

Thiết kế, mô phỏng cảm biến điện dung đồng phẳng đo điện môi màng mỏng không phá hủy

Nguyễn Anh Dũng¹, Nguyễn Đắc Nam², Nguyễn Việt Hoàng¹,
Nguyễn Cao Minh¹, Đồng Minh Hoàng¹, Nguyễn Đắc Hải^{1*}

¹Trường Đại học Công nghiệp, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam;

²Trường Đại học Phenikaa, Hà Đông, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: haind@hau.edu.vn

Nhận bài: 12/10/2023; Hoàn thiện: 12/12/2023; Chấp nhận đăng: 05/02/2024; Xuất bản: 25/02/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.93.2024.55-62>

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày về thiết kế cảm biến điện dung đồng phẳng ứng dụng trong đo điện môi màng mỏng không phá hủy với hiệu suất cao và chi phí tối thiểu. Đồng thời để giảm thành phần ký sinh và nhiễu thông thường, cấu trúc cảm biến điện dung được thiết kế gồm một tụ điện tham chiếu và một tụ điện cảm biến. Sử dụng cấu trúc này, điện môi của màng mỏng có thể được ước tính thông qua điện dung chênh lệch từ hai tín hiệu tụ điện tham chiếu và tụ điện cảm biến. Hai cấu trúc điện cực đã được nghiên cứu, mô phỏng và lựa chọn ra cấu trúc răng lược có hiệu suất cao hơn. Mô phỏng được tiến hành sử dụng màng mỏng Polyethylene (PE) có điện môi thay đổi từ 1,375 đến 3,19 để nghiên cứu nguyên lý làm việc của cảm biến. Kết quả mô phỏng cho thấy độ tuyến tính của điện dung đầu ra của cảm biến tương ứng với các điện môi khác nhau. Độ nhạy của cảm biến lần lượt là 20,86 fF/1 đơn vị điện môi và 178,96 fF/1 đơn vị điện môi tương ứng với màng mỏng có độ dày 10 μm và 120 μm . Kết quả mô phỏng chứng minh rằng, cảm biến này có tiềm năng cao được ứng dụng đo điện môi của màng mỏng ứng dụng trong quân sự và y sinh.

Từ khóa: Cảm biến điện dung; Cảm biến đồng phẳng; Đo điện môi màng mỏng không tiếp xúc; Đo điện môi màng mỏng không phá hủy.

1. MỞ ĐẦU

Việc đo lường điện môi của vật liệu ở tần số nhất định đã ngày càng có tầm quan trọng trong các lĩnh vực nghiên cứu như vật liệu khoa học [1-3], phát triển chất hấp thụ [4, 5], đánh giá tính chất của vật liệu xây dựng đường [6], nghiên cứu sinh học [7]. Đặc biệt, đo lường điện môi của polymer, polyethylene cũng được nhiều nhóm nghiên cứu quan tâm và nghiên cứu [8-10]. Trong hệ thống cách điện cao áp vật liệu polyme được sử dụng phổ biến nhất, việc xác định điện môi là công việc cần thiết [11]. Phép đo điện môi rất quan trọng vì nó có thể cung cấp các đặc tính điện hoặc từ của vật liệu, điều này là hữu ích trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu và phát triển. Nhiều phương pháp đã được áp dụng để đo các tính chất phức tạp này như các phương thức trong miền thời gian hoặc miền tần số [2], phương pháp quét nhiệt lượng vi sai đối với Polyethylene/Polypropylene [11], phương pháp quang phổ điện môi [10]. Mỗi phương pháp này được giới hạn ở tần số, vật liệu và ứng dụng cụ thể hạn chế. Trong nhiều nghiên cứu đo lường như đo góc nghiêng, phát hiện bọt khí trong kênh chất lỏng, đo độ dày màng mỏng, ... cảm biến được sử dụng rộng rãi nhất là cảm biến điện dung với nhiều ưu điểm như ít nhiễu, ít ảnh hưởng của môi trường đến nhiệt độ, độ ẩm và độ ổn định và độ bền cao của cảm biến điện dung [12-14]. Trong số các loại cảm biến điện dung được sử dụng, cảm biến điện dung có điện cực đồng phẳng có hiệu quả hơn. Hơn nữa, cảm biến điện dung đồng phẳng có cấu trúc đơn giản hơn và dễ sản xuất hơn các loại cảm biến điện dung khác [15, 16].

Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu thiết kế cảm biến đồng phẳng kiểu điện dung đo điện môi màng mỏng không tiếp xúc và không phá hủy. Các điện cực của cảm biến được tích hợp trên một đế PCB cố định làm giảm nhiễu nguồn và tụ ký sinh. Nghiên cứu sử dụng phương pháp tính toán lý thuyết và mô phỏng để lựa chọn cấu hình cảm biến để tăng hiệu suất cảm biến. Màng mỏng có

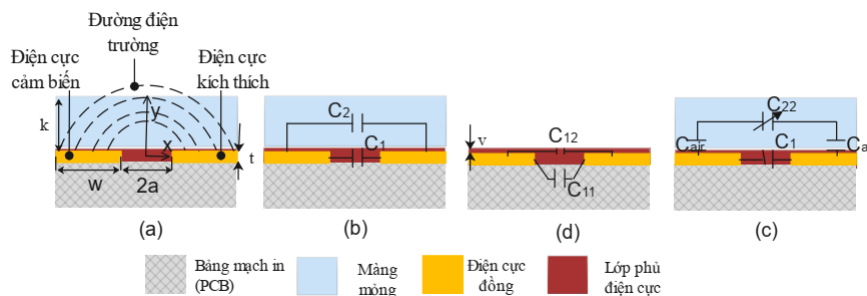
điện môi thay đổi từ 1,375 đến 3,19. Điện môi của màng mỏng được cảm nhận dựa trên sự thay đổi điện dung của cặp điện cực tụ cảm biến, khi màng mỏng đặt sát điện cực cảm biến sẽ làm thay đổi điện môi của cảm biến tụ điện và làm thay đổi điện dung của cảm biến tụ điện. Từ sự thay đổi của điện dung này sẽ ước lượng được điện môi của màng mỏng.

2. CẢM BIẾN ĐỒNG PHẪNG KIỂU TỤ ĐIỆN

Điện dung của tụ điện đồng phẳng có hai điện cực đồng phẳng đặt cách nhau một khoảng và đặt trong môi trường điện môi đồng nhất có hằng số điện môi ϵ_r (hình 1a) được xác định theo công thức dưới đây [17]:

$$C = \frac{2\epsilon_r\epsilon_0 l}{\pi} \ln \left[\left(1 + \frac{w}{a} \right) + \sqrt{\left(1 + \frac{w}{a} \right)^2 - 1} \right] \quad (1)$$

Trong đó, ϵ_0 là hằng số điện môi chân không, l là chiều dài và w là chiều rộng của điện cực. Hầu hết các cảm biến điện dung đều dựa trên việc phát hiện những thay đổi điện môi và sự xâm nhập của các đường sức điện trường. Do đó, sự thay đổi điện môi màng mỏng dẫn đến thay đổi điện dung của cảm biến.



Hình 1. Vị trí của các điện cực kích thích và điện cực cảm biến.

Trong thiết kế này, sự thay đổi điện dung được tính đến do ảnh hưởng của điện môi màng mỏng và lớp không khí giữa điện cực và màng mỏng. Tổng điện dung được hình thành bởi một cặp điện cực đồng phẳng đặt dưới một màng mỏng (hình 1b) được xác định theo công thức:

$$C_{\text{total}} = C_1 + C_2 \quad (2)$$

Trong đó: C_1 , C_2 là điện dung tương đương song song được hình thành bởi các đường điện trường khác nhau giữa các điện cực.

Tụ điện được tạo ra bởi màng mỏng là C_{22} , tụ điện được tạo ra bởi màng mỏng và lớp phủ điện cực là C_{air} (hình 1c). Điện dung được hình thành bởi độ dày điện cực là C_{11} và tụ điện được hình thành bởi lớp phủ điện cực là C_{12} (hình 1d). Khi thay đổi điện môi của màng mỏng thì điện dung C_2 thay đổi, còn điện dung C_1 coi là không đổi. Điện dung tương đương C_1 trong công thức (2) có thể được biểu thị dưới dạng:

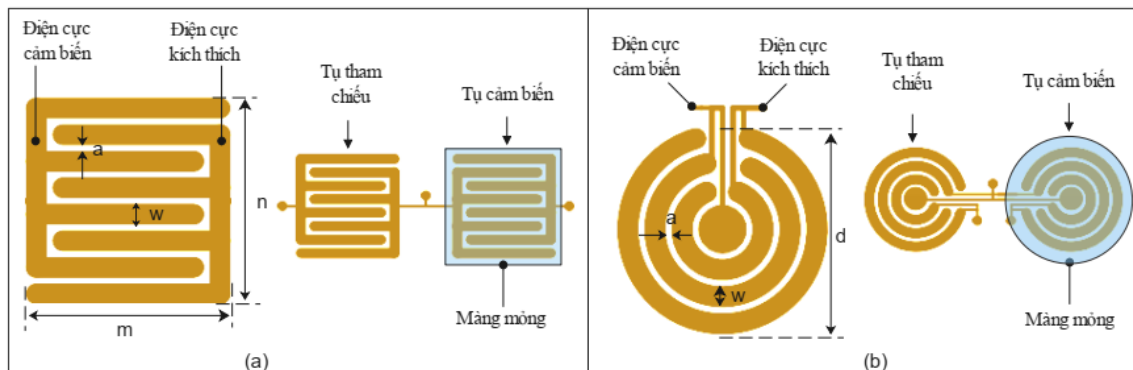
$$C_1 = C_{11} + C_{12} \quad (3)$$

Điện dung tương đương C_2 trong công thức (2) có thể được biểu diễn chi tiết như công thức (4). Từ công thức (4) có thể thấy giá trị điện dung của tụ C_2 sẽ thay đổi tùy theo giá trị của tụ C_{air} và C_{22} . Giá trị của tụ C_{air} sẽ là giá trị không đổi đối với từng loại vật liệu màng mỏng. Như vậy, khi thay đổi điện môi màng mỏng của loại vật liệu xác định thì chỉ có giá trị tụ C_{22} thay đổi. Vì vậy, chúng ta có thể ước tính điện môi của màng mỏng bằng cách đo sự thay đổi điện dung.

$$C_2 = \frac{\frac{C_{\text{air}}}{2} \cdot C_{22}}{\frac{C_{\text{air}}}{2} + C_{22}} = \frac{C_{\text{air}} \cdot C_{22}}{C_{\text{air}} + 2C_{22}} \quad (4)$$

3. THIẾT KẾ CẢM BIẾN, MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thiết kế cảm biến



Hình 2. Hai hình dạng cảm biến được đề xuất cho thiết kế và nghiên cứu.

Hai hình dạng cảm biến như trên hình 2: dạng cảm biến răng lược (hình 2a), dạng cảm biến tròn (hình 2b). Các điện cực của hai loại này có cùng độ dày t , khoảng cách giữa hai điện cực là a , chiều rộng của điện cực là w và chiều dài của điện cực là l dọc theo trục z (hình 1a). Cả hai dạng cảm biến đều được thiết kế bao gồm điện cực cảm biến và điện cực kích thích. Các điện cực của cảm biến được phủ một lớp vecni acrylic để có tác dụng cách điện và các điện cực không tiếp xúc với màng mỏng. Hình 2 thể hiện thiết kế của cảm biến điện dung đồng phẳng bao gồm tụ điện tham chiếu và tụ điện cảm biến, tụ điện tham chiếu ($C_{\text{tham chiếu}}$) có giá trị điện dung là C_1 và tụ điện cảm biến ($C_{\text{cảm biến}}$) có giá trị điện dung là $(C_1 + C_2)$ (hình 1b, 1c, 1d). Điện dung chênh lệch của 2 tụ điện (ΔC) được xác định bởi:

$$\Delta C = C_{\text{cảm biến}} - C_{\text{tham chiếu}} = (C_1 + C_2) - C_1 = C_2 \quad (5)$$

Trong mô phỏng, độ dày điện cực của cảm biến (t) được cố định là 0,1 mm, chiều rộng (m), chiều dài (n) và đường kính (d) của cảm biến được cố định là 9,99 mm. Bốn cấu hình dựa trên chiều rộng điện cực (w) và khoảng cách khe hở giữa các điện cực (a) được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Kích thước chiều rộng điện cực và khoảng cách giữa các điện cực của hai loại cảm biến.

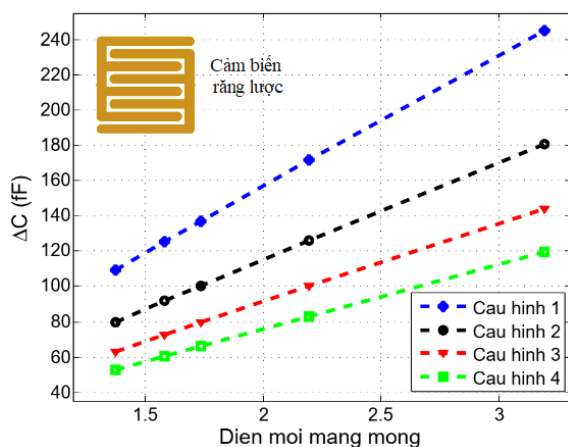
| | Cấu hình 1 | Cấu hình 2 | Cấu hình 3 | Cấu hình 4 |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Khoảng cách giữa các điện cực (a) - mm | 0.25 | 0.35 | 0.45 | 0.55 |
| Độ rộng điện cực (w) -mm | 1.03 | 0.9425 | 0.855 | 0.7675 |

3.2. Mô phỏng hoạt động của cảm biến và thảo luận

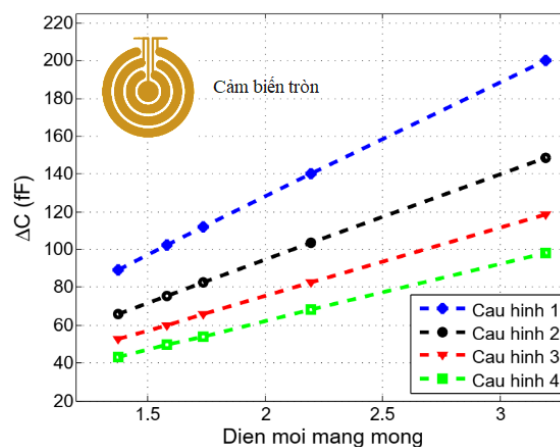
Trong nghiên cứu này, phần mềm mô phỏng Comsol Multiphysics đã được sử dụng để nghiên cứu hoạt động của cảm biến. Bảng 2 thể hiện các thông số mô phỏng trong mô hình. Sự phân bố điện trường bên trong cảm biến được nghiên cứu bằng cách đặt điện áp DC (+13,08 V) giữa điện cực kích thích và điện cực cảm biến. Vật liệu màng mỏng được sử dụng trong mô phỏng là Polyethylene (PE), có hằng số điện môi thay đổi từ 1,375 đến 3,19 với độ dày (k) là 40 μm . Lớp phủ điện cực chất liệu vecni acrylic có độ dày cố định (v) 10 μm và hằng số điện môi là 3,25 (hình 1d).

Đầu tiên, đặc tính điện dung đầu ra của cảm biến được nghiên cứu bằng cảm biến hình dạng răng lược (hình 2a) có khoảng cách giữa các điện cực (a) thay đổi từ 0,25 mm đến 0,55 mm và chiều rộng các điện cực (w) từ 1,03 mm xuống 0,7675 mm (cấu hình ở bảng 1). Hình 3 thể hiện kết quả mô phỏng của cảm biến hình dạng răng lược tương ứng với 4 cấu hình. Nó cho thấy rằng, khi điện môi màng mỏng tăng thì điện dung đầu ra cũng tăng tương ứng. Cấu hình 1 có độ nhạy tốt nhất trong 4 cấu hình. Cụ thể, điện dung thay đổi lên tới 244,882 fF tương ứng với màng mỏng

có độ dày (k) là 40 μm và hằng số điện môi là 3,19.



Hình 3. Thay đổi đặc tính điện dung tương ứng với điện môi màng mỏng với cảm biến hình dạng răng lược.



Hình 4. Thay đổi đặc tính điện dung tương ứng với điện môi màng mỏng với cảm biến hình tròn.

Bảng 2. Các thông số mô phỏng trong mô hình.

| Thành phần hệ thống của cảm biến | Chất liệu | Hằng số điện môi | Độ dẫn điện (S/m) |
|----------------------------------|--------------|------------------|-------------------|
| Không khí | Không khí | 1 | - |
| Màng mỏng | Polyethylene | 1,375 ÷ 3.19 | 10^{-10} |
| Mảng mạch in (PCB) | FR4 | 4,1 | - |
| Lớp phủ điện cực | Acrylic | 3,25 | - |
| Điện cực | Đồng | - | $5,96 \cdot 10^7$ |

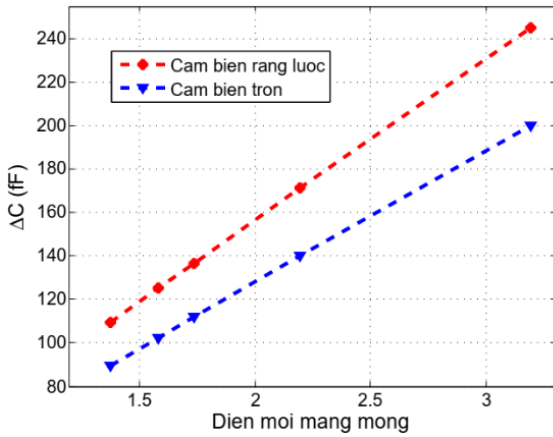
Tiếp theo, đặc tính điện dung đầu ra của cảm biến được nghiên cứu bằng cảm biến dạng hình tròn (hình 2b). Cảm biến dạng hình tròn với khoảng cách giữa các điện cực (a) thay đổi từ 0,25 mm đến 0,55 mm và chiều rộng điện cực (w) thay đổi từ 1,03 mm xuống 0,7675 mm (cấu hình ở bảng 1). Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình 4. Kết quả trên hình 4 cho thấy cảm biến cấu trúc theo cấu hình 1 có độ nhạy tốt nhất trong 4 cấu hình khi điện dung thay đổi lên tới 200,143 fF tương ứng với hằng số điện môi là 3,19.

Bốn cấu hình trên đã được nghiên cứu trên 2 hình dạng cảm biến để cho thấy đặc tính điện dung đầu ra tương ứng với các tham số điện môi khác nhau. Những kết quả đó chứng tỏ cấu hình 1 có hiệu năng cao nhất. Màng mỏng PE có độ dày 40 μm và có điện môi thay đổi từ 1,375 đến 3,19 được sử dụng trong mô phỏng. Kết quả mô phỏng trên hình 5 cho thấy cảm biến dạng răng lược cho độ nhạy tốt nhất với sự thay đổi điện dung đầu ra là 244,882 fF tương ứng với điện môi màng mỏng 3,19.

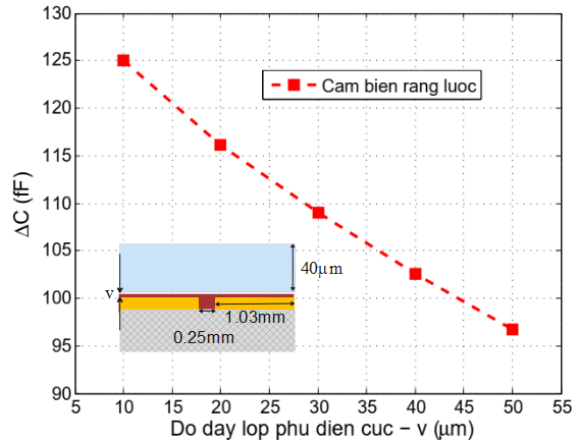
Hình 6 thể hiện kết quả mô phỏng nghiên cứu sự thay đổi điện dung đầu ra tương ứng với độ dày lớp phủ điện cực (v) của cảm biến răng lược. Cảm biến răng lược sử dụng trong mô phỏng này có cùng kích thước với cấu hình 1 trong bảng 1. Hình 6 thể hiện kết quả mô phỏng điện dung đầu ra của cảm biến răng lược thay đổi từ 125,075 fF xuống 96,7 fF tương ứng với độ dày lớp phủ điện cực (v) tăng dần từ 10 μm đến 50 μm và màng mỏng PE dày 40 μm với hằng số điện môi 1,582.

Dựa trên kết quả mô phỏng hai dạng cảm biến (hình 5) và độ dày lớp phủ (hình 6), nhóm nghiên cứu chọn cảm biến răng lược có độ dày lớp phủ điện cực là 10 μm , khoảng cách giữa các điện cực là 0,25 mm và chiều rộng điện cực là 1,03 mm (cấu hình 1) để mô phỏng hoạt động của cảm biến

đo lường điện môi màng mỏng.

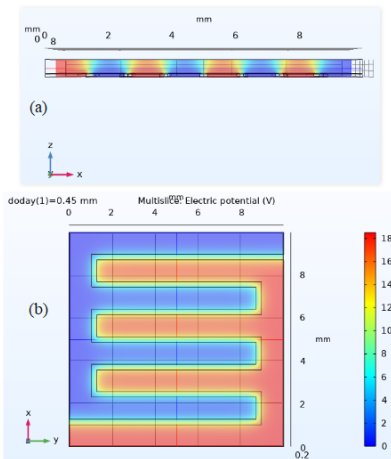


Hình 5. So sánh sự thay đổi điện dung đầu ra của hai hình dạng cảm biến.

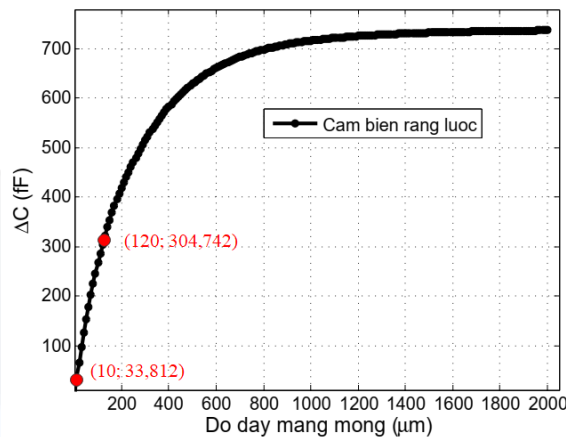


Hình 6. Khảo sát sự thay đổi điện dung đầu ra tương ứng với độ dày lớp phủ điện cực.

3.3. Kết quả mô phỏng và bình luận



Hình 7. Phân bố điện trường trong cảm biến khi đặt một màng mỏng lên điện cực.



Hình 8. Điện dung đầu ra thay đổi tương ứng với độ dày màng mỏng thay đổi từ 10 μm đến 2000 μm.

Hình 7 cho thấy hai mặt phẳng riêng biệt của biên dạng trường tĩnh điện khi một màng mỏng được đặt trên điện cực. Có thể thấy, sự phân bố của điện trường không đồng đều ở khe hở giữa các điện cực và màng mỏng. Vùng màu đỏ biểu thị cường độ điện áp cao hơn và vùng màu xanh biểu thị điện áp thấp hơn. Sự phân bố điện trường này thể hiện hiệu ứng cao giữa các điện cực cảm biến và màng mỏng.

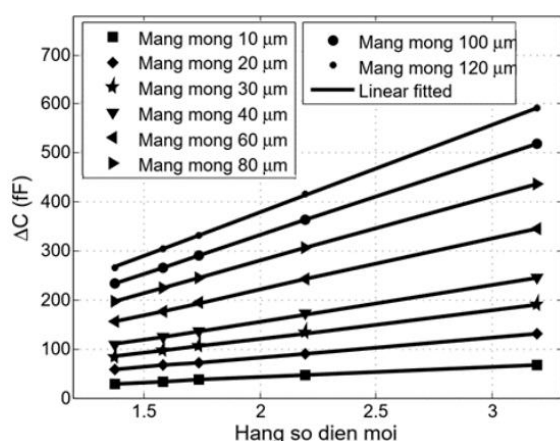
Hình 8 thể hiện kết quả mô phỏng khi màng mỏng PE có hằng số điện môi là 1,582 và độ dày thay đổi từ 10 μm đến 2000 μm thì điện dung đầu ra thay đổi lần lượt từ 33,812 fF đến 737,492 fF. Kết quả mô phỏng này cũng cho thấy khi độ dày màng mỏng thay đổi từ 10 μm đến 120 μm thì điện dung đầu ra thay đổi tương ứng từ 33,812 fF đến 304,742 fF có thể coi là tuyến tính.

Kết quả mô phỏng trên hình 9 và bảng 3 cho thấy, điện dung đầu ra thay đổi tuyến tính tương ứng với hằng số điện môi thay đổi từ 1,375 đến 3,19. Khi độ dày màng mỏng tăng từ 10 μm đến 120 μm thì điện dung đầu ra của cảm biến cũng tăng tương ứng. Với hằng số điện môi của màng mỏng là 1,375, điện dung của cảm biến thay đổi lần lượt là 29,442 fF và 266,462 fF tương ứng với các độ dày màng mỏng là 10 μm và 120 μm. Đối với màng mỏng có điện môi tối đa 3,19, điện

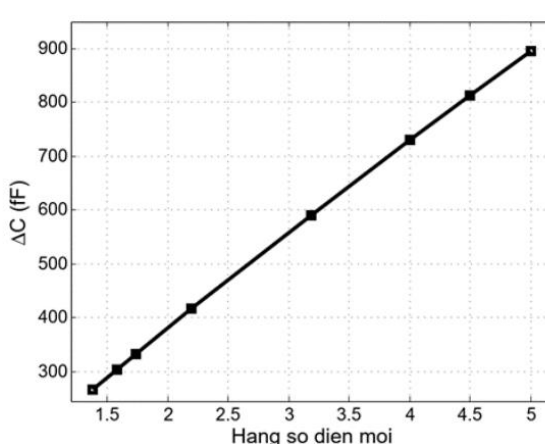
dung cảm biến thay đổi lần lượt là 67,312 fF và 591,272 fF tương ứng với độ dày màng mỏng là 10 μm và 120 μm .

Bảng 3. Điện dung đầu ra của cảm biến thay đổi tương ứng với hằng số điện môi và độ dày của màng mỏng.

| Điện môi | Độ dày màng mỏng (μm) | | | | | | | |
|----------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 1.375 | 29.442 | 57.692 | 84.152 | 109.202 | 155.152 | 196.412 | 233.152 | 266.462 |
| 1.582 | 33.812 | 66.172 | 96.442 | 125.082 | 177.562 | 224.692 | 266.672 | 304.742 |
| 1.735 | 37.032 | 72.412 | 105.482 | 136.732 | 194.002 | 245.432 | 291.242 | 332.802 |
| 2.196 | 46.692 | 91.082 | 132.462 | 171.512 | 242.982 | 307.152 | 364.352 | 416.252 |
| 3.19 | 67.312 | 130.682 | 189.522 | 244.892 | 346.042 | 436.792 | 517.772 | 591.272 |



Hình 9. Điện dung đầu ra của cảm biến thay đổi tương ứng với hằng số điện môi và độ dày của màng mỏng.



Hình 10. Điện dung đầu ra của cảm biến thay đổi tương ứng với hằng số điện môi của màng mỏng lớn đến 5,0.

Trong nghiên cứu này, màng mỏng được sử dụng có chất liệu là Polyethylene có điện môi tối đa 5,0. Hình 10 thể hiện kết quả mô phỏng khi màng mỏng PE có độ dày là 120 μm và hằng số điện môi thay đổi từ 1,375 đến 5,0 thì điện dung đầu ra thay đổi lần lượt từ 266,462 fF đến 895,752 fF. Kết quả mô phỏng này cũng cho thấy khi điện môi màng mỏng thay đổi thì điện dung đầu ra thay đổi tuyến tính.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất hai loại cảm biến đồng phẳng có cấu trúc dạng răng lược và hình tròn nhằm tối ưu hóa cấu trúc của các điện cực để đo điện môi màng mỏng. Cảm biến được đề xuất có kích thước nhỏ 9,99 x 9,99 mm. Quá trình mô phỏng đã được tiến hành để tìm ra cấu trúc của điện cực dạng răng lược cho hiệu suất làm việc tốt nhất. Cấu trúc cảm biến được tối ưu hóa bằng phương pháp tính toán lý thuyết và mô phỏng các kích thước khác nhau của các điện cực cảm biến, khoảng cách giữa các điện cực và độ dày lớp phủ điện cực. Chiều rộng, khoảng cách giữa các điện cực và độ dày lớp phủ điện cực lần lượt là 1,03 mm, 0,25 mm và 0,01 mm. Đặc biệt, hai cảm biến điện dung được thiết kế trực tiếp trên cùng một bảng mạch PCB giúp giảm nhiễu nguồn điện và

nhieu tụ điện ký sinh. Đồng thời, cảm biến tụ điện được chế tạo và liên kết trực tiếp trên PCB với mạch xử lý tín hiệu tích hợp để giảm điện dung ký sinh và nhiễu thông thường. Cảm biến được đề xuất này có thể đo điện môi màng mỏng không tiếp xúc và không phá hủy. Cảm biến rằng lược được đề xuất có thể đo điện môi màng mỏng PE từ 1,375 đến 3,19 và độ dày từ 10 μm đến 120 μm . Độ nhạy của cảm biến đạt được là từ 20,86 fF/1 đơn vị điện môi và 178,96 fF/1 đơn vị điện môi tương ứng với màng mỏng có độ dày 10 μm và 120 μm . Kết quả đã chứng minh rằng cấu trúc đề xuất có chi phí thấp, độ nhạy cao và phù hợp cho một số ứng dụng trong quân sự và y sinh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. James R. Baker-Jarvis *et al*, “*Measuring the permittivity and permeability of lossy materials: solids, liquids, metals, building materials, and negative-index materials*,” U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, pp102-104, (2005).
- [2]. Bartley, Philip G.; Begley, Shelley B., “*A new free-space calibration technique for materials measurement*,” IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) - Graz, Austria, pp. 47–51, (2012).
- [3]. Ozturk, Turgut; Elhawil, Amna; Dügenci, Muharrem; Ünal, İlhami; Uluer, İhsan, “*Extracting the dielectric constant of materials using ABC-based ANNs and NRW algorithms*,” Journal of Electromagnetic Waves and Applications, **Vol. 30**, No.13, pp.1785–1799, (2016).
- [4]. A. R. Kerr *et al*, “*Compact waveguide loads and fis measurements at room temperature and 5 k*,” The National Radio Astronomy Observatory, ALMA MEMO #494, pp.1-10, (2004).
- [5]. Halpern, Mark; Gush, Herbert P.; Wishnow, Edward; De Cosmo, Vittorio, “*Far infrared transmission of dielectrics at cryogenic and room temperatures: glass, Fluorogold, Eccosorb, Stycast, and various plastics*,” Optical Society of America, **Vol. 25**, No.4, pp.565-570, (1986).
- [6]. A MAHARAJ and R LEYLAND, “*The dielectric constant as a means of assessing the properties of road construction materials*,” Proceedings of the 29th Southern African Transport Conference (SATC), Pretoria, South Africa, pp.487-498, (2010).
- [7]. S Gabriel *et al*, “*The dielectric properties of biological tissues: III.Parametric models for the dielectric spectrum of tissues*,” Physics in Medicine & Biology, Vol.41, No.11, pp.2271–2293, (1996).
- [8]. L. de Brouckere; G. Offergeld, “*The dielectric properties of solid polymers*,” Journal of Polymer Science, **Vol. 30**, No.121, pp.105–118, (1958).
- [9]. Y.K. Kulshrestha; A.P. Srivastava, “*Dielectric properties of polystyrene and polystyrene-chloranil*,” Thin Solid Films, Printed in the Netherlands, **Vol.71**, No.1, pp.41–45, (1980).
- [10]. T. Seghier and F. Benabed, “*Dielectric Properties Determination of High Density Polyethylene (HDPE) by Dielectric Spectroscopy*,” International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, **Vol. 3**, No. 2, pp.121-124, (2015).
- [11]. Ahmed Dabbak, Sameh; Illias, Hazlee; Ang, Bee; Abdul Latiff, Nurul; Makmud, Mohamad, “*Electrical Properties of Polyethylene/Polypropylene Compounds for High-Voltage Insulation*,” Energies, **Vol.11**, No.6, pp.1-13, (2018).
- [12]. Tran Thi, Ha Thuy; Nguyen Dac, Hai; Ngoc, An Nguyen; Nguyen Ngoc, Dung; Thai, Le Van; Thanh Bui, Tung, –“*A 3D Printed Two-axis Tilt Angle Capacitive Sensor*,” in Conference: 2018 IEEE Seventh International Conference on Communications and Electronics (ICCE), pp. 191-195, (2018).
- [13]. Dac, Hai Nguyen; Thuy, Ha Tran Thi; Quoc, Tuan Vu; Van, Thai Le; Duc, Trinh Chu; Bui, Tung Thanh; Ngoc, An Nguyen, “*Study on Design Optimization of a Symmetry Two-Axis Tilt Angle Capacitive Sensor*,” IETE. J. Res., pp. 264-271, (2020).
- [14]. Hai, Nguyen Dac; Tuan, Vu Quoc; Loc, Do Quang; Hai, Nguyen Hoang; Trinh, Chu Duc, “*Differential C4D sensor for conductive and non-conductive fluidic channel*,” Microsystem Technologies., **Vol. 22**, no. 10, pp. 2511–2520, (2016).
- [15]. Chen, Jian Z.; Darhuber, Anton A.; Troian, Sandra M.; Wagner, Sigurd, “*Capacitive sensing of droplets for microfluidic devices based on thermocapillary actuation*,” Lab on a Chip., **Vol. 4**, no. 5, pp. 473–480, (2004).
- [16]. Caglar Elbuken; Tomasz Glowdel; Danny Chan; Carolyn L. Ren, “*Detection of microdroplet size and speed using capacitive sensors*,” Sensors and Actuators A: Physical., **Vol. 171**, no. 2, pp. 55–62, (2011).

- [17]. Chen, Jian Z.; Darhuber, Anton A.; Troian, Sandra M.; Wagner, Sigurd, "Capacitive sensing of droplets for microfluidic devices based on thermocapillary actuation," Lab on a Chip, **Vol.4**, No.5, pp.473-480, (2004).

ABSTRACT

Design and simulation of a coplanar capacitive sensor for non-destructive thin-film dielectric measurement

This article presents a different design of coplanar capacitive sensors for application in non-destructive thin film dielectric measurement with high performance and minimal cost. Another difference in this sensor design is that to reduce parasitic components and common noise, the capacitive sensor structure is designed to include a reference capacitor and a sensing capacitor. Using this structure, the dielectric of the thin film can be estimated through the unbalanced capacitance generated between the two signals from the reference capacitor and the sensing capacitor. Two electrode structures were researched, simulated, and the interdigital structure with the highest performance was selected. Simulations were conducted using a Polyethylene (PE) thin film with dielectric varying from 1.375 to 3.19 and a thickness of 40 μm to study the working principle of the sensor. Simulation results show the linearity of the sensor's output capacitance corresponding to different dielectrics. The sensitivity of the sensor is 20.86 fF/1 dielectric unit and 178.96 fF/1 dielectric unit for thin films with thicknesses of 10 μm and 120 μm , respectively. Simulation results demonstrate that this sensor has high potential for application in dielectric measurement of thin films for military and biomedical applications.

Keywords: Capacitive sensor; Coplanar sensor; Non-contact thin-film thickness measurement; Non-destructive thin-film thickness measurement.