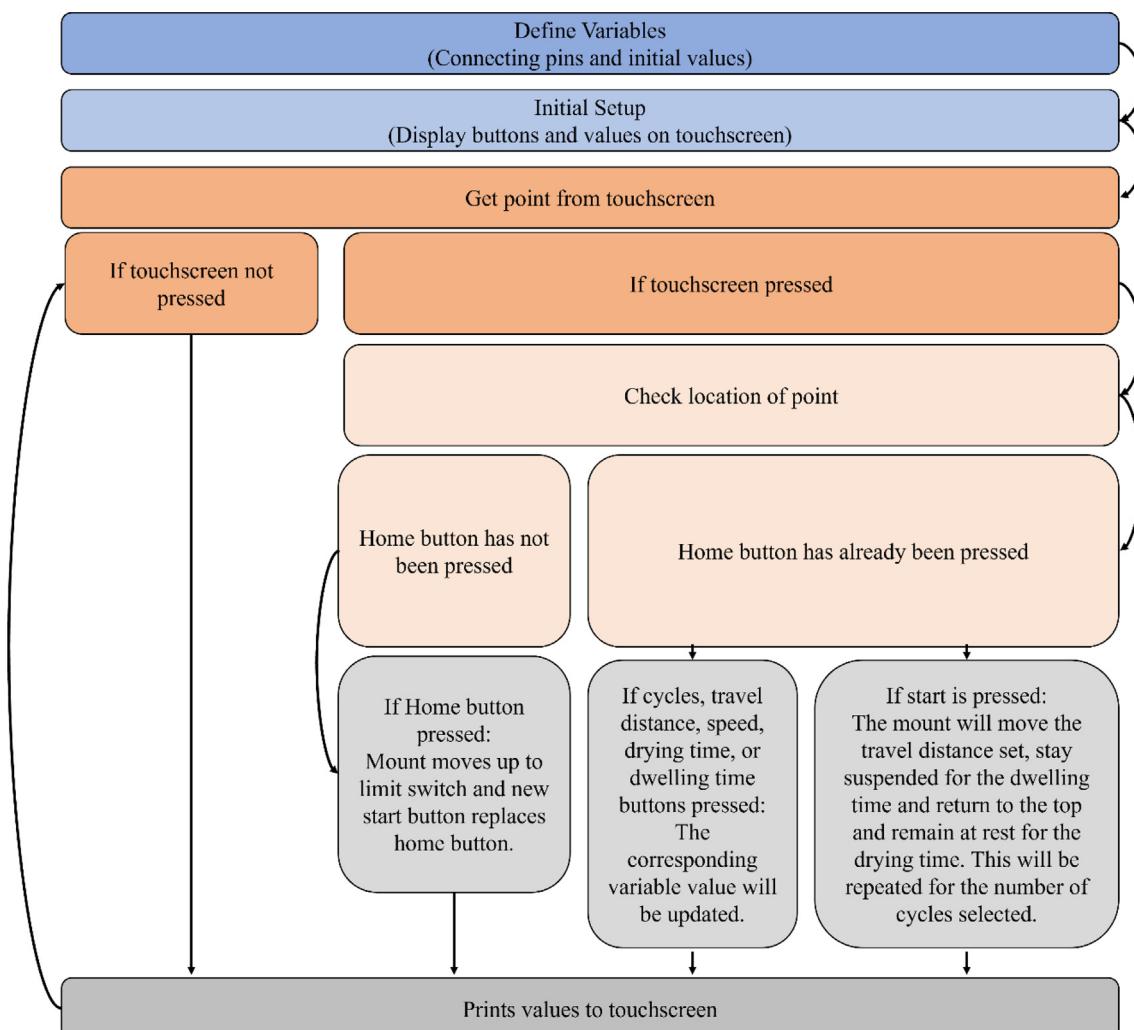
Một. Màn hình cảm ứng Adafruit, Thư viện TFTLCD Adafruit và thư viện Adafruit GFX

13. Kết nối ELEGOO UNO R3 với máy tính bằng đầu nối USB trong bộ khởi động.

14. Trong Arduino IDE, mở danh sách công cụ thả xuống và chọn bo mạch là "Arduino Uno" và chọn đúng cổng. Tải mã lên bảng.

Một. Để kiểm tra để đảm bảo động cơ quay đúng hướng, có mã kiểm tra đi kèm mà khi tải lên sẽ khiến giá đỡ di chuyển xuống rồi quay trở lại. (Xuống đê cập đến khi giá đỡ di chuyển về phía động cơ.)

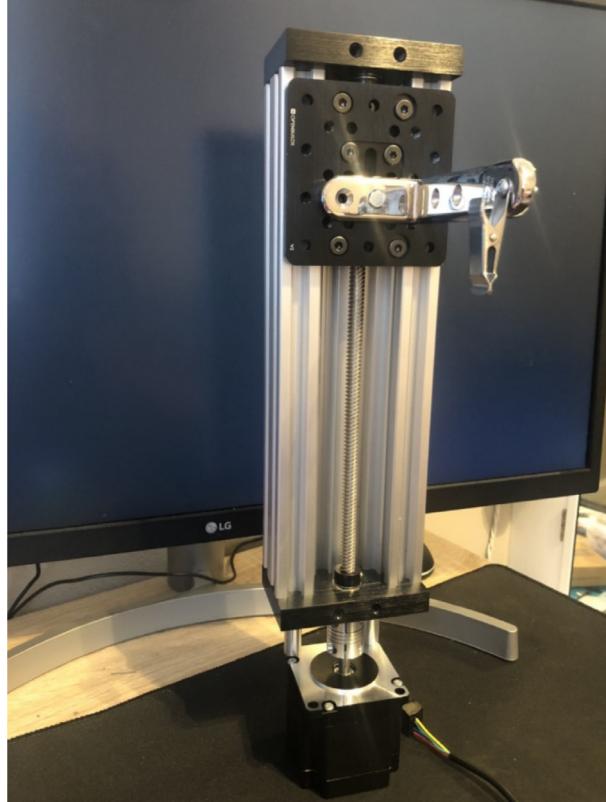
b. Tệp mã khác có mã cần thiết để chạy máy. Sau khi tải lên bo mạch ELEGOO, thiết bị có thể được sử dụng mà không cần kết nối với máy tính.[Hình 6](#) trình bày sơ đồ dòng mã. Mặc dù thiết bị có thể được sử dụng độc lập nhưng mã Arduino cho phép người dùng dễ dàng chỉnh sửa để đáp ứng các thông số kỹ thuật chuyên biệt hơn cần thiết của máy.[Mục 6.2](#) cung cấp thêm chi tiết về cách chỉnh sửa mã.



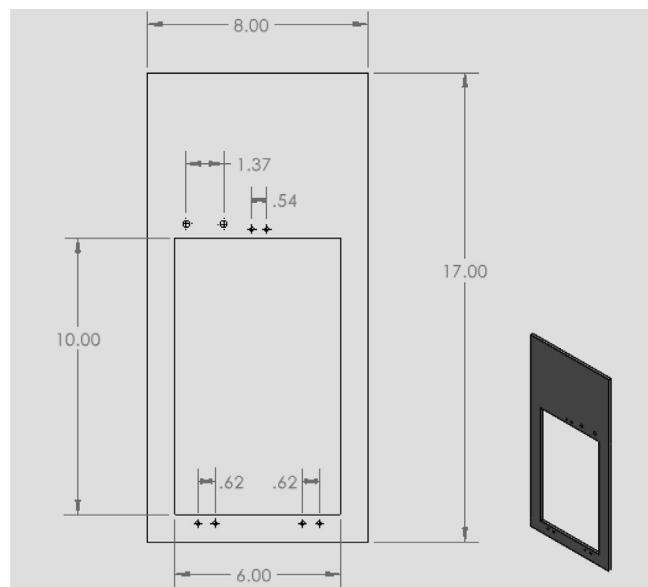
Hình 6.Sơ đồ quy trình hoạt động của mã.

5.2. Hướng dẫn xây dựng - bao vây

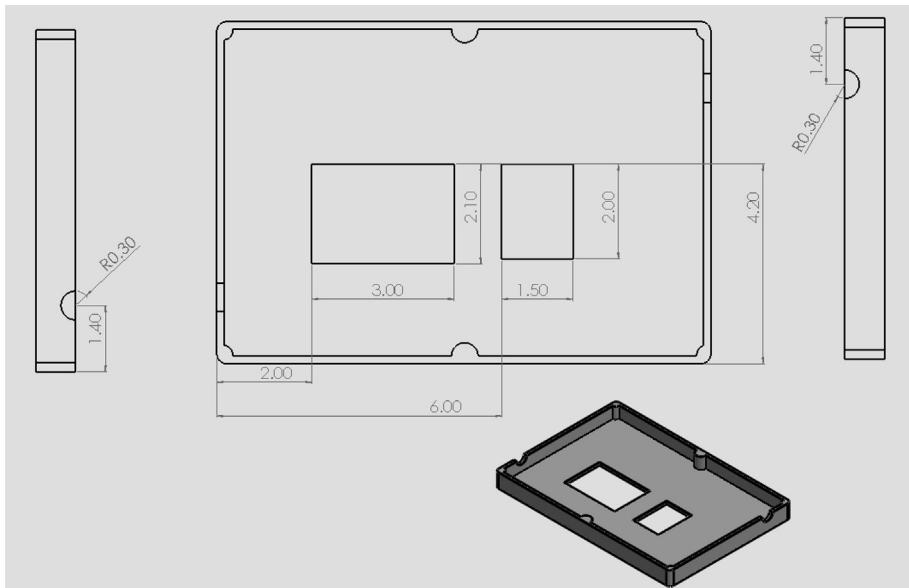
15. Gắn giá đỡ góc (6) vào giá đỡ (có trong bộ truyền động tuyến tính) bằng vít đầu lục giác bằng thép loại 8.8 có độ bền Med dài 16 mm (18) và gắn kẹp lò xo (7) vào đầu của giá đỡ. giá đỡ góc sử dụng vít Phillips #10- 32x 3/4in (22,23).
16. Trượt 4 vít Cấu hình thấp 12 mm M5 (20) ở các khe ngoài cùng phía sau của thanh dẫn hướng tuyến tính từ bộ truyền động tuyến tính. Hai ốc vít ở mỗi bên.
17. Lắp ráp bộ truyền động tuyến tính từ các bản dựng mở và động cơ bước Nema 23. Có một số hướng dẫn có sẵn có thể được làm theo [14]. Đảm bảo giữ các vít trong thanh dẫn hướng tuyến tính từ bước 2 trong quá trình lắp ráp. Bộ truyền động tuyến tính bao gồm một vít me có bước 2 mm. Bộ truyền động tuyến tính được lắp ráp với động cơ, giá đỡ góc và kẹp được trình bày trong [Hình 7](#).
18. Cắt cửa ra khỏi miếng acrylic phía trước (10,12) như trong hình [Hình 8](#) bằng cách mang acrylic đến cửa hàng máy móc. Cả hai phần sẽ được sử dụng trong thiết kế.
19. Cắt lỗ trên nắp hộp mạch như hình [Hình 9](#). Những lỗ này dành cho màn hình cảm ứng và nút reset.
20. Khoan 8 lỗ trên miếng acrylic phía trước (10) để làm bản lề, chốt và chặn cửa và 8 lỗ trên phần cửa của tấm mặt trước (12) để làm bản lề và phần dưới cùng của chốt.
21. Khoan 4 lỗ trên miếng acrylic phía sau để gắn bộ truyền động tuyến tính như minh họa trong hình [Hình 10](#).
22. Khoan 4 lỗ trên đế vỏ mạch như hình [Hình 11](#) để gắn hộp mạch vào đế máy.
23. Khoan lỗ trên đế acrylic (1) như trong [Hình 12](#). Đây là các lỗ để gắn các đầu nối đế khung nhanh, hộp mạch và giá đỡ mức xoay.
24. Gắn bản lề (11) và chốt (13) bằng vít Phillips dài cỡ 4, $\frac{1}{2}$ inch (24 và 25) và gắn tấm chặn cửa theo đúng kích cỡ $10\frac{3}{4}$ bằng vít Phillips dài (22 và 23) vào tấm mặt trước và cửa acrylic (10,12).
25. Gắn các đầu nối đế góc 90 độ (4), hộp mạch và giá đỡ cân bằng (19) vào đế acrylic (1) như minh họa trong hình [Hình 13](#). Tất cả đều được gắn bằng vít Phillips dài cỡ 10, 1 inch (26). Đối với mỗi đầu nối đế góc 90 độ, một bên được giữ bằng đai ốc lục giác trong khi bên còn lại được vặn trực tiếp vào một trong các giá đỡ mức xoay.
26. Trượt các cạnh khung nhanh (2) qua mỗi đầu nối đế (4) như minh họa trong [Hình 14](#).
27. Đặt miếng đệm ở mặt trước và mặt sau của cả hai mặt của tấm acrylic bên (9) và trượt chúng vào các rãnh của khung nhanh ở bên phải và bên trái của máy.



Hình 7. Bộ truyền động tuyến tính được lắp ráp.



Hình 8.Bản vẽ CAD của tấm cửa acrylic.



Hình 9.Bản vẽ CAD của nắp hộp mạch cho thấy các lỗ được tạo cho màn hình cảm ứng, nút đặt lại và dây điện. (Kích thước bản vẽ tính bằng inch).

28. Đặt miếng đệm ở mặt trước và mặt sau của cả hai mặt của tấm acrylic phía trước (10,12) và trượt vào các rãnh của khung nhanh phía trước máy.

5.3. Hướng dẫn lắp ráp – đấu nối mạch vào Máy

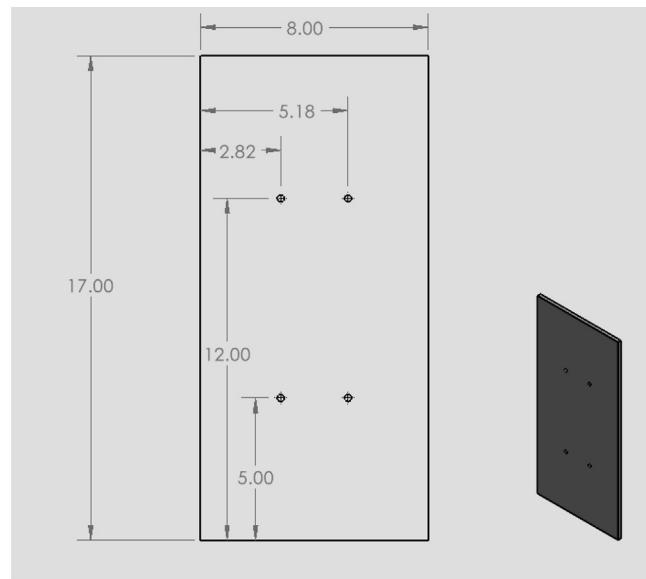
29. Dùng keo dán công tắc giới hạn lên trên cùng của bộ truyền động tuyến tính.

30. Đặt bộ truyền động tuyến tính và động cơ vào máy.

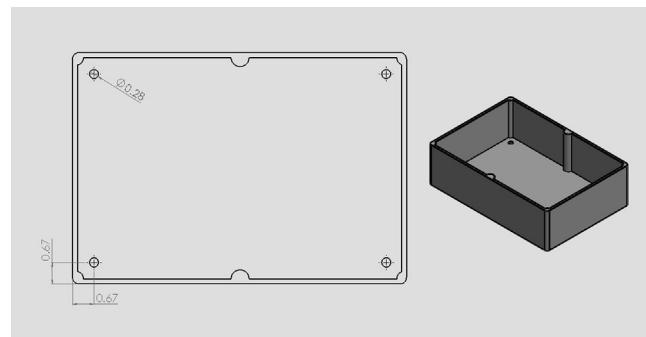
31. Dùng ống dệt dây để bọc dây từ công tắc giới hạn và động cơ.

32. Đặt miếng đệm ở mặt trước và mặt sau của cả hai mặt của tấm acrylic phía sau (3) và trượt vào các rãnh của khung nhanh ở mặt sau.

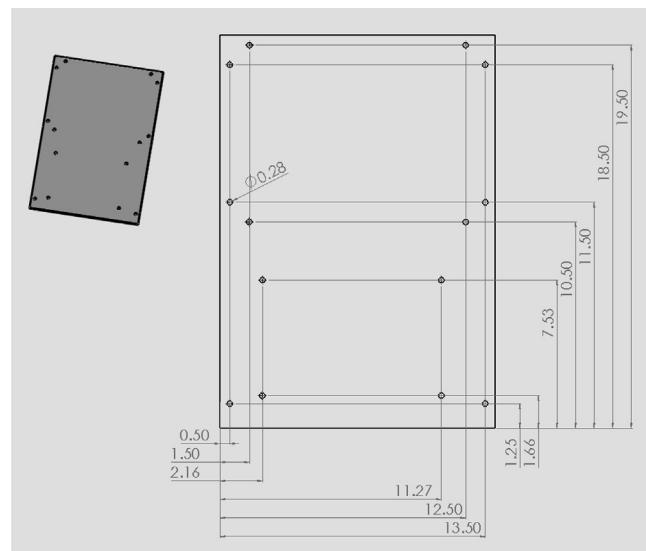
33. Căn chỉnh các vít ở mặt sau của thanh dẫn hướng tuyến tính với các lỗ trên tấm mặt sau acrylic (3).



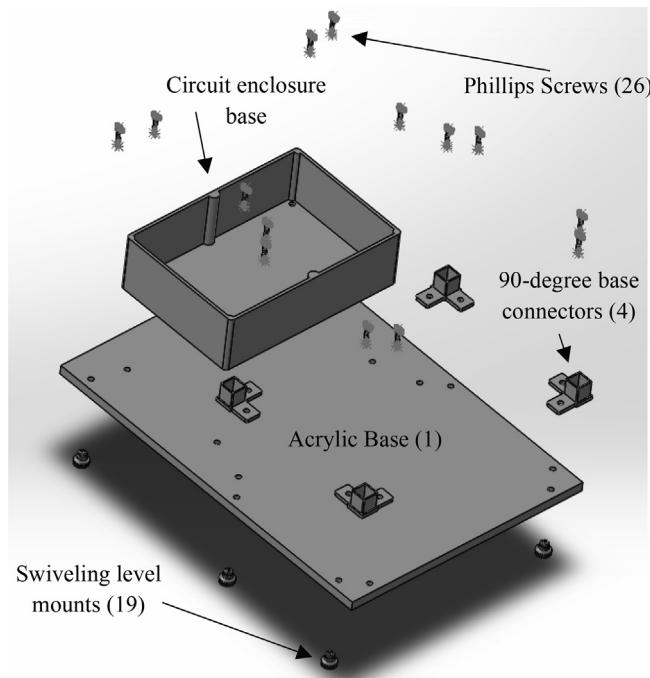
Hình 10.Bản vẽ CAD của mặt sau acrylic. Các lỗ được khoan để gắn bộ truyền động tuyến tính.



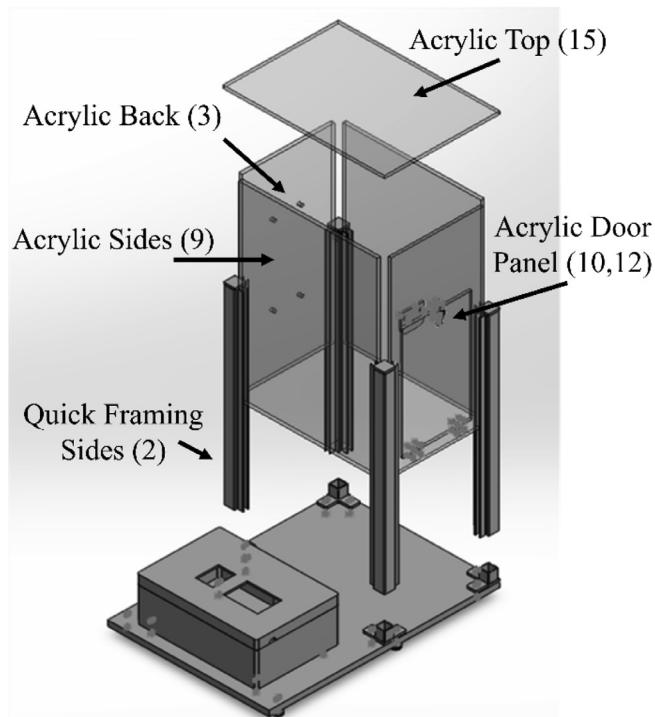
Hình 11.Bản vẽ CAD đáy hộp mạch hiển thị 4 lỗ được làm để gắn hộp vào đế máy. (Kích thước bản vẽ tính bằng inch).



Hình 12.Bản vẽ CAD của đế acrylic cho thấy các lỗ được tạo ra để gắn hộp mạch và vỏ máy. (Kích thước bản vẽ tính bằng inch).

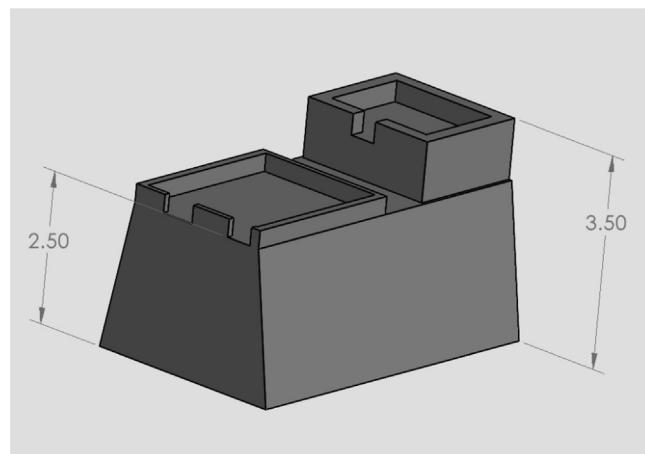


Hình 13.Bản vẽ CAD cho thấy cách gắn hộp mạch, đầu nối đế góc 90 độ và giá đỡ cân bằng vào đế acrylic.

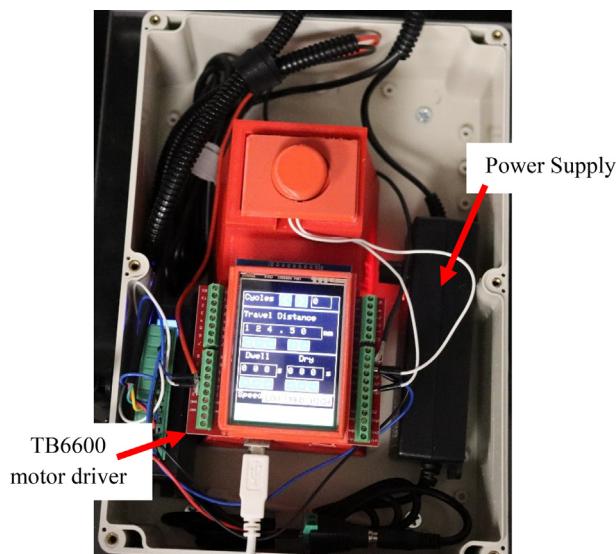


Hình 14.Hình ảnh lắp ráp của máy. Khung đầu tiên được gắn vào, các tấm acrylic được trượt ở hai bên và mặt trên acrylic được gắn bằng Velcro.

34. Sử dụng 4 đai ốc lục giác M5 (16) để cố định thanh dẫn hướng tuyếng tính vào tấm mặt sau acrylic.
35. In 3D khối đứng được hiển thị trong [Hình 15](#) hoặc sử dụng các thanh nâng để nâng màn hình cảm ứng và nút reset lên độ cao của hộp.
36. Đặt nút ELEGOO UNO R3 và nút đặt lại lên ống nâng.
37. Đặt bộ điều khiển động cơ TB6600 và phần hộp của bộ nguồn ở mỗi bên của ống nâng giữ màn hình cảm ứng và nút đặt lại. Điều này được thể hiện trong [Hình 16](#).
38. Dây USB đi ra phía trước hộp trong khi dây nguồn, dây nối với động cơ và công tắc hành trình đi ra phía sau hộp mạch.
39. Đậy nắp hộp mạch lên trên hộp mạch, đảm bảo mọi thứ thẳng hàng với các lỗ đã được cắt. (Màn hình cảm ứng, nút đặt lại, dây USB, ống dệt dây và dây nguồn.) Sau đó, vặn nắp lại bằng các vít đi kèm với hộp mạch ([Hình 17](#)).
40. Đặt các nắp khung nhanh lên từng phần khung.
41. Dán Velcro lên mỗi trong số bốn nắp khung và ở bốn góc của miếng acrylic trên cùng (15).
42. Gắn mặt acrylic vào máy (15).
43. Dán bút vào hộp mạch.



Hình 15. Riser có thể in 3D để nâng màn hình cảm ứng và nút đặt lại. Điều này có thể được thay thế bằng bất cứ thứ gì có thể nâng màn hình lên trên cùng của hộp mạch.

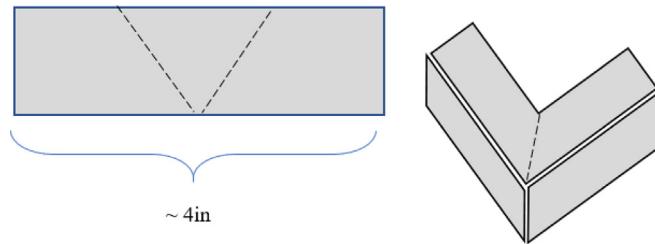


Hình 16. Mạch hoàn thiện.



Hình 17.Bên ngoài hộp mạch đã hoàn thiện.

44. Cắt phần trang trí cạnh kênh chữ U thành 4 đoạn dài khoảng 4 inch. Cắt một góc 90 độ ở phần trên cùng của mỗi mảnh ở giữa. Sau khi cắt cạnh kênh chữ U, uốn cong nó để tạo thành hình như trong [Hình 18](#). Sau đó dán từng cái vào 4 góc trên cùng của máy. Chúng được đưa vào như một tính năng an toàn để tránh các góc nhọn xung quanh đỉnh thiết bị.



Hình 18.Sơ đồ cách cắt rãnh chữ U và cách gấp lại để dán keo quanh 4 góc mặt trên máy.

6. Hướng dẫn vận hành

6.1. Hướng dẫn vận hành – với các biến được lập trình sẵn

1. Cắm máy vào ổ cắm trên tường.
2. Kết nối dây USB với nguồn điện khác. (Máy tính hoặc bộ sạc tường USB.)
3. Máy sẽ tự động bật khi cắm điện.
4. Trước khi có thể sử dụng, hãy nhấn nút home trên màn hình cảm ứng. Thao tác này sẽ di chuyển giá đỡ của máy phủ nhung lên tới công tắc giới hạn để máy sẽ khởi động ở cùng một độ cao mỗi lần.
5. Kẹp lớp nền cần phủ vào giá đỡ của máy.
6. Đặt cốc chứa lớp phủ vào máy dưới lớp nền.
7. Bây giờ, bằng cách sử dụng bút cảm ứng, bạn có thể chọn cài đặt mong muốn. Có 5 biến khác nhau có thể được điều chỉnh từ màn hình cảm ứng.

- Một. Chu kỳ (biến c; mặc định 1): Đây là số lần nhúng máy sẽ thực hiện khi nhấn nút khởi động. Một chu kỳ được định nghĩa là đi xuống quãng đường di chuyển mong muốn, dừng lại trong thời gian mong muốn và trở về độ cao ban đầu sau đó giữ nguyên trong thời gian sấy mong muốn.
- b. Khoảng cách di chuyển (có thể thay đổi td; mặc định 100 mm): Đây là khoảng cách mà giá đỡ sẽ di chuyển xuống khi nhấn nút khởi động.
- c. Thời gian dừng (có thể thay đổi holddwell; mặc định là 0 giây): Đây là khoảng thời gian vật cưỡi sẽ vẫn dừng sau khi nó đã đi hết quãng đường di chuyển xuống.
- d. Thời gian khô (giữ khô có thể thay đổi; mặc định là 0 giây): Đây là khoảng thời gian giá đỡ sẽ vẫn dừng sau khi trở về vị trí bắt đầu.
- d. Tốc độ (biến tốc độVal; mặc định 1250): Biến này liên quan đến tốc độ mà giá đỡ sẽ di chuyển lên và xuống. Mỗi quan hệ giữa speedVal và tốc độ (mm/s) là $tốc\ độVal^{1/4}$. Có ba cài đặt tốc độ được lập trình cho máy (thấp = 0,5 mm/s, trung bình = 1 mm/s, nhanh = 5 mm/s). Chúng có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi mã, cụ thể là biến speedVal và tải lại mã đó lên ELEGOO UNOR3.
8. Sau khi chọn được cài đặt mong muốn, nhấn bắt đầu để bắt đầu chương trình.
9. Nếu cần dừng máy tại bất kỳ thời điểm nào, hãy nhấn nút đặt lại. Thao tác này sẽ đặt lại ELEGOO UNO R3 và máy sẽ ngừng di chuyển. Sau khi nhấn nút này, màn hình cảm ứng sẽ đặt lại nên bạn sẽ cần phải nhấn nút home một lần nữa và cần phải chọn lại các cài đặt để tiếp tục vận hành máy.

6.2. Hướng dẫn vận hành – chỉnh sửa mã

1. Tải Arduino IDE trên máy tính[4].
2. Cắm dây USB từ ELEGOO UNO vào máy tính.
3. Mở tệp "Dip Coater Code" trong Arduino IDE.
4. Thay đổi các tính năng mong muốn. Mọi thứ từ giao diện của màn hình cảm ứng, khoảng cách di chuyển tối đa, giá trị tốc độ, v.v., đều có thể được điều chỉnh thông qua mã.
5. Mã được tổ chức theo dạng:
 - a. Một. Cài đặt thư viện và xác định biến

Tôi. Phần này trước tiên sẽ nhập các thư viện cần thiết cho màn hình cảm ứng. Các thư viện này phải được cài đặt trong Arduino IDE trước khi sử dụng.

ii. Nó cũng xác định các chân được sử dụng cho các kết nối màn hình cảm ứng và động cơ.

iii. Các biến khác cũng được xác định ở đây như màu sắc, giá trị ban đầu, khoảng cách di chuyển và ba tùy chọn tốc độ.
 - b. Thiết lập ban đầu

Tôi. Phần mã này được thực thi mỗi khi máy được bật. Nó bao gồm các chi tiết về chân nào là đầu ra và đầu vào và tạo ra màn hình hiển thị ban đầu trên màn hình cảm ứng.
 - c. Chức năng vòng lặp

Tôi. Phần mã này được thực thi liên tục sau khi bật máy.

ii. Điều đầu tiên được thực hiện là khoảng cách di chuyển, tính toán thời gian ở/sấy khô. Điều này là do mã được viết sao cho trong những trường hợp này, giá trị vị trí được người dùng thay đổi, do đó những thay đổi này phải được chuyển đổi thành các biến để sử dụng.

iii. Sự bắt đầu của lệnh if kiểm tra xem màn hình cảm ứng đã được nhấn chưa.

iv. Sau khi nhấn vào màn hình, điểm sẽ được lưu dưới dạng tọa độ và được chuyển qua một loạt các lệnh if để xác định nút nào đã được nhấn.

 1. Đầu tiên là lệnh if dành cho nút home. Khi được kích hoạt, động cơ sẽ di chuyển lên tới công tắc giới hạn rồi lùi lại vài bước rồi dừng lại. Sau đó, nút Home được thay thế bằng nút Start.
 2. Tiếp theo là lệnh if dành cho các nút chu kỳ. Khi nhấn vào đây, số chu kỳ sẽ tăng/giảm một.
 3. Sau đó, các nút khoảng cách di chuyển sẽ được liệt kê. Những điều này sẽ thay đổi giá trị vị trí của tổng khoảng cách di chuyển.
 4. Tiếp theo là lệnh if kiểm soát tốc độ. Khi được kích hoạt, tốc độ đã chọn sẽ được tô sáng và tốc độ được đặt thành giá trị liên quan.
 5. Thời gian ở của lệnh if sau đó được liệt kê theo sau là thời gian khô. Chúng hoạt động tương tự như khoảng cách di chuyển bằng cách thay đổi giá trị địa điểm của thời gian.
 6. Cuối cùng, một lệnh if cho nút bắt đầu được liệt kê. Khi nhấn nút này, máy sẽ bắt đầu quá trình nhúng, dựa trên tốc độ đã chọn, thời gian giữ/sấy khô, số chu kỳ và tổng khoảng cách di chuyển.

6. Bất kỳ mã nào cũng có thể được điều chỉnh để đáp ứng các thông số kỹ thuật mong muốn. Một tính năng hữu ích là màn hình nối tiếp trong Arduino IDE. Nó có thể được sử dụng để in ra thông tin nhằm đảm bảo màn hình cảm ứng của bạn hoạt động bình thường mà không gây ra sự cố với động cơ. Ví dụ: nếu muốn thay đổi vị trí của các nút trên màn hình, có thể thêm một dòng in sau câu lệnh if cho các nút. Dòng in này sau đó sẽ xuất ra màn hình nối tiếp mỗi lần nhấn nút.
7. Bước cuối cùng là chọn bo mạch "Arduino Uno" và cổng chính xác. Sau đó nhấn nút tải lên.
8. Bây giờ thiết bị đã được điều chỉnh để nếu không có máy tính, nó sẽ giữ lại những thay đổi này.

7. Xác nhận và mô tả đặc tính

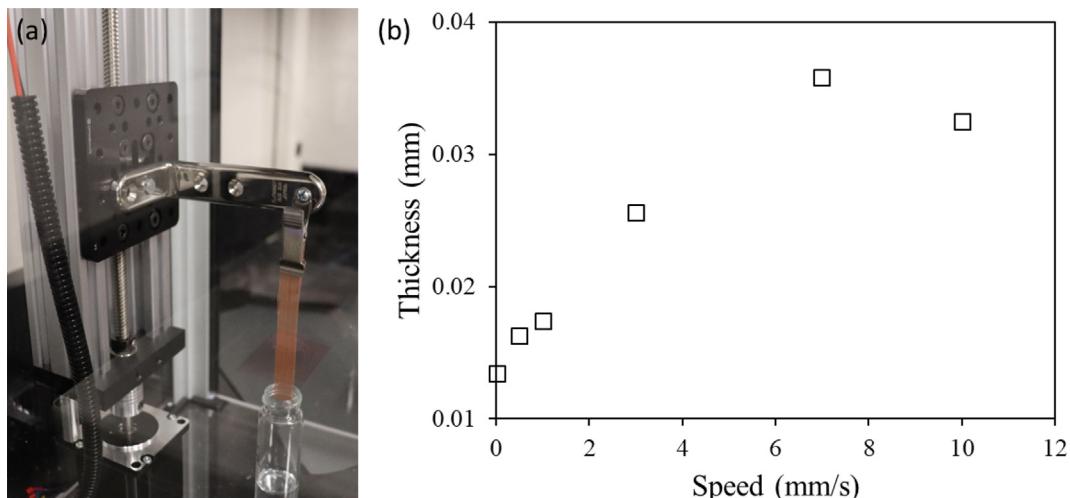
Để chứng minh các ứng dụng thực tế của máy phủ nhung của chúng tôi, hai thử nghiệm riêng biệt đã được thực hiện. Một cái để hiển thị hiệu suất của máy và một cái khác để hiển thị ứng dụng cho lớp phủ. Cả hai thử nghiệm đều sử dụng lưới đồng và được phủ một lớp hydrogel PAM được tạo ra bằng cách trộn Acrylamide (AM), Methylenbisacrylamide (BIS), Polyacrylamide (PAM), 30,50-Diethoxyacetophenone (DEOP), và nước cất.[15,16]. Các thành phần này được chia theo trọng lượng theo tỷ lệ tương ứng là 50:1,5:0,5:1:47 wt%. DEOP là chất xúc tác quang hóa, trong đó quá trình trùng hợp được bắt đầu bởi các loài phản ứng như gốc tự do [17]. Người ta nhận thấy rằng sự gia tăng nồng độ monome đòi hỏi thời gian trộn lâu hơn. Để điều chỉnh hệ số này, ba thành phần đầu tiên được trộn với nước trong tối đa 1 giờ ở tốc độ 600 vòng/phút. Vì DEOP tạo ra hiệu ứng cảm quang nên thành phần này được thêm vào dung dịch cuối cùng và trộn thêm khoảng 30 phút. Để kiểm tra hiệu suất của máy phủ nhung, một thí nghiệm đã sử dụng tỷ lệ 0,009 lưới đồng có đường kính cắt thành 6 để riêng biệt. Mỗi dải được nhung vào dung dịch hydrogel ở các tốc độ khác nhau; 0,01, 0,5, 1, 3, 7 và 10 mm/s. Mỗi lần chạy lớp phủ nhung sử dụng 1 chu kỳ và thời gian dừng 10 giây. Chiều rộng của mỗi dải lưới được đo bằng thước cặp và khối lượng của từng mẫu được đo trước khi phủ bằng cân phân tích. Sau khi phủ các dải lưới, chúng được xử lý dưới tia UV trong 90–240 phút. Sau 90 phút, khối lượng của mỗi mẫu được ghi lại một lần nữa. Sau đó, chiều dài của lớp phủ được đo bằng thước cặp. Sử dụng các phép đo này, độ dày của lớp phủ cho mỗi tốc độ sau quá trình đóng rắn được tính từ

độ dày $\frac{1}{4}$ tối đa. Ở đây $\frac{1}{4}$ là khối lượng của lớp phủ, q là mật độ của hydrogel, t là chiều dài của lớp phủ và w là chiều rộng của lá đồng. Vật liệu $\frac{1}{4} \rho A$ biểu thị tỷ lệ diện tích bề mặt hoạt động trên đơn vị dây và s là khoảng cách giữa các dây. Lưới đồng được sử dụng ở đây có đường kính 0,009 mm và khoảng cách 0,011 mm.

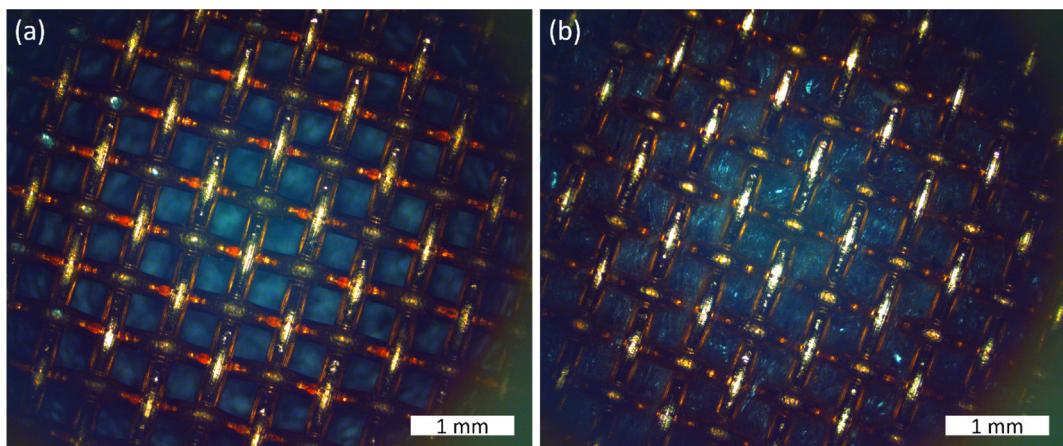
Mật độ được tìm thấy bằng cách lấy trung bình mật độ dựa trên phần trăm trọng lượng của các thành phần trong hỗn hợp.

$Q_{\text{phân}} = \frac{50}{Q_{\text{LA}}} \cdot \frac{0,5}{Q_{\text{BIS}}} \cdot \frac{1}{Q_{\text{PAM}}} \cdot \frac{47}{Q_{\text{DEOP}}} \cdot \frac{47}{Q_{\text{Nước}}}$. Hình 19 cho thấy những tần số với tốc độ cài đặt của máy nhung. BẰNG quan sát thấy ở Hình 19, độ dày tăng lên khi tốc độ nhung/loại bỏ lên tới 6,98 mm/s và sau đó bão hòa. Độ dày mẫu sau xử lý 10 mm/s thấp hơn so với thử nghiệm sau xử lý 7 mm/s. Điều này có thể là do lỗi trong phép đo hoặc một số lưới bị đứt tại một số thời điểm trong quá trình và ảnh hưởng đến phép đo khối lượng. Hình 20 hiển thị hình ảnh hiển vi của lưới đồng trước và sau khi phủ hydrogel, được chụp bằng kính hiển vi quang học Navitar Zoom 6000.

Lớp phủ hydrogel này làm cho lưới siêu thấm nước và siêu thấm nước với góc tiếp xúc với nước dưới 10 độ. Hình 21 hiển thị ảnh chụp nhanh về góc tiếp xúc với nước được quan sát trên một trong các lưới đồng được phủ, được chụp bằng máy đo góc tiếp xúc OCA 15EC. Hình 22 cho thấy ảnh hưởng của độ dày lớp phủ lên các đặc tính tĩnh, tiến và lùi

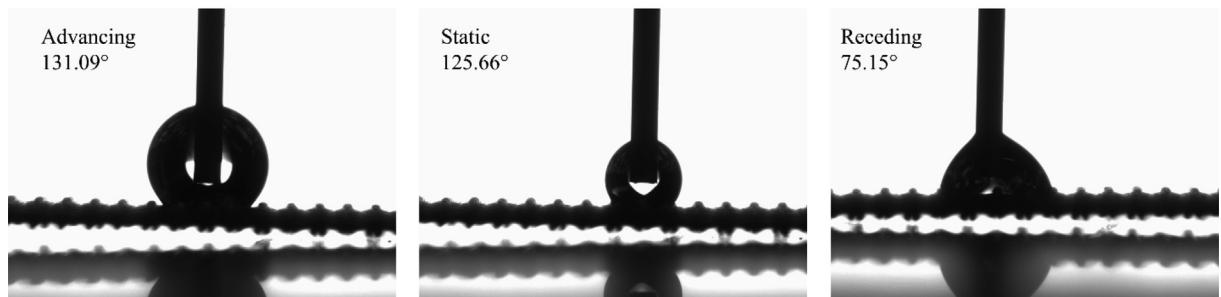


Hình 19. Kết quả thử nghiệm lớp phủ nhung cho thấy (a) máy phủ nhung đang trong quá trình phủ một dải lưới đồng và (b) độ dày của lớp phủ so với tốc độ ngâm loại bỏ đối với lưới đồng sau khi xử lý bằng tia UV trong 90 phút.

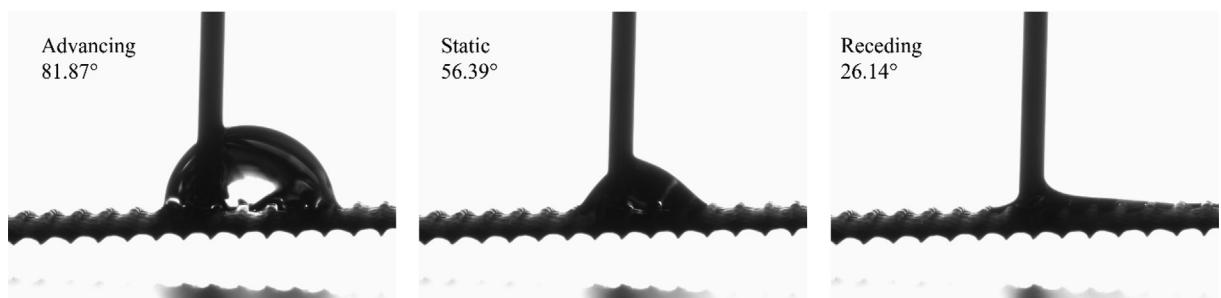


Hình 20.Hình ảnh hiển vi của lưới đồng (a) trước và (b) sau khi phủ hydrogel, được chụp bằng kính hiển vi kiểm tra Navitar Zoom 6000 với vật kính 5.

Copper Mesh



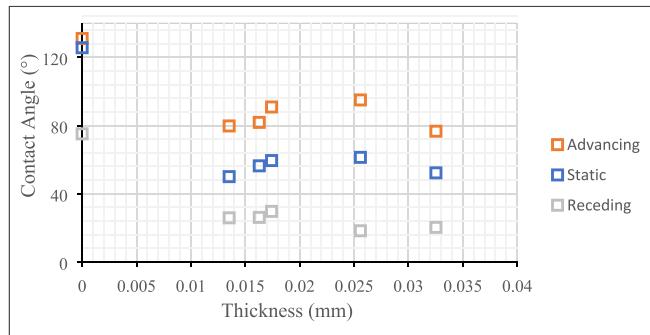
Copper Mesh w/ Hydrogel Coating



Hình 21.Đo góc tiếp xúc của lưới đồng trước và sau khi phủ hydrogel bằng máy đo điện áp với nước cất và 2 giọt ban đầu với 15s/2s với thời gian nghỉ 6 giây.

thay đổi góc chiến thuật. Góc tiếp xúc thấp hơn lưới không có lớp phủ nên có tạo ra hiệu ứng ứa nước nhưng không đến mức như mong đợi. Có thể thấy rằng cả ba góc tiếp xúc đều cao hơn lưới đồng khi áp dụng bất kỳ độ dày hydrogel nào. Lưới tráng có thể được sử dụng để tách dầu và nước để hỗ trợ trong nhiều quy trình khác nhau. Điều này sẽ bao gồm, nhưng không giới hạn, sự cống tràn dầu, nước thải sản xuất và nước được tạo ra trong quá trình khoan và fracking. Thí nghiệm còn lại sử dụng 300 lưới đồng với 0,002200 dày có đường kính. Thí nghiệm bắt đầu bằng cách điều chỉnh cài đặt trên

màn hình cảm ứng để máy thực hiện 2 chu kỳ với khoảng cách di chuyển 130,00 mm, thời gian dừng 10 giây và thời gian khô 10 giây. Sau khi hiệu chỉnh tự động, máy có thể thực hiện công việc được thiết lập một cách trơn tru mà không gặp vấn đề gì đáng kể. Sau đó, mẫu được lấy ra khỏi máy và chuyển đến buồng đèn xử lý nhựa UV để khô trong 4 giờ. Các



Hình 22. Góc tiếp xúc tĩnh và động của lưới đồng có lớp phủ hydrogel so với độ dày của lớp phủ. Độ dày bằng 0 tương trưng cho lưới đồng không có lớp phủ.

mẫu phải có khả năng tách nước khỏi dầu sau quá trình nhúng và đóng rắn này. Kết quả từ lần chạy thử này cho thấy hiệu suất thực tế và hiệu suất dự đoán ngang bằng nhau, nghĩa là dự án đã được thực hiện thành công.

Tuyên bố về lợi ích cạnh tranh

Các tác giả tuyên bố rằng họ không có lợi ích tài chính hoặc mối quan hệ cá nhân cạnh tranh nào có thể ảnh hưởng đến công việc được báo cáo trong bài viết này.

Sự nhìn nhận

Công việc này được hỗ trợ bởi Phân tích dữ liệu Arkansas EPSCoR mạnh mẽ và đáng tin cậy (DART) thông qua số cấp hạt giống 22-EPS4-0028, theo số cấp NSF OIA-1946391.

ruột thừa

Thiết kế các tập tin từ các trang web khác cần thiết trong quá trình lắp ráp hoàn chỉnh

Kiểu	Tệp thiết kế		liên kết
Thiết bị truyền động	Thiết bị truyền động tuyến tính C-Beam	OpenBuilds	https://grabcad.com/library/c-beam-line-actuator-250mm-1
	250mm		
	Giá đỡ góc	McMaster-Carr	https://www.mcmaster.com/15655A41/
Cuộn hộp	Kẹp lò xo	McMaster-Carr	https://www.mcmaster.com/6076A17/
	Miếng đệm bảng 2115	80/20	https://8020.net/2115.html
Máy móc đóng khung			
Các tập tin	Chặn cửa 4483	80/20	https://8020.net/4483.html
	6082A12_DRAW CHỐT	McMaster-Carr	https://www.mcmaster.com/6082A12/
	Đầu nối đế góc		https://8020.net/9242.html
	Mũ kết thúc		https://8020.net/9210.html
Góc khung nhanh	Góc khung nhanh		https://8020.net/9030.html
	Khớp nối	McMaster-Carr	https://www.mcmaster.com/1598A52/

(tiếp theo)

Kiểu	Tệp thiết kế	liên kết
Vít	8.8 Vít lục giác thép 16 mm	McMaster- https://www.mcmaster.com/91280A136/ Carr
	Giá đỡ xoay có lỗ ren	McMaster- https://www.mcmaster.com/6103K81/ Carr
	Đai ốc lục giác cho bộ truyền động (M4x0,7 mm) (90591A255) Đai ốc lục giác cho vít Phillips (lớn hơn) (90480A195)	McMaster- https://www.mcmaster.com/catalog/128/3500 Carr
	Đai ốc lục giác cho vít Phillips (nhỏ hơn) (90480A005)	McMaster- https://www.mcmaster.com/catalog/128/3498 Carr
	Hillman 10-32x34 băng vít Phillips (med) (91735A831)	McMaster- https://www.mcmaster.com/catalog/128/3308 Carr
	Vít biên dạng thấp M5 (0,8 mm) OpenBuilds	https://openbuildspartstore.com/low-profile-screws-m5-10-gói/
	Vít Phillips (lớn) (91735A833)	McMaster-Carr- https://www.mcmaster.com/catalog/128/3308
	Vít Phillips (nhỏ) (91735A106)	McMaster-Carr- https://www.mcmaster.com/catalog/128/3308
	Vít Phillips nhỏ hơn	McMaster-Carr- https://www.mcmaster.com/sheet-metal-screws-steephillips-rounded-head-screws-for-sheet-metal/

Người giới thiệu

- [1] Khoa học, Biolin. Máy phủ nhúng: Chế tạo và lắng đọng màng mỏng: KSV NIMA.
- [2] R. Mechiakh, N. Ben Sedrine, J. Ben Naceur, R. Chtourou, Xây dựng và mô tả đặc tính của màng mỏng TiO₂ tinh thể nano được điều chế bằng phương pháp nhúng sol-gel, Surf. Áo khoác, Technol. 206 (2–3) (2011) 243–249,<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.06.053>.
- [3] SA Mahadik, V. Parale, RS Vhatkara, DB Mahadik, MS Kavale, PB Wagh, S. Gupta, J. Gurav, Lớp phủ silicia siêu ky nước băng phương pháp phủ nhúng, Appl. Lướt sóng. Khoa học. 277 (2013) 67–72,<https://doi.org/10.1016/j.apusc.2013.04.001>.
- [4] P. Salles, D. Pinto, K. Hantanasirisakul, K. Maleski, CE Shuck, Y. Gogotsi, Hiệu ứng điện sắc trong màng mỏng MXene cacbua titan được sản xuất bằng phương pháp nhúng, Adv. Chức năng. Mè oř. 29 (17) (2019) 1809223,<https://doi.org/10.1002/ADFM.201809223>.
- [5] H. Ma, Yunzhe, Gill, Phủ các chất phản tán rắn trên vi kim thông qua phương pháp phủ nhúng nóng chảy: phát triển và đánh giá trong ống nghiệm về khả năng vận chuyển qua da một loại thuốc không tan trong nước, J. Pharm. Khoa học. 103 (11) (2014) 3621–3630.
- [6] DH Jeong, MKH Lee, V. Thiévenaz, MZ Bazant, A. Sauret, Lớp phủ nhúng của huyền phù hạt phân tán, J. Fluid Mech. 936 (1942) 2022,<https://doi.org/10.1017/jfm.2022.79>.
- [7] Máy phủ nhúng, Máy phủ nhúng chính xác giá rẻ. Ossila,www.ossila.com/products/dip-coater?variant=8806309101685.
- [8] DA Castillo-Vilcatoma, SJ Loarte, AA Fernandez-Chillcce, EC Pastrana, RY Pastrana, Thiết kế và chế tạo máy phủ nhúng chi phí thấp để sản xuất nhanh chóng các màng mỏng đồng nhất, Química Nova, 45(1) (2022) 97–100, 10.21577/0100-4042.20170805.
- [9] DM Loza, VH Guerrero, R. Dabirian, Xây dựng máy phủ quay và nhúng chi phí thấp để lắng đọng màng mỏng băng công nghệ nguồn mở. (2014).
- [10] P. Adámek, Cấu tạo của máy phủ nhúng, Edukacja - Technika - Informatyka, 16(2) (2016) 152–156, 10.15584/eti.2016.2.20.
- [11] B. Khairuldin Mohdisha, P. Darul Ridzuan, Thiết kế máy phủ nhúng cho công nghệ sơn ướt, (2005).
- [12] Nhóm, Arduino. Tải xuống Arduino. Arduino,www.arduino.cc/en/software.
- [13] A. Lüken, M. Bruckhaus, U. Kosfeld, M. Emondts, M. Wessling, Thiết bị lọc dòng tiếp tuyến tự động, HardwareX 10 (2021) e00200.
- [14] Tháng 11, Hướng dẫn chế tạo Thiết bị truyền động chung tia C, YouTube 11 (2015).
- [15] CMR Madhvananthakam, A. Alsabaei, A. Elkamel, Hiệu suất của lưới phủ hydrogel polyacrylamide và poly(acrylamide/natri acrylate) để tách hỗn hợp dầu/nước, J. Water Process Eng. 26 (2018) 62–71,<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.09.009>.
- [16] Z. Xue, S. Wang, L. Lin, L. Chen, M. Liu, L. Feng, L. Jiang, Một loại lưới phủ hydrogel siêu thấm nước và siêu thấm nước mới để tách dầu/nước, Adv. Mè oř. 23 (37) (2011) 4270–4273,<https://doi.org/10.1002/adma.201102616>.
- [17] M. Shirai, Phần ứng trung hợp quang hóa, trong: S. Kobayashi, K. Müllen (Biên tập), Bách khoa toàn thư về Vật liệu nano polyme, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2021, trang 1–7



Christy Dunlap là một tiến sĩ sinh viên khoa Kỹ thuật Cơ khí tại Đại học Arkansas. Cô lấy bằng Cử nhân Kỹ thuật Cơ khí và Cử nhân Toán học chuyên ngành Ứng dụng tại Đại học Arkansas vào năm 2021. Nghiên cứu của cô bao gồm thiết kế hệ thống, giải trình tự DNA, phân tích dữ liệu nhiệt và phân ứng tổng hợp đa phương thức.



Đá lông vũ Skylar lây bằng Cử nhân Kỹ thuật Cơ khí của Đại học Arkansas vào năm 2020 với chuyên ngành toán học. Cô đã hoàn thành khóa thực tập tại Trung tâm Đổi mới ở St. George, Utah, nơi cô đã trau dồi kỹ năng giảng dạy AutoCAD cho sinh viên và thành viên. Ở đó, cô làm việc với máy in 3D và các máy thiết kế và phát triển khác. Skylar hiện đang làm Kỹ sư cơ khí tại L3Harris Technologies.



Matthew Smith đến từ Little Rock, Arkansas. Anh tốt nghiệp vào mùa xuân năm 2021 tại Đại học Arkansas với bằng Cử nhân Khoa học Kỹ thuật Cơ khí. Anh ấy đã thực hiện hai đợt thực tập tại Central Arkansas Water để phát triển các kỹ năng AutoCAD và học về thiết kế tiện ích, đồng thời có kinh nghiệm thực hành về cơ khí ô tô.



Mân Vũ là từ Việt Nam. Anh lấy bằng Cử nhân Khoa học về Kỹ thuật Cơ khí của Đại học Arkansas vào mùa xuân năm 2021.



Amanda Williams là sinh viên đại học chuyên ngành Cơ khí với chuyên ngành Hàng không vũ trụ. Cô ấy đam mê sự bền vững và tạo ra những sản phẩm mới. Amanda đã hoàn thành Chương trình Chuyển đổi sang Lãnh đạo do TransformCo chỉ đạo, chương trình này tập trung vào việc quản lý các nhóm bán hàng. Ngoài công việc quản lý bán hàng, cô còn có kinh nghiệm soạn thảo thiết kế sản phẩm. Trong thời gian làm việc cho DivProCo LLC, Amanda đã phác thảo các sản phẩm bao gồm thiết kế tay cầm bằng polyme đức phun và lưỡi thép. Cô có kinh nghiệm về lập trình Java, MATLAB và SolidWorks. Amanda thích chế tạo cánh tay robot và tìm hiểu thêm về công nghệ hàng không vũ trụ khi rảnh rỗi.



Jason Bailey là Giảng viên tại Đại học Arkansas và là Điều phối viên Thiết kế Capstone Cấp cao cho khoa Cơ khí. Kinh nghiệm chuyên môn của Jason bao gồm tự động hóa, thiết bị đo đạc, thiết kế công cụ, FEA và DFM. Ông giảng dạy Phòng thí nghiệm Cơ khí, Thiết kế phần tử máy, Dự án Capstone I và II.



Hàn Hu là Trợ lý Giáo sư tại Khoa Kỹ thuật Cơ khí tại Đại học Arkansas. Sau khi ông nhận bằng Tiến sĩ, tốt nghiệp Đại học Drexel vào năm 2016, Anh gia nhập Đại học Purdue để thực hiện nghiên cứu sau tiến sĩ tại Trường Kỹ thuật Cơ khí và Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ Làm mát. Nghiên cứu sau tiến sĩ của ông tập trung vào mô hình hóa và nghiên cứu thực nghiệm về sự bay hơi màng mỏng, áp suất tách rời và độ sôi của bể. Vào tháng 8 năm 2019, Tiến sĩ Hu gia nhập Đại học Arkansas và đảm nhiệm vị trí chỉ đạo Phòng thí nghiệm Khám phá Năng lượng Nano và Dựa trên Dữ liệu kể từ đó. Nghiên cứu trong phòng thí nghiệm của ông bao gồm mô tả đặc tính thực nghiệm và mô hình hóa đa quy mô về tăng cường truyền nhiệt hai pha trên các bề mặt có cấu trúc vi mô/nano, làm mát ngâm trong thiết bị điện tử công suất, sự thẩm thấu và thẩm hút mao dẫn, động học khuếch tán trong hợp kim entropy cao, hấp phụ và vận chuyển proton trong ống nano carbon, gọi cơ sở bằng cách sử dụng máy biến áp tăng cường tích chập và các mô hình dựa trên dữ liệu để dự đoán dòng nhiệt và chế độ sôi bằng cách sử dụng mạng bộ nhớ dài hạn tích chập và mạng thần kinh tích chập.