

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA LUẬN ÁN

Luận án trình bày kết quả nghiên cứu về cảm biến áp lực hữu cơ sử dụng màng polyurethane cho IoT và ứng dụng. Theo đó, nghiên cứu sinh đã đề xuất phương pháp chế tạo cảm biến với điều kiện kỹ thuật và công nghệ trong nước.

Bên cạnh đó, luận án trình bày đề xuất giải pháp kết hợp cảm biến áp lực hữu cơ với OTFT thường đóng để tạo ra cảm biến tích cực. Kết quả đo kiểm cho thấy cảm biến mới đã cải thiện độ nhạy từ $1,18 \times 10^{-4}$ lên $6,5 \times 10^{-4}$ kPa⁻¹, giảm hiện tượng trễ từ 7,7 % xuống còn 1,8 % và tiêu thụ công suất khá thấp so với một số nghiên cứu cùng loại.

Nghiên cứu sinh đã đề xuất ứng dụng cảm biến vào các nút IoT: trong hệ thống theo dõi, phát hiện chuyển động của xe ô tô, theo dõi chuyển động bước chân và trong hệ thống tự động theo dõi tình trạng các công trình xây dựng. Kết quả thử nghiệm cho thấy các nút IoT đều hoạt động tốt, gửi dữ liệu và hiển thị lên màn hình điện thoại và lưu trên hệ thống điện toán đám mây.

Một số kết quả đạt được của luận án

1. Phát triển thành công cảm biến áp lực hữu cơ mềm dẻo, diện tích lớn, dải áp lực làm việc rộng, phương pháp chế tạo đơn giản bằng các trang thiết bị sẵn có trong nước. Cảm biến có độ nhạy có thể so sánh với các cảm biến tương đương, phù hợp với ứng dụng IoT kiểu mới.

Triển khai thử nghiệm thành công ứng dụng cảm biến áp lực hữu cơ trong: Nhận dạng xe ô tô, theo dõi tín hiệu bước chân và tự động theo dõi tình trạng công trình xây dựng.

2. Đề xuất cảm biến tích cực dựa trên OTFT thường đóng làm việc ở điện áp thấp và không cần thiên áp cực cửa để nâng cao độ nhạy và giảm độ trễ của cảm biến.

Hướng phát triển của luận án

1. Nghiên cứu, mô hình hóa, khảo sát mô phỏng cảm biến để tiếp tục nâng cao các tham số cảm biến.
2. Nghiên cứu cải thiện chất lượng của cảm biến và nút IoT; Phát triển ứng dụng nút IoT với cảm biến tích cực.
3. Nghiên cứu thử nghiệm ứng dụng của cảm biến trong các lĩnh vực mới.

MỞ ĐẦU

1. Động lực nghiên cứu:

Sự hình thành và phát triển của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 với các thành phần chính là hệ thống điều khiển-vật lý (*Cyber Physical Systems – CPS*), mạng kết nối vạn vật (*Internet of Things – IoT*) và điện toán đám mây (*Cloud Computing*) chính là kết quả của sự phát triển các thiết bị thông minh có khả năng kết nối không dây, tiêu thụ công suất thấp và xử lý dữ liệu lớn (*Big Data*). Mục tiêu của IoT chính là kết nối vạn vật để theo dõi, giám sát và tự động điều khiển mọi lúc mọi nơi cho vô số các ứng dụng trong đời sống, sản xuất, y tế, giao thông, môi trường v.v..

Với vai trò là mạch vào đầu tiên chuyển tín hiệu vật lý không điện thành tín hiệu điện, cảm biến có vai trò cực kỳ quan trọng trong các hệ thống thu thập số liệu. Điều này có nghĩa là nhu cầu về cảm biến là rất lớn để có thể triển khai rộng khắp mạng IoT.

Bên cạnh đó, việc xây dựng các nút mạng kết nối vạn vật IoT kiểu mới với cảm biến thu thập dữ liệu, bộ xử lý và thu phát tín hiệu để hiển thị dữ liệu trên máy tính hay điện thoại thông minh đã được nhiều nhóm nghiên cứu giới thiệu trong thời gian qua. Khi này cảm biến được dán trên da người để đo nhịp tim, tín hiệu điện não, bám đối tượng, phát hiện xung đột qua da điện tử v.v.. Các cảm biến thực hiện được chức năng đó chính là cảm biến áp lực hữu cơ với ưu điểm riêng biệt là có tính mềm dẻo về cơ để có thể dán lên mọi dạng bề mặt. Hơn nữa, các ứng dụng cho IoT thường có tính di động cao và sử dụng nguồn nuôi là pin; do đó, công suất tiêu thụ nhỏ là yêu cầu sống còn để góp phần kéo dài thời gian làm việc của thiết bị.

Các công bố khoa học trong lĩnh vực cảm biến áp lực hữu cơ cho thấy việc nghiên cứu phát triển cảm biến áp lực hữu cơ đòi hỏi phương pháp kỹ thuật cao và phức tạp. Điều này có nghĩa là rất khó có thể áp dụng theo những kết quả đã có, đặc biệt là đối với tình trạng các trang thiết bị kỹ thuật trong nước. Trong khi đó, trước nhu cầu bùng nổ về cảm biến đối với các thiết bị IoT rõ ràng phương pháp chế tạo đơn giản dẫn tới chi phí sản xuất thấp là tiêu chí quan trọng hàng đầu để sản xuất và sử dụng cảm biến với quy mô lớn. Vì vậy, hướng nghiên cứu về cảm biến hữu cơ là hướng nghiên cứu còn nhiều thách thức nhưng rất cần thiết và có nhiều tiềm năng để phát triển và ứng dụng.

Do đó, luận án nghiên cứu chế tạo cảm biến áp lực hữu cơ với đặc tính mềm dẻo, điện áp làm việc thấp, công suất tiêu thụ nhỏ, dải đo rộng nhưng với công nghệ chế tạo đơn giản phù hợp với điều kiện phòng thí nghiệm tại Việt Nam. Mục tiêu của luận án là nghiên cứu chế tạo cảm biến áp lực hữu cơ có đặc tính tốt, công suất thấp với công nghệ chế tạo đơn giản và có diện tích rộng để triển khai được nhiều ứng dụng.

Nhiệm vụ của luận án để đạt được mục tiêu trên là:

- Đề xuất thiết kế cảm biến áp lực mềm dẻo, đặc tính tốt sử dụng vật liệu hữu cơ được chế tạo bằng công nghệ phù hợp với trang thiết bị có sẵn trong nước.
- Nâng cao hiệu năng của cảm biến bằng cách kết hợp với OTFT thường đóng.
- Triển khai một số nút IoT cơ bản để thu thập dữ liệu từ cảm biến áp lực hữu cơ.

2. Các đóng góp của luận án:

1. Phát triển thành công cảm biến áp lực hữu cơ màng mỏng polyurethane mềm dẻo, độ nhạy tốt, diện tích lớn bằng phương pháp chế tạo đơn giản với các trang thiết bị sẵn có trong nước.

Kết quả nghiên cứu được thể hiện trong các công trình **J1**, **J3** và **J4**.

Triển khai thử nghiệm thành công một số ứng dụng cảm biến áp lực hữu cơ trong nút IoT theo dõi chuyển động bước chân, tự động theo dõi tình trạng công trình xây dựng và giám sát chuyển động của xe ô tô.

Kết quả nghiên cứu được thể hiện trong các công trình **J3**, **C1** và **C3**.

2. Đề xuất cấu trúc kết hợp cảm biến áp lực hữu cơ màng mỏng polyurethane với OTFT thường đóng để cải thiện độ nhạy và độ trễ nhưng công suất tiêu thụ thấp.

Kết quả nghiên cứu được thể hiện trong các công trình **J2** và **C2**.

3. Bố cục luận án:

Luận án được tổ chức như sau: Mở đầu; 04 chương nội dung; Kết luận và hướng nghiên cứu tương lai; Phụ lục và Danh mục các công trình nghiên cứu.

Thêm vào đó, một thử nghiệm khác sử dụng cảm biến để theo dõi sự rung động của dầm cầu vượt Aeon (Long Biên-Hà Nội) đã được thực hiện. Theo đó, cảm biến được gắn lên bề mặt của dầm cầu; tín hiệu từ cảm biến được thu thập bằng nút IoT không dây và truyền về máy chủ. Kết quả thử nghiệm cho thấy, các rung động của dầm cầu được thu thập bởi cảm biến được hiển thị theo thời gian thực trên máy chủ ảo (VPS: virtual private server) như được thể hiện trên Hình 4.7.



Hình 4.7: Tín hiệu cảm biến hiển thị trên trang web hệ thống.

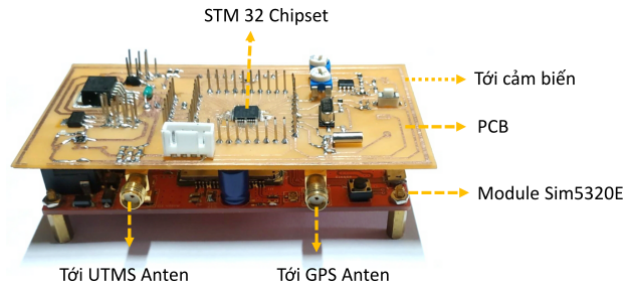
4.5 Kết luận chương

Việc xây dựng và triển khai nút IoT thu thập dữ liệu và thử nghiệm các ứng dụng là rất cần thiết để chứng minh khả năng áp dụng của cảm biến đề xuất. Cảm biến áp lực hữu cơ màng mỏng polyurethane có tính chất mềm dẻo, dễ dàng được gắn lên bề mặt các đối tượng cần theo dõi. Kết quả thử nghiệm cho thấy cảm biến có tiềm năng ứng dụng lớn trong hệ thống theo dõi, giám sát chuyển động của ô tô; hệ thống theo dõi chuyển động bước chân và hệ thống theo dõi tình trạng các công trình xây dựng.

Đối với ứng dụng cảm biến trong hệ thống giám sát, phát hiện chuyển động của xe ô tô, cảm biến có thể phát hiện vận tốc của xe ô tô với vận tốc tới 30 km/h, và trọng tải từ 1000 kg tới 1400 kg. Sai số của quá trình ước lượng vận tốc và trọng tải xe ô tô của cảm biến phát triển bởi luận án có thể so sánh ở mức tương đương đối với các công trình công bố [105] và [106]. Bên cạnh đó, cảm biến có ưu điểm là chế tạo đơn giản, chi phí thấp và thuận tiện trong quá trình triển khai lắp đặt cũng như bảo trì hệ thống.

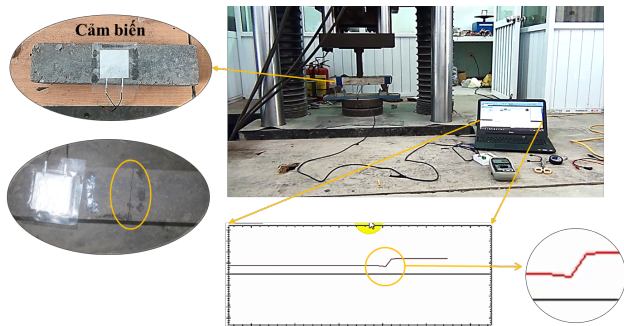
Đối với hệ thống theo dõi chuyển động bước chân và hệ thống theo dõi tình trạng công trình xây dựng, kết quả thử nghiệm khẳng định tiềm năng ứng dụng của cảm biến trong lĩnh vực này. Tuy nhiên, cần phát triển thêm các thuật toán xử lý tín hiệu cảm biến để nâng cao độ chính xác của hệ thống.

Với ý tưởng gắn các cảm biến vào đối tượng cần theo dõi, ví dụ như dầm, xà bê tông của các công trình như cầu, cống, nhà cao tầng. Khi có sự biến dạng cơ học của các đối tượng này như: uốn cong, nứt gãy thì tín hiệu sẽ được cảm nhận bởi cảm biến. Để hiện thực hóa nhận định này, nút IoT thu thập dữ liệu cảm biến kết nối với máy tính được thiết kế với sơ đồ trên Hình 4.5.



Hình 4.5: Hình ảnh nút IoT không dây với kích thước (6×10×4) cm.

Thử nghiệm khả năng phát hiện sự biến dạng của dầm bê tông, Hình 4.6, trong đó cảm biến được gắn lên dầm bê tông cần theo dõi. Dầm bê tông được nén với thiết bị nén thủy lực cho tới khi xuất hiện sự biến dạng. Kết quả thử nghiệm cho thấy, tín hiệu nhận được từ cảm biến có sự thay đổi lớn về giá trị khi dầm bê tông bắt đầu có hiện tượng rạn, nứt. Do đó khẳng định khả năng áp dụng của cảm biến trong giám sát công trình xây dựng.



Hình 4.6: Hình ảnh thử nghiệm khả năng phát hiện sự biến dạng của dầm bê tông của cảm biến và kết quả hiển thị trên phần mềm.

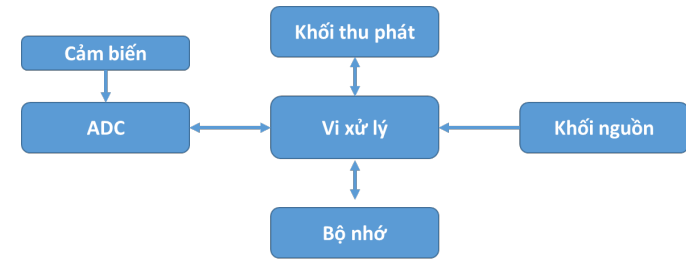
Chương 1

Tổng quan về cảm biến áp lực hữu cơ ứng dụng trong IoT

1.1 Nút IoT và ứng dụng

1.1.1 Khái niệm IoT và nút IoT

Thuật ngữ **IoT** (*Internet of Things*) nghĩa là **Internet của vạn vật** được đề xuất bởi Kevin Ashton năm 1999 với ý tưởng sử dụng máy tính và mạng cục bộ để quản lý các thiết bị nhận dạng vô tuyến (*RFID - Radio frequency Identification*). Tuy nhiên trong các thập niên tiếp theo, khái niệm IoT bao gồm các lĩnh vực rộng lớn như giao thông, y tế, quân sự, cho tới các ứng dụng khác của cuộc sống. Khái niệm “vạn vật” thay đổi cùng với sự phát triển khoa học kỹ thuật với mục đích tạo ra một mạng thông tin sử dụng các cảm biến kết nối với máy tính hoạt động không cần sự can thiệp của con người. Theo ước tính của các nhà khoa học, tới năm 2020 sẽ có khoảng 50 tỷ đồ vật kết nối vào internet và tăng mạnh trong những năm tiếp theo.



Hình 1.1: Cấu trúc nút IoT

Cấu trúc cơ bản của nút IoT với bốn thành phần chính là cảm biến, khối vi xử lý, khối thu phát và khối nguồn. Các cảm biến đóng vai trò quan trọng trong nút IoT vì nó trực tiếp thu thập tín hiệu từ các đối tượng cần theo dõi. Bộ vi xử lý thường được kết hợp với bộ lưu trữ với dung lượng hạn chế và bộ biến đổi tương tự/số (ADC). Tín hiệu thu thập được từ cảm biến được số hóa tại bộ biến đổi ADC, sau đó được đưa tới bộ vi xử lý. Khối thu phát vô tuyến kết nối các nút vào mạng, gửi và nhận các dữ liệu thu được từ nút hoặc bao

gồm cả các nút lân cận tới các nút khác hoặc tới máy chủ thông qua gateway.

1.1.2 Ứng dụng của nút IoT

Ngày nay với sự phát triển mạnh mẽ của cách mạng công nghiệp 4.0 và Internet, nút IoT được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như giao thông, chăm sóc sức khỏe và các ứng dụng khác của cuộc sống.

1.1.3 Yêu cầu đối với cảm biến áp lực hữu cơ ứng dụng cho IoT

Như đã đề cập trên đây nhu cầu về cảm biến nói chung và cảm biến áp lực nói riêng là rất lớn. Hơn nữa, sự phát triển bùng nổ của IoT cũng đặt ra những yêu cầu đối với cảm biến áp lực hữu cơ cho các nút IoT kiểu mới. Đó là tính mềm dẻo để dễ dàng tích hợp lên bề mặt của các đối tượng.

Trong khi đó các cảm biến bán dẫn vô cơ đang sử dụng phổ biến hiện nay thường rất cứng và khó có thể dán lên nhiều loại bề mặt. Điều này có nghĩa là cảm biến hữu cơ sẽ phù hợp với loại ứng dụng này và cần được phát triển. Để áp dụng cảm biến áp lực hữu cơ một cách phổ biến và mang lại lợi ích về mặt quy mô thì phương pháp chế tạo đơn giản giúp giảm giá thành sản phẩm là yêu cầu tiên quyết đối với cảm biến.

Bên cạnh đó, đối với các ứng dụng cho IoT thường có tính chất di động cao; nguồn cung cấp cho cảm biến thường sử dụng pin; điện áp làm việc của cảm biến thường ở mức điện áp nhỏ hơn 5 V. Do đó, năng lượng tiêu thụ nhỏ là yêu cầu sống còn đối với thiết bị.

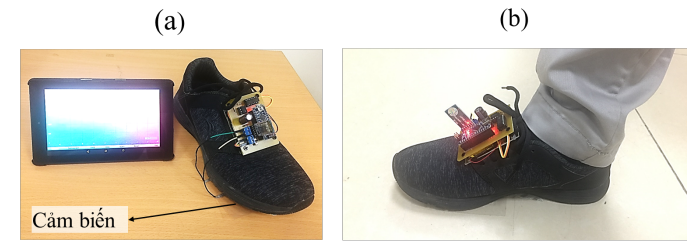
Ngoài ra, thể phù hợp với tính đa dạng trong ứng dụng (như phát hiện chuyển động của xe ô tô, theo dõi sự uốn cong của dầm bê tông, theo dõi bước chân) cảm biến cần có độ nhạy cao, diện tích lớn và dải áp lực làm việc rộng.

1.2 Giới thiệu cảm biến áp lực hữu cơ

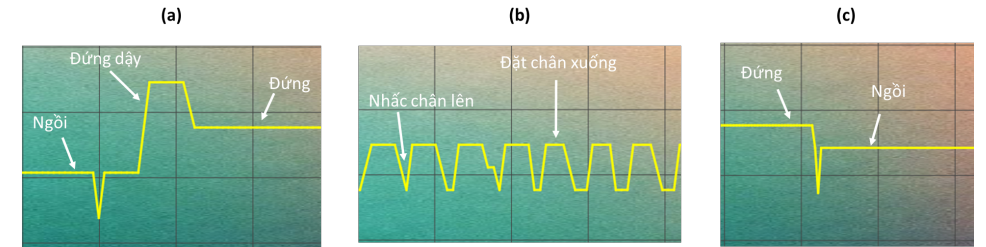
1.2.1 Khái niệm cảm biến áp lực và các thông số cơ bản

Cảm biến áp lực đóng vai trò như là một thiết bị "chuyển đổi" lực tác động đầu vào thành tín hiệu điện đầu ra. Cảm biến áp lực hữu cơ là cảm biến được tạo ra từ vật liệu hữu cơ. So với vật liệu vô cơ truyền thống, cảm biến áp lực hữu cơ có những ưu điểm vượt trội ở tính mềm dẻo, có diện tích lớn, chế tạo ở nhiệt độ thấp và thân thiện với môi trường.

Để đánh giá chất lượng cảm biến, người ta thường quan tâm tới các thông số độ nhạy, dải áp lực làm việc, độ trễ, thời gian đáp ứng và độ ổn định.



Hình 4.3: (a) Nút IoT thu thập tín hiệu bước chân; (b) quá trình thử nghiệm.



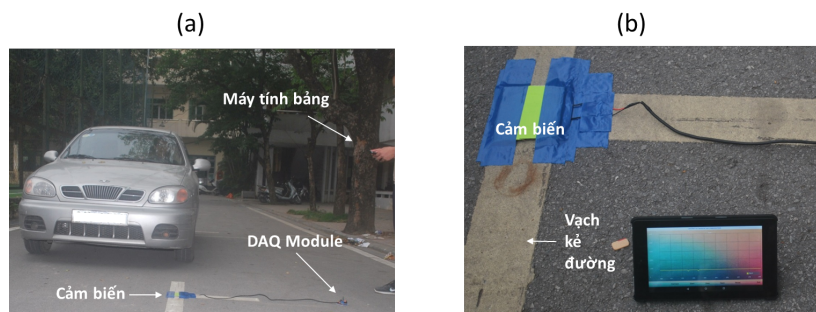
Hình 4.4: Hình ảnh tín hiệu trên màn hình máy tính bảng; (a) quá trình chuyển trạng thái từ ngồi → đứng lên → đứng; (b) tín hiệu bước chân và (c) trạng thái từ đứng → ngồi xuống.

Kết quả thử nghiệm (Hình 4.4) cho thấy, hệ thống có thể hiển thị rõ ràng tín hiệu bước chân của người khi chuyển trạng thái từ đang ngồi ghé sang đứng dậy 4.4(a), tín hiệu bước chân với vận tốc bình thường 4.4(b), tín hiệu chuyển trạng thái từ đang đứng chuyển sang ngồi ghé 4.4(c).

4.4 Nút IoT trong hệ thống giám sát công trình xây dựng

Các công trình xây dựng từ khi triển khai xây dựng cho tới khi được đưa vào khai thác sử dụng luôn chịu tác động của tải trọng, môi trường, v.v.. dẫn tới có thể xuất hiện các biến dạng, hoặc các khuyết tật bên trong kết cấu của công trình. Vì vậy, việc giám sát tình trạng các công trình là một yêu cầu thiết yếu nhằm xác định tình trạng, độ an toàn của kết cấu và công trình.

Hệ thống giám sát công trình xây dựng sử dụng nút IoT cảm biến được tích hợp vào công trình xây dựng để thu thập các thông tin, như sự rung lắc, tình trạng bị uốn cong của công trình để đưa ra cảnh báo.



Hình 4.2: (a) Thử nghiệm hệ thống và (b) cảm biến gắn trên mặt đường.

Bảng 4.1: Kết quả tính toán vận tốc của xe ô tô và sai số

STT	Vận tốc thực tế (km/h)	Vận tốc tính toán (km/h)	Sai số (%)
1	2	2,02	1,00
2	5	5,13	2,60
3	10	10,35	3,50
4	15	15,61	4,06
5	20	21,21	6,05
6	25	26,79	7,16
7	30	33,25	10,83

Bảng 4.2: Kết quả tính toán trọng tải của xe ô tô tại $v = 5$ km/h và sai số

STT	Trọng tải thực tế (kg)	Trọng tải tính toán (kg)	Sai số (%)
1	1000	999,51	0,049
2	1050	1048,45	0,15
3	1100	1104,05	0,37
4	1200	1205,46	0,46
5	1300	1296,15	0,30
6	1400	1404,56	0,33

4.3 Nút IoT trong hệ thống giám sát chuyển động bước chân

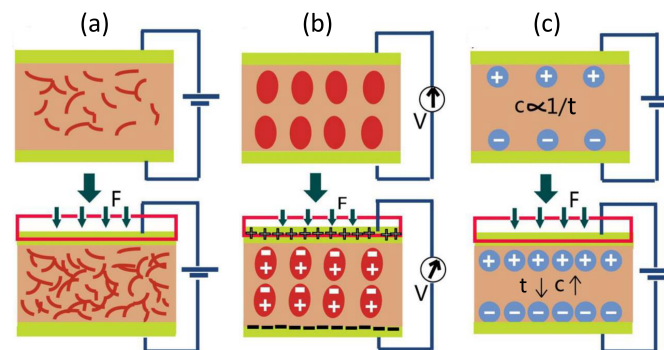
Áp lực và sự phân bố áp lực bàn chân phản ánh tình trạng sức khỏe của con người. Do đó, hệ thống theo dõi chuyển động bước chân được ứng dụng rộng rãi trong chăm sóc sức khỏe [107-110] và trong thể thao [29,111].

Nút IoT sử dụng cảm biến áp lực hữu cơ phát triển bởi luận án được thiết kế để thu thập tín hiệu bước chân được phát triển, Hình 4.3.

1.2.2 Cấu tạo và phân loại cảm biến

* Cấu tạo

Cảm biến áp lực hữu cơ thường bao gồm có lớp vật liệu tích cực được ghép xen giữa hai tấm điện cực như thể hiện trong Hình 1.2.



Hình 1.2: Sơ đồ minh họa nguyên lý làm việc của cảm biến với các hiệu ứng (a) áp trở; (b) áp điện và (c) áp dung.

* Phân loại theo cấu tạo

Theo đó cảm biến áp lực hữu cơ thường được chia thành cảm biến điện trở, cảm biến điện tích, cảm biến điện dung tương ứng với các hiệu ứng áp trở, áp điện, áp dung.

* Phân loại theo dải áp lực làm việc

Để tiện cho việc thiết kế cảm biến áp lực nói chung và áp lực hữu cơ nói riêng, cảm biến có thể được phân loại theo dải áp lực làm việc, bao gồm: áp lực cực thấp, áp lực rất thấp, áp lực thấp, áp lực trung bình và áp lực cao.

1.3 Khảo sát về các nghiên cứu cảm biến áp lực hữu cơ

Điện dung của cảm biến phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai điện cực, dưới tác động của ngoại lực độ dày của d của lớp vật liệu tích cực giảm dẫn tới sự thay đổi điện dung của cảm biến. Do đó, cải thiện hệ số nén của vật liệu tích cực có thể mang lại sự cải thiện đáng kể về độ nhạy cảm biến. Theo hướng nghiên cứu này, hàng loạt các công bố sử dụng vật liệu PDMS có cấu trúc bề mặt dạng kim tự tháp ở kích thước micromet [34-36], hoặc PDMS kết hợp với khe hở không khí [37,38], hoặc dưới dạng xốp có các hạt không khí [39,40], hoặc có cấu trúc bề mặt nhám [41] để làm lớp điện môi cho cảm biến.

H. Kim và các cộng sự [42] đã phát hiện hiện gel Ecoflex có nguồn gốc từ PDMS khi bị kéo giãn 200% và chiếu tia UV sẽ tạo các đường gợn sóng (wrinkl) có kích thước micromet để chế tạo cảm biến. Bằng cách sử dụng điện cực Au và phương pháp ép nhiệt, cảm biến được chế tạo khá đơn giản với độ nhạy $130 \times 10^{-4} \text{ kPa}^{-1}$, thời gian đáp ứng 578 ms.

Ở một hướng nghiên cứu khác, các công trình nghiên cứu cảm biến của S. Mannsfeld, C. Pang và S. Jang [34–36] sử dụng màng PDMS có cấu trúc dạng kim tự tháp kích thước micromet sắp xếp đều nhau trên bề mặt mang lại thời gian đáp ứng nhanh và độ nhạy cao hơn cho cảm biến vào khoảng $0,55 \text{ kPa}^{-1}$.

Ngoài thay đổi độ dày d của lớp điện môi, một số hướng nghiên cứu còn kết hợp với thay đổi tham số ε bằng cách sử dụng vật liệu Ecoflex dạng xốp có các hạt không khí của D. Kwon [39] hoặc PDMS dạng xốp kết hợp với khe hở không khí của S. Park [38]. Dưới tác dụng của ngoại lực, ngoài khoảng cách d của vật liệu thay đổi thì các bọt khí bị ép ra ngoài hay khe hở không khí bị thu hẹp lại dẫn tới sự thay đổi hệ số điện môi ε của vật liệu. Sự kết hợp trên mang lại sự cải thiện đáng kể đối với độ nhạy phát hiện của cảm biến ở mức 0,2 Pa.

Cảm biến áp lực hữu cơ kiểu điện dung có cấu trúc đơn giản gồm lớp vật liệu nhạy áp đặt giữa hai tấm điện cực. Bên cạnh đó, phương pháp ép nhiệt được sử dụng nhiều trong các nghiên cứu [42–45] để gia công hoàn thiện cảm biến. Ép nhiệt là kỹ thuật đơn giản, chi phí thấp, phù hợp với điều kiện kỹ thuật trong nước.

Nhận xét:

Từ sự khảo sát các công trình nghiên cứu về cảm biến áp lực hữu cơ trong những năm gần đây nghiên cứu sinh có nhận xét như sau:

- Cảm biến áp lực hữu cơ hiện đang được nghiên cứu ứng dụng mạnh mẽ trong các lĩnh vực da điện tử [46-48], y tế [3,32,49-51] và tương tác người máy [37,52,53] vì đây là một trong các hướng nghiên cứu đang nhận được nhiều sự quan tâm nhất hiện nay.

- Hầu hết các cảm biến có khoảng áp lực làm việc nhỏ (dưới 10 kPa và 20 kPa) [4,9,32,54].

- Phần lớn các cảm biến có diện tích nhỏ cỡ mm^2 hoặc vài cm^2 .

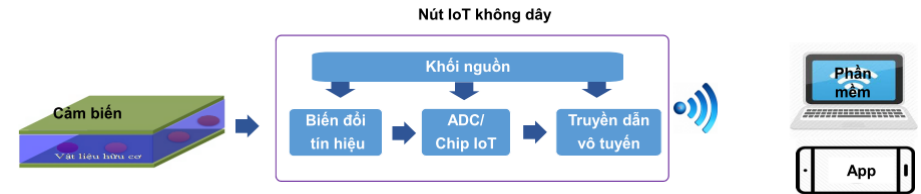
- Về phương pháp chế tạo cảm biến còn phức tạp và khó có thể thực hiện với điều kiện về phương tiện và kỹ thuật của các phòng thí nghiệm trong nước. Trong quá trình chế tạo vật liệu hữu cơ hầu hết được xử lý từ pha lỏng, các phản ứng hóa học, polyme hóa [3,4,32,46], cacbon hóa, hydrat hóa phức tạp

Chương 4

Xây dựng và thử nghiệm ứng dụng nút IoT với cảm biến áp lực hữu cơ

4.1 Xây dựng nút IoT

Nút IoT không dây được xây dựng để phát triển các ứng dụng của cảm biến với sơ đồ khối chức năng được thể hiện trên Hình 4.1.



Hình 4.1: Cấu trúc nút IoT sử dụng cảm biến áp lực hữu cơ.

Tín hiệu nhận được từ cảm biến được biến đổi thành tín hiệu số phù hợp, được xử lý tại chip IoT, và truyền dẫn vô tuyến tới người sử dụng hiển thị trên điện thoại thông minh/máy tính bảng theo thời gian thực. Hơn nữa các dữ liệu cảm biến có thể truyền về trang web hệ thống để lưu trữ hoặc phát triển các công cụ quản trị dữ liệu.

4.2 Nút IoT trong hệ thống giám sát chuyển động của ô tô

Trong hệ thống giao thông thông minh (ITS), giám sát sự chuyển động của xe ô tô nhằm thu thập các thông tin như vận tốc, trọng tải và mật độ xe để đưa ra các cảnh báo, chỉ dẫn nhằm đảm bảo giao thông thông suốt và hạn chế tai nạn giao thông.

Nút IoT, với mục đích thu thập thông tin về tải trọng và vận tốc xe ô tô đã được xây dựng, và thử nghiệm thành công. Như được thể hiện trên Hình 4.2, xe ô tô con có trọng tải (1000 - 1400) kg được điều khiển chạy qua cảm biến các vận tốc (0 - 35) km/h trong các lần thử nghiệm.

Sai số ước lượng tốc độ và trọng tải của xe ô tô tương ứng ở mức dưới 10% và 0,5%, được thể hiện trên Bảng 4.1 và Bảng 4.2.

3.5 Kết luận chương

Cảm biến tích cực do sử dụng transistor khuếch đại tín hiệu nhận được nên có hiệu năng tốt hơn so với cảm biến thụ động nhưng khi đó cảm biến lại tiêu thụ công suất. Với đặc tính của vật liệu bán dẫn hữu cơ là không có sẵn hạt dẫn nên các OTFT khi đó đều là loại thường mở, nghĩa là cần điện áp cực cửa khá lớn để tạo kênh dẫn. Điều này có nghĩa mục đích tăng hiệu năng bằng cách sử dụng OTFT thường mở sẽ bị trả giá bởi việc sử dụng điện áp cao và tiêu thụ công suất lớn.

Để giải quyết thách thức trên luận án đề xuất kết hợp cảm biến thụ động với OTFT thường đóng để mạch có thể làm việc ngay cả khi không có điện áp tại cực cửa. Cấu trúc OTFT mà luận án thực hiện là loại sử dụng lớp Cytop làm cực cửa thả nổi, sau khi chế tạo và đo kiểm thông số, OTFT này được cấp điện áp -20 V và chiếu tia UV vào cực cửa để OTFT trở thành loại thường đóng.

Cảm biến áp lực hữu cơ sử dụng màng mỏng polyurethane kết hợp với OTFT thường đóng đã được chứng minh cải thiện đáng kể về độ nhạy từ $1,18 \times 10^{-4}$ lên $6,5 \times 10^{-4}$ kPa $^{-1}$ và hiện tượng trễ cảm biến giảm từ 7,7 % xuống còn 1,8 %. Đồng thời, với trạng thái thường đóng, cảm biến tích cực có công suất tiêu thụ thấp ở mức ($11,2 \times 10^{-6}$ W) và làm việc ở chế độ bão hòa mà không cần thiên áp cực cửa ($V_{GS} = 0$ V, $V_{DS} = -2$ V).

Với các thông số đã đạt được và ưu thế về việc không sử dụng điện áp điều khiển lớn cảm biến hữu cơ tích cực mà luận án phát triển hoàn toàn có thể ứng dụng trong các nút IoT. Tuy nhiên, do thời gian có hạn nên tại thời điểm này, luận án mới chỉ triển khai ứng dụng cho cảm biến thụ động mà sẽ trình bày trong Chương 4. Việc đưa cảm biến tích cực vào hệ thống ứng dụng thực tế sẽ được tiếp tục thực hiện trong thời gian sắp tới.

[4,49], mất nhiều thời gian và có thể ảnh hưởng tới môi trường. Bên cạnh đó, trong chế tạo cảm biến thường xuyên sử dụng các bước xử lý nhiệt, laser kỹ thuật cao [3,6,7] để xử lý bề mặt của vật liệu hữu cơ.

- Các hình thái cấu trúc bề mặt của vật liệu ở cấp độ micromet/nanomet, thường sử dụng các "khuôn" có cấu trúc bề mặt phức tạp và tốn kém [3,6,7] hoặc kỹ thuật gia công bề mặt yêu cầu kỹ thuật và độ chính xác cao (ví dụ như: photolithography). Đối với vật liệu dạng sợi nano cũng yêu cầu phương pháp kỹ thuật phức tạp để gia công chế tạo như ví dụ như phương pháp "quay điện hóa" (electrospinning) [4,8,9,55,56].

1.4 Kết luận chương

Cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đã bước vào giai đoạn phát triển mạnh mẽ với hệ thống lõi IoT đòi hỏi những tính năng mới như hệ thống thu thập dữ liệu chi tiết, kết nối thông suốt và xử lý dữ liệu lớn. Trong đó, cảm biến được coi là khối đầu vào để chuyển đại lượng vật lý không điện thành đại lượng điện để có thể đưa vào mạch xử lý, nghĩa là làm nhiệm vụ thu thập dữ liệu bên ngoài. Vì vậy, cảm biến có vai trò cực kỳ quan trọng và quyết định độ chính xác của hệ thống.

Khảo sát một số ứng dụng của nút IoT và các nghiên cứu đã có về cảm biến áp lực như cảm biến điện trở, cảm biến điện tích và cảm biến điện dung cho thấy cảm biến áp lực điện dung hữu cơ hoàn toàn có thể đáp ứng cho một số ứng dụng IoT. Cảm biến áp lực hữu cơ có tính mềm dẻo, diện tích lớn và dải áp lực làm việc rộng, do vậy phù hợp với các ứng dụng trong giao thông như theo dõi, phát hiện chuyển động của xe ô tô, hệ thống theo dõi chuyển động bước chân và hệ thống tự động theo dõi tình trạng các công trình xây dựng.

Từ các yêu cầu đối với cảm biến áp lực hữu cơ định hướng ứng dụng cho IoT và kết quả phân tích các công trình nghiên cứu về cảm biến áp lực hữu cơ trong những năm gần đây, luận án đề xuất nghiên cứu phát triển cảm biến áp lực hữu cơ mềm dẻo có phương pháp sản xuất đơn giản bằng ép nhiệt. Khi này quá trình chế tạo có thể thực hiện với chi phí sản xuất thấp phù hợp với điều kiện kỹ thuật trong nước nhưng vẫn có thể đạt được thông số đủ tốt cho mục đích triển khai hệ thống ứng dụng trong thực tế.

Chương 2

Nghiên cứu, chế tạo cảm biến áp lực hữu cơ sử dụng màng mỏng Polyurethane

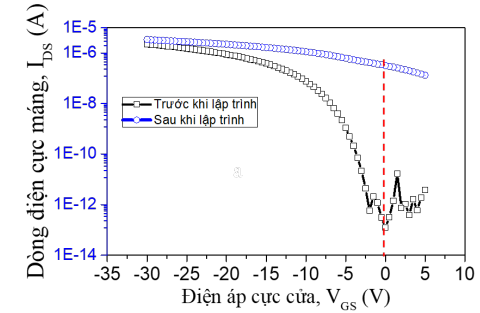
2.1 Giới thiệu

Trong thời gian gần đây, cả giới học thuật và công nghiệp đều quan tâm tới cảm biến áp lực sử dụng vật liệu polymer vì loại cảm biến này có những ưu thế mà cảm biến vô cơ không có. Đó chính là có thể sản xuất ở nhiệt độ thấp nên giảm chi phí sản xuất, đặc tính cơ học mềm dẻo và diện tích rộng [57-64]. Điều này chỉ ra tiềm năng xây dựng mạng IoT kiểu mới với các cảm biến không chỉ cần công suất thấp, giá thành rẻ mà còn tương thích với nhiều loại bề mặt [59,65].

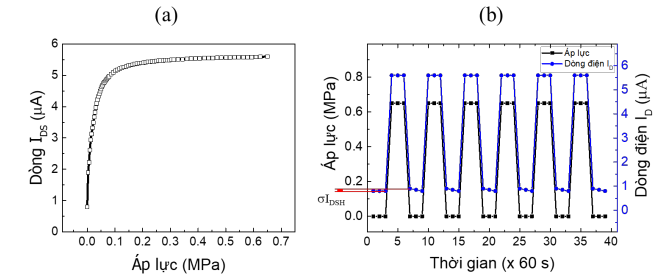
Cảm biến áp lực gồm một lớp polymer tích cực nằm giữa hai điện cực. Thông thường vật liệu được sử dụng polymer nhạy áp, hỗn hợp polymer và hạt nano hoặc polymer pha tạp ống nano carbon [10,25,34,44,45,51,58-64]. Ví dụ, Ding và các cộng sự đã thêm các hạt nickel dạng cầu gai vào cao su silicon lỏng [57]. Khi này dải áp lực mà cảm biến hoạt động là từ 0 đến 6,4 MPa. Mohiuddin và Van Ho lại chế tạo cảm biến áp lực bằng cách trộn ống nano cacbon đa vách vào polymer polyether ether ketone (PEEK) và khi đó dải đo lên tới 40 MPa [66]. Tuy nhiên, kỹ thuật chế tạo các cảm biến trên là vô cùng phức tạp và chi phí lớn vì việc pha tạp đòi hỏi sự đồng nhất ở mức rất cao. Do vậy, trong nghiên cứu này luận án lựa chọn cấu trúc cơ bản với lớp polymer ở giữa hai điện cực và thực hiện chế tạo theo phương pháp ép nhiệt để giảm thiểu chi phí sản xuất.

Về mặt vật liệu tích cực, polymer nhạy áp có tính chất mềm dẻo được sử dụng cho lớp vật liệu tích cực có thể là PDMS (Polydimethyl Siloxane), PET (Polyethylene Terephthalate), PEN (Polyethylene) và PU (Polyurethane). Trong đó vật liệu PDMS được sử dụng ở các nghiên cứu [67,69], vật liệu PET [32,48,72] và PEN [52,60]. Trong thời gian gần đây PU là vật liệu đã được chứng minh có những tính chất vượt trội về khả năng biến dạng [71], độ mềm dẻo, khả năng chịu áp lực lớn [72]. Thêm nữa, PU còn có hệ số điện môi lớn hơn các polymer cùng loại và có ứng suất young thấp và độ bền kéo cao [71].

Các kim loại như vàng (Au), đồng (Cu) hay nhôm (Al) dưới dạng mỏng cỡ



Hình 3.6: Đặc tính truyền đạt của OTFT trước và sau khi lập trình thường đông.



Hình 3.7: (a) Đặc tuyến cảm biến tích cực sử dụng OTFT và (b) độ lặp lại tại $p = 0,65$ MPa.

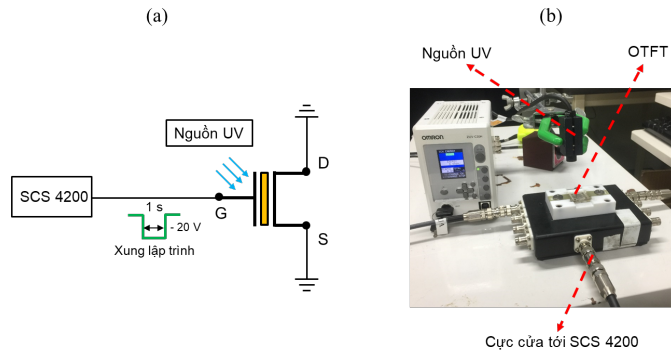
Bảng 3.2: Các tham số cơ bản của cảm biến thụ động và cảm biến tích cực

Tham số cảm biến		Cảm biến thụ động	Cảm biến tích cực (TP thụ động+OTFT)
Độ nhạy kPa^{-1}	(0-3) kPa	8×10^{-2}	35×10^{-2}
	(3-30) kPa	$2,42 \times 10^{-2}$	12×10^{-2}
	(30-200) kPa	$2,98 \times 10^{-3}$	16×10^{-3}
	(0,2-0,65) MPa	$1,18 \times 10^{-4}$	$6,5 \times 10^{-4}$
Trễ cảm biến, %		7,7	1,8
Diện tích, cm^2		(7×7)	(7×7)
Điện áp làm việc, V		5	2
Công suất tiêu thụ		0,42 W	$11,2 \times 10^{-6}$ W

OTFT có độ linh động điện tử và điện áp ngưỡng ở mức tương đương với các công trình [81], [96] tương ứng là $0,09 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ và $1,5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

3.3.2 Thiết lập OTFT sang trạng thái thường đóng

Sau khi chế tạo OTFT ở trạng thái thường mở, để chuyển transistor sang trạng thái thường đóng, cần thực hiện bước lập trình trạng thái thường đóng cho OTFT.



Hình 3.5: Lập trình thường đóng cho OTFT (a) và hình ảnh của bước lập trình (b).

Theo Hình 3.5, một xung lập trình có biên độ -20 V độ rộng 1 s được cấp tới cực cửa trong khi OTFT được chiếu bởi tia UV có bước sóng $\lambda = 365 \text{ nm}$.

Sau khi lập trình, OTFT chuyển sang trạng thái thường đóng với dòng điện cực máng I_{DS} của transistor ở mức -10^{-6} A tại giá trị điện áp cực cửa $V_{GS}=0 \text{ V}$, như được thể hiện ở Hình 3.6.

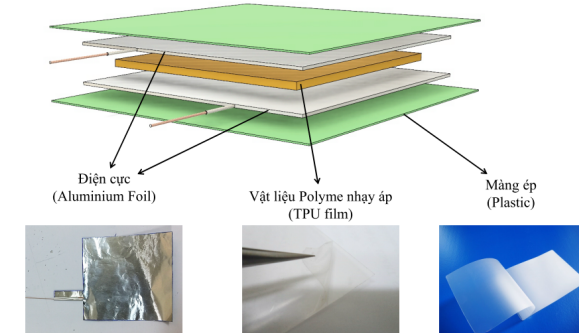
3.4 Đánh giá thông số của cảm biến áp lực dựa trên OTFT thường đóng

Quá trình đánh giá thông số của cảm biến áp lực sử dụng thiết bị nén thủy lực để tạo lực thử nghiệm, và đo dòng điện I_{DS} của cảm biến. Đặc tuyến và độ lặp lại của cảm biến khảo sát được thể hiện trên Hình 3.7, các tham số của cảm biến thụ động và cảm biến sử dụng OTFT được trình bày tại Bảng 3.2.

Theo Bảng 3.2, độ nhạy của cảm biến tăng lên từ 4 đến 5 lần sử dụng kết hợp với OTFT, độ trễ cảm biến giảm xuống từ 7,7 % xuống còn 1,8 %, công suất tiêu thụ lớn nhất ở mức $11,2 \times 10^{-6} \text{ W}$.

μm thể hiện có khả năng dẫn điện tốt và tính mềm dẻo cao. Trong đó nhôm có độ mềm dẻo vượt trội, giá thành rẻ và quan trọng nhất là có độ liên kết tốt với polyurethane khi ép nhiệt. Do đó, luận án đề xuất sử dụng cấu trúc cảm biến xen kẽ với lớp vật liệu điện môi màng mỏng polyurethane được đặt giữa hai tấm điện cực nhôm.

Cấu trúc của cảm biến áp lực hữu cơ sử dụng màng mỏng polyurethane đề xuất được thể hiện trên Hình 2.1. Trong đó, vật liệu polymer nhạy áp được đặt giữa hai tấm điện cực nhôm. Điện cực nhôm và vật liệu polymer được liên kết và bảo vệ bởi lớp màng nhựa (plastic) bên ngoài cùng. Thêm vào đó, các điện cực nhôm được kết nối với dây dẫn ra bên ngoài.



Hình 2.1: Cấu trúc cảm biến áp lực hữu cơ sử dụng màng mỏng polyurethane.

Điện cực nhôm sử dụng từ các tấm nhôm (Aluminium foil) 99,99 % của hãng Sigma-Aldrich/Singapore có suất điện trở $2,6548 \mu\Omega\text{cm}$ và độ dày $30 \mu\text{m}$. Vật liệu polymer nhạy áp sử dụng màng mỏng polyurethane của hãng Sanyo Chemical/Nhật Bản, có độ bền kéo lên tới 38 MPa . Lớp màng ép bảo vệ bên ngoài cùng sử dụng các loại giấy ép bằng nhựa có sẵn keo dính trên thị trường.

2.2 Quy trình chế tạo cảm biến

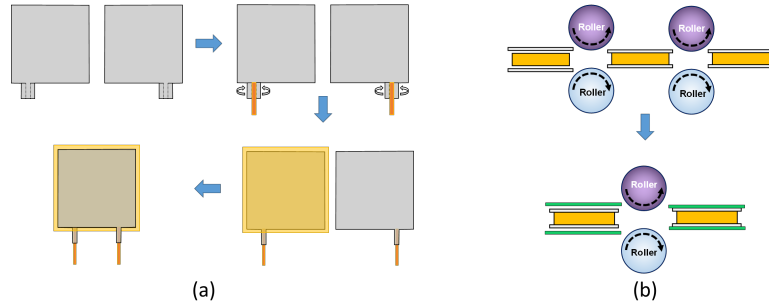
Quy trình chế tạo cảm biến đề xuất bao gồm ba bước: Xử lý bề mặt điện cực; chuẩn bị điện cực, màng polyurethane và gia công hoàn thiện cảm biến.

- **Bước 1:** Xử lý bề mặt điện cực. Theo đó, các tấm điện cực nhôm được xử lý bề mặt bằng phương pháp ăn mòn để đảm bảo tính dẫn điện.

- **Bước 2:** Chuẩn bị điện cực, màng polyurethane. Trong đó, điện cực nhôm và lớp màng polyurethane được cắt ra với kích thước tương ứng $(7 \times 7) \text{ cm}^2$ và $(8 \times 8) \text{ cm}^2$. Mỗi tấm điện cực nhôm được cắt có một phần tai để kết nối với dây

dẫn. Sau đó màng polyurethane được ghép xen giữa hai tấm điện cực nhôm, Hình 2.2(a).

- **Bước 3:** Gia công hoàn thiện cảm biến. Trong đó, tấm màng polyurethane ghép xen giữa hai tấm điện cực được ép 2 lần ở nhiệt độ 80 °C. Tiếp theo, lớp vỏ bảo vệ bằng màng nhựa được phủ bên ngoài cảm biến bằng phương pháp ép nhiệt ở nhiệt độ 80 °C, Hình 2.2(b).



Hình 2.2: (a) Chuẩn bị điện cực và (b) gia công hoàn thiện cảm biến

2.3 Kiểm tra và thử nghiệm xác định thông số cảm biến

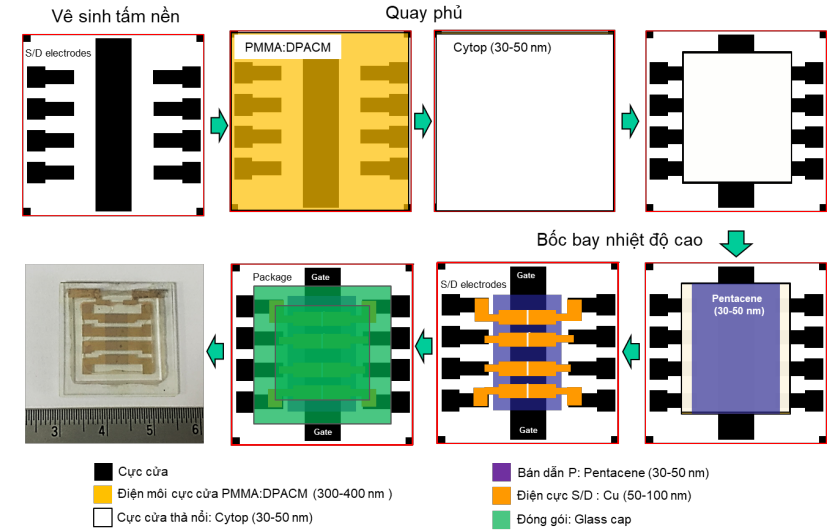
Các thí nghiệm đã được tiến hành để khảo sát đặc tính của cảm biến sau chế tạo. Trong thí nghiệm này, thiết bị nén thủy lực UH 500-kN (Shimadzu/Nhật Bản) được sử dụng để tạo áp lực tác động lên cảm biến. Điện dung đầu ra cảm biến được đo bằng đồng hồ đo điện dung HIOKI 3522-50 (Hioki/Nhật Bản).

2.3.1 Độ nhạy cảm biến

Các cảm biến có độ dày 100 μm , 200 μm , 300 μm và 500 μm đã được chế tạo cùng điều kiện và kích thước giống nhau theo phương pháp ép nhiệt. Kết quả kiểm tra độ nhạy được thể hiện trên Bảng 2.1.

Bảng 2.1: Độ nhạy của cảm biến khảo sát ở các độ dày khác nhau.

Áp lực (Mpa)	Độ nhạy (kPa^{-1})			
	d = 100 μm	d = 200 μm	d = 300 μm	d = 500 μm
0-0,03	$2,42 \times 10^{-2}$	$3,40 \times 10^{-3}$	$5,33 \times 10^{-3}$	$8,77 \times 10^{-3}$
0,03-0,2	$2,98 \times 10^{-3}$	$1,64 \times 10^{-4}$	$1,89 \times 10^{-4}$	$2,30 \times 10^{-4}$
0,20-0,65	$1,18 \times 10^{-4}$	$5,57 \times 10^{-5}$	$5,07 \times 10^{-5}$	$8,35 \times 10^{-5}$



Hình 3.4: Mô tả các bước chế tạo OTFT.

Bước 2: Tạo lớp điện môi cực cửa

Bước 3: Tạo lớp cực cửa thả nổi

Bước 4: Loại bỏ một phần lớp Cytop và lớp điện môi cực cửa

Bước 5: Tạo lớp bán dẫn Pentacene

Bước 6: Tạo lớp điện cực S/D

Bước 7: Đóng gói

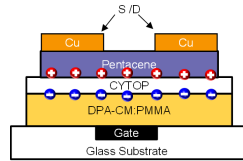
Sau khi chế tạo, OTFT được đo, kiểm tra các tham số sử dụng hệ thống SCS4200 (Keithley, USA). Các tham số của OTFT được thể hiện trên Bảng 3.1.

Bảng 3.1: Các tham số kỹ thuật của OTFT

Tham số	Đơn vị đo	Giá trị	Ghi chú
W	μm	2000	Tham số thiết kế
L	μm	50	
C_G	nF/cm^2	140	
μ	cm^2/Vs	0,893	Tham số tính toán
V_{Th}	V	-4	
I_{on}/I_{off}	-	10^{-7}	

3.2.1 Cấu trúc chi tiết của OTFT

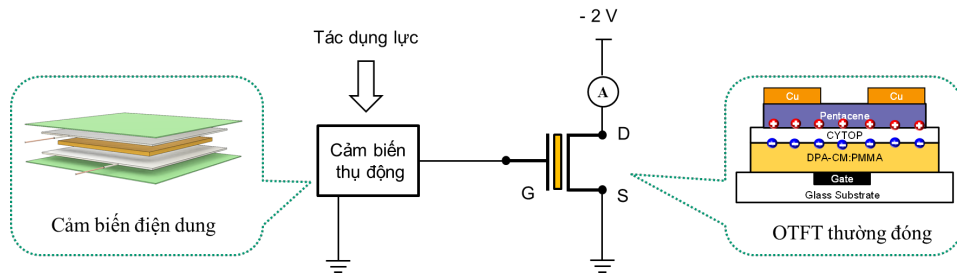
Hình 3.2 mô tả cấu trúc OTFT thường đóng với các lớp màng điện môi cực cửa, lớp cực cửa thả nổi, lớp bán dẫn và các điện cực được tạo ra trên tấm nền thủy tinh ITO.



Hình 3.2: Cấu trúc OTFT với cực cửa thả nổi bằng vật liệu hữu cơ Cytop.

3.2.2 Cấu trúc chi tiết của cảm biến tích cực

Cảm biến áp lực hữu cơ tích cực được tích hợp trên cơ sở cảm biến áp lực hữu cơ điện dung sử dụng vật liệu polyurethane và OTFT thường đóng như được thể hiện trong Hình 3.3.



Hình 3.3: Cảm biến áp lực hữu cơ trên cơ sở OTFT.

Khi có lực tác động, thành phần thụ động đóng vai trò như một tụ điện sẽ thay đổi điện dung, dẫn tới điện dung cực cửa của OTFT thay đổi, làm thay đổi dòng điện cực máng I_{DS} của OTFT.

3.3 Quy trình chế tạo cảm biến dựa trên OTFT thường đóng

3.3.1 Quy trình chế tạo OTFT

Các bước chế tạo OTFT được thể hiện trên Hình 3.4.

Bước 1: Vệ sinh tấm nền ITO

Theo kết quả thí nghiệm, cảm biến độ dày 100 μm giá trị độ nhạy tốt nhất được ghi nhận ở mức $8 \times 10^{-2} \text{ kPa}^{-1}$ tại giá trị áp lực dưới 0,003 MPa (tương ứng với lực tác dụng 20 N). Độ nhạy của cảm biến ở mức tương đương, có thể so sánh được với các công trình [46,47,60,74,75,76,78].

2.3.2 Độ lặp lại của cảm biến

Thí nghiệm khảo sát độ lặp lại của cảm biến được tiến hành đối với cảm biến có độ dày 100 μm với 3 nội dung thử nghiệm:

- Thử nghiệm với các áp lực lặp lại ở mức 0,65 MPa.
- Thử nghiệm với các áp lực lặp lại ở mức khác nhau: 0,08; 0,2; 0,4; 0,65; 1,0 và 1,5 MPa.
- Thử nghiệm đáp ứng của cảm biến đối với các áp lực lặp lại trong một thời gian dài với mức áp lực tương đương với áp lực của bánh xe ô tô lên mặt đường.

Các kết quả thử nghiệm cho thấy, cảm biến có độ lặp lại tốt và vẫn đảm bảo hoạt động tốt sau hơn 500 lần thử. Tuy nhiên, độ trễ cảm biến còn tương đối lớn, vào khoảng 7,7 %. Độ trễ có thể được cải thiện khi kết hợp cảm biến với OTFT mà sẽ được trình bày trong Chương 3 của luận án.

2.3.3 Sự ảnh hưởng của nhiệt độ

Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng, cảm biến áp lực hữu cơ chế tạo từ vật liệu polyurethane có hệ số ảnh hưởng nhiệt độ dương. Theo đó, các đồ thị đặc tuyến của cảm biến tăng khá đều theo giá trị nhiệt độ. Tương tự như các khảo sát về ảnh hưởng của nhiệt độ tới cảm biến áp lực hữu cơ tại các công trình nghiên cứu của A. Shirinov [79] và S. Wan [40].

2.3.4 Độ uốn cong của cảm biến

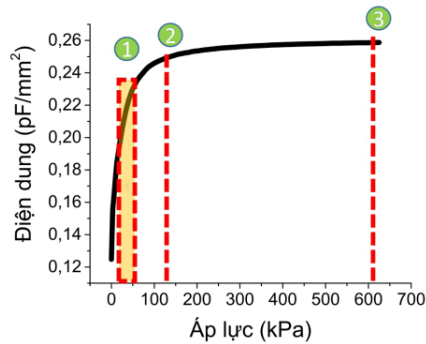
Để khảo sát khả năng uốn cong của cảm biến sử dụng màng polyurethane, điện dung đầu ra của cảm biến được đo khi cảm biến được uốn cong với các bán kính khác nhau thay đổi từ 200 mm tới vô cùng (trạng thái bình thường). Kết quả thí nghiệm chứng tỏ rằng, cảm biến có thể làm việc tốt khi bị uốn cong với bán kính cong lớn hơn 500 mm.

2.4 Kết luận chương 2

Các kết quả khảo sát những nghiên cứu trước cho thấy hầu hết các cảm biến áp lực có độ nhạy tốt, dải áp lực làm việc rộng đều có cấu trúc phức tạp

với công nghệ chế tạo đòi hỏi sự khắt khe của quá trình pha tạp phần tử dẫn điện vào polymer. Luận án mạnh dạn đề xuất quy trình chế tạo cảm biến áp lực sử dụng cấu trúc màng polyurethane ghép giữa hai điện cực nhôm bằng phương pháp ép nhiệt.

Kết quả đo thông số của cảm biến sau khi chế tạo cho thấy cấu trúc tối ưu là chiều dày lớp polyurethane là $100 \mu\text{m}$, diện tích cảm biến là $(7 \times 7) \text{cm}^2$. Khi này cảm biến có độ nhạy lên tới $2,42 \times 10^{-2} \text{kPa}^{-1}$ trong dải áp lực nhỏ hơn 30 kPa và $1,18 \times 10^{-4} \text{kPa}^{-1}$ trong dải áp lực lớn hơn 200 kPa. Thêm vào đó, các thử nghiệm về độ uốn ảnh hưởng tới các thông số cho thấy cảm biến nên làm việc với bán kính cong lớn hơn 500 mm. Ngoài ra, độ bền của cảm biến cũng rất tốt thể hiện trong việc lặp lại các thử nghiệm áp lực lên tới hơn 500 lần mà cảm biến vẫn làm việc bình thường.



Hình 2.3: Các đoạn đặc tuyến đề xuất cho các ứng dụng IoT.

Căn cứ vào đặc tuyến của cảm biến (Hình 2.3), cảm biến có thể ứng dụng trong một số nút IoT: Đoạn 1 - đặc tuyến có độ dốc lớn, chịu áp lực nhỏ có thể phù hợp với ứng dụng theo dõi công trình xây dựng; đoạn 2 - đặc tuyến có độ dốc nhỏ, chịu áp lực trung bình phù hợp với ứng dụng đổi chuyển động bước chân; đoạn 3 - độ dốc nhỏ, chịu áp lực lớn, (nhỏ hơn 120 kPa) và phát hiện chuyển động của ô tô - , đặc tuyến bão hòa, (khoảng 0,65 MPa). Chi tiết của việc triển khai thực tế cho các ứng dụng này sẽ được trình bày trong Chương 4 của luận án.

Chương 3

Nghiên cứu chế tạo cảm biến áp lực hữu cơ tích cực dựa trên OTFT thường đóng

3.1 Giới thiệu

Cảm biến áp lực tích cực sử dụng transistor màng mỏng hữu cơ (OTFT) trong các nghiên cứu [34, 81–83] đã được chứng minh có sự cải thiện đáng kể về độ nhạy, độ trễ và giảm điện áp làm việc của cảm biến.

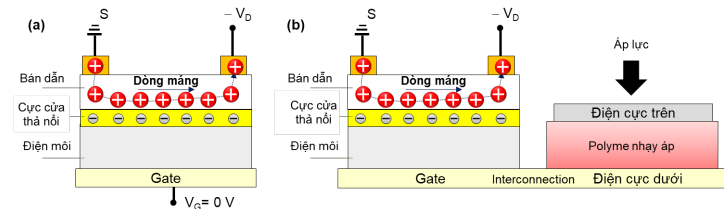
Để sử dụng tính năng khuếch đại tín hiệu, thành phần thụ động được nối với ngõ vào, tức là cực cửa (G: Gate electrode) của OTFT [34,81,84].

Tuy nhiên, hầu hết các bán dẫn hữu cơ là loại thường mở, do đó muốn chuyển OTFT của cảm biến sang trạng thái đóng cần cung cấp điện áp V_{GS} đủ lớn để tạo điện trường hút hạt dẫn lỗ trống từ điện cực nguồn vào lớp bán dẫn để tạo thành kênh dẫn.

Thông thường V_{GS} và V_{DS} khá lớn như trong thiết kế cảm biến của G. Schwartz [81] và S. mannsfeld [34] có các mức điện áp tương ứng là $V_{DS} = V_{GS} = -200 \text{V}$ và $V_{DS} = -80 \text{V}$, $V_{GS} = -20 \text{V}$. Bên cạnh đó, nhiều OTFT yêu cầu điện áp làm việc cao $> 20 \text{V}$ [85-88]. Các mức điện áp này là rất khó khăn với khả năng áp dụng của cảm biến.

3.2 Cấu trúc cảm biến áp lực dựa trên OTFT thường đóng

Cảm biến áp lực tích cực do luận án đề xuất sử dụng cảm biến áp lực đã có như phần tử thụ động được nối với cực cửa của OTFT thường đóng như biểu diễn trong Hình 3.1.



Hình 3.1: (a) Cấu trúc OTFT thường đóng và (b) cảm biến áp lực hữu cơ trên cơ sở OTFT thường đóng.

