

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ KHẢO SÁT ĐẶC TRƯNG CỦA VI CẢM BIẾN ÁP TRỞ ĐO DỊCH CHUYỂN

ĐINH VĂN DŨNG

1. MỞ ĐẦU

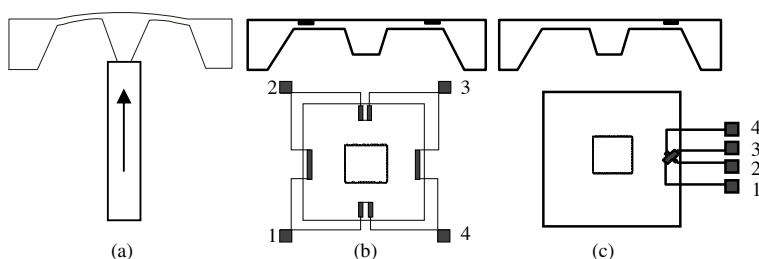
Các cấu trúc nhạy tín hiệu cơ tiêu biểu thường có dạng các màng hoặc các thanh dầm được chế tác 3 chiều từ các vật liệu khối. Chỉ có thể chế tạo các cấu trúc này với độ chính xác cao và chất lượng đồng đều nhờ công nghệ vi cơ (MEMS). Do tính đặc thù cũng như khả năng chế tạo đặc biệt, công nghệ MEMS đã được ứng dụng để chế tạo các cấu trúc (structures), các cảm biến (sensors) cũng như các hệ chấp hành (actuators) ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như trong công nghiệp, kỹ thuật, y tế, quân sự,... Trong những năm gần đây, với sự hỗ trợ to lớn của công nghệ vi điện tử và công nghệ tin học, công nghệ vi cơ đã phát triển mạnh mẽ và rộng khắp trên thế giới. Nhóm MEMS ở Trung tâm Quốc tế Đào tạo về Khoa học Vật liệu (ITIMS) là nhóm đầu tiên ở Việt nam triển khai và thành công trong một số loại cảm biến theo hướng công nghệ này. Trên cơ sở chế tạo thành công cảm biến áp suất [1] (dựa trên cấu trúc màng phẳng), cảm biến lực [2] (dựa trên cấu trúc màng có tâm cứng), một mẫu cảm biến mới với một tâm cứng được thiết kế thêm ở tâm màng tương tự như cảm biến lực đã được phát triển để đo dịch chuyển nhỏ. Nhờ tâm cứng này, một hệ có khả năng thực hiện dịch chuyển nhỏ có thể được kết nối trực tiếp với tâm cứng. Sự dịch chuyển của hệ gây ra một lực tác dụng lên tâm cứng làm uốn cong màng cảm biến. Sự uốn cong đó sẽ được chuyển đổi thành tín hiệu điện lối ra nhờ một cầu điện trở Wheatstone hoặc một điện trở 4 điện cực khuếch tán trên màng tương tự như trong các cảm biến áp suất và cảm biến lực [3, 4]. Tùy theo yêu cầu về phạm vi đo dịch chuyển, bề dày màng và kích thước cạnh màng được lựa chọn một cách thích hợp khác nhau. Trong nghiên cứu của chúng tôi, nhằm mục đích phát hiện và xác định các dịch chuyển nhỏ cỡ mi-crô mét, cảm biến dịch chuyển dạng màng vuông với kích thước $5 \times 5 \text{ mm}^2$ và $10 \times 10 \text{ mm}^2$, bề dày màng cỡ 30 μm đã được nghiên cứu.

2. SƠ ĐỒ VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA CẢM BIẾN

Cấu trúc cảm biến đo dịch chuyển có dạng tương tự như cấu trúc cảm biến đo lực và đo khối lượng. Trên cấu trúc dạng màng, một tâm cứng được thiết kế bổ sung ở tâm màng làm điểm kết nối với hệ dịch chuyển (hình 1a). Khi có dịch chuyển nhỏ của hệ kết nối, tâm cứng của màng sẽ chịu tác dụng của lực làm màng bị uốn. Khác với cảm biến áp suất ở đó tác dụng lực được phân bố gần như đồng đều trên một màng diện tích nhỏ, cảm biến đo dịch chuyển chịu tác dụng của lực tập trung đặt vào tâm cứng (do vậy phân bố không đều trên màng). Vì vậy, tâm cứng có vai trò rất quan trọng trong cấu trúc cảm biến: làm điểm kết nối với hệ dịch chuyển đồng thời là điểm đặt của lực. Ngoài ra, việc bổ sung thêm tâm cứng cho cấu trúc còn có tác dụng làm tăng tính tuyến tính trong hoạt động của cảm biến.

Khi màng uốn cong do tác dụng của lực, trên màng sẽ xuất hiện các ứng suất với phân bố khác nhau. Các khảo sát cho thấy, vùng lân cận với trung điểm các cạnh màng có phân bố ứng suất lớn nhất [5]. Điều này gợi ý rằng vị trí tốt nhất để đặt các áp điện trở là gần với trung điểm

các cạnh màng. Có thể sử dụng hai mô hình áp trở là mô hình kiểu cầu Wheatstone (hình 1b) và mô hình áp trở 4 điện cực (hình 1c).



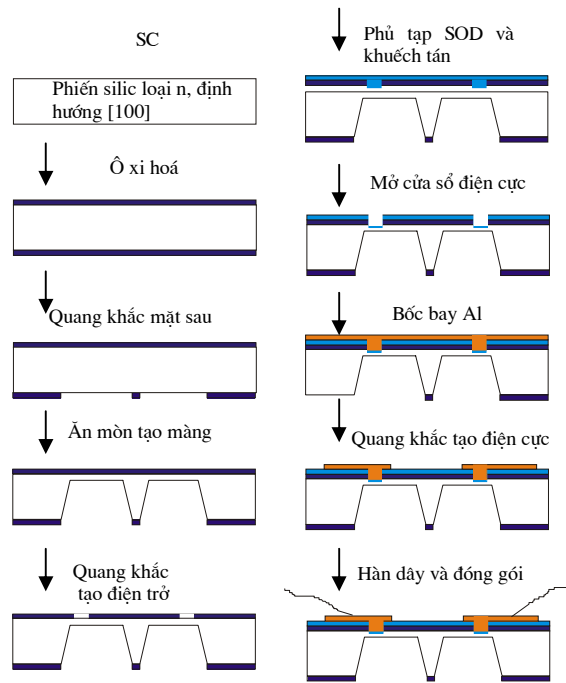
Hình 1. Sơ đồ nguyên lý vi cảm biến đo dịch chuyển: (a)- Sự uốn cong màng khi có dịch chuyển của hệ kết nối; (b)- Mô hình sử dụng cầu Wheatstone; (c)- Mô hình sử dụng điện trở 4 điện cực

Trong cả hai sơ đồ, điện áp nuôi đều được đặt vào các cực 1 và 3, điện áp ra được lấy trên các cực 2 và 4. Việc chuyển đổi tín hiệu cơ - điện trong vi cảm biến silic đo dịch chuyển được thực hiện dựa trên hiệu ứng áp trở trong vật liệu bán dẫn silic. Khi màng silic bị uốn cong, các áp trở khuếch tán trên đó sẽ thay đổi giá trị. Đối với cầu điện trở, nếu hai điện trở song song với cạnh màng tăng giá trị, thì hai điện trở vuông góc với cạnh màng giảm giá trị, làm cầu điện trở mất cân bằng [4]. Đối với điện trở 4 điện cực, được đặt nghiêng một góc 45° so với cạnh màng [110], nên sự uốn cong màng làm sự thay đổi điện trở suất trên các vùng khác nhau của điện trở là rất khác nhau. Theo hướng vuông góc với dòng điện đặt vào, sẽ xuất hiện một thế hiệu khác 0 [6]. Sự thay đổi giá trị của điện trở phụ thuộc một cách định lượng vào độ dịch chuyển tâm cứng (tức là vào dịch chuyển của hệ kết nối), nên độ lệch của thế hiệu lối ra cũng phụ thuộc định lượng vào dịch chuyển. Bằng cách đo độ lệch điện áp lối ra, hoàn toàn có thể xác định độ lớn của dịch chuyển của hệ kết nối.

3. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO

Hình 2 mô tả các bước công nghệ cơ bản trong quy trình chế tạo vi cảm biến áp trở silic đo dịch chuyển. Phiến silic loại n, định hướng bề mặt [100], bề dày $380 \pm 10 \mu\text{m}$, điện trở suất khoảng $5 - 10 \Omega \cdot \text{cm}$ được sử dụng. Sau quá trình xử lý bề mặt mẫu (SC), phiến silic được ô xi hoá nhiệt để tạo ra lớp ô-xít silic SiO_2 làm vật liệu bảo vệ mẫu trong quá trình ăn mòn. Bề dày lớp ô xít yêu cầu khoảng $1,5 \mu\text{m}$. Tiếp theo, kỹ thuật quang khắc được sử dụng để mở các cửa sổ ăn mòn tạo màng (mask1). Ăn mòn tích cực trong dung dịch KOH được thực hiện để tạo ra cấu trúc dạng màng của cảm biến. Trong thiết kế mask 1, một diện tích SiO_2 thích hợp ở tâm màng được giữ lại làm lớp bảo vệ chống ăn mòn, vì vậy cấu trúc tâm cứng được tạo ra. Sau bước xử lý ăn mòn, cấu trúc cơ của cảm biến đã hoàn thành. Các bước tiếp theo nhằm chế tạo cấu trúc điện trên cảm biến, bao gồm: quang khắc mask 2 để tạo cửa sổ điện trở, khuếch tán để tạo các điện trở, quang khắc mask 3 để mở cửa sổ các tiếp xúc cho điện trở, bốc bay Al để tạo các tiếp xúc, quang khắc mask 4 để tạo các điện cực, và cuối cùng là hàn dây dẫn và đóng gói linh kiện.

Kích thước cạnh màng được xác định trong quá trình thiết kế mask. Trong khảo sát của chúng tôi, màng dạng hình vuông với các kích thước $5 \times 5 \text{ mm}^2$, $10 \times 10 \text{ mm}^2$ đã được lựa chọn. Tâm cứng được lựa chọn là $1 \times 1 \text{ mm}^2$. Bề dày màng được xác định nhờ khống chế thời gian ăn mòn và được lựa chọn là $30 \mu\text{m}$ với độ chính xác đạt tới $\pm 1 \mu\text{m}$.

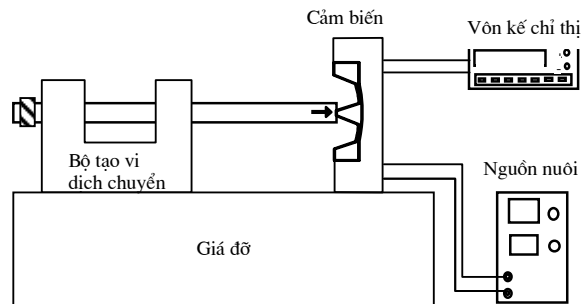


Hình 2. Các bước công nghệ cơ bản chế tạo vi cảm biến đo dịch chuyển

4. KHẢO SÁT CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA CẢM BIẾN

4.1. Xây dựng hệ đo

Để khảo sát đặc trưng của cảm biến đo vi dịch chuyển, cần sử dụng một hệ có khả năng tạo các dịch chuyển nhỏ kết nối với tâm cứng của màng cảm biến. Nếu để cảm biến được giữ cố định thì dịch chuyển của tâm cứng bằng dịch chuyển của hệ kết nối. Trên cơ sở này, hệ khảo sát cảm biến dịch chuyển được xây dựng như trong hình 3.



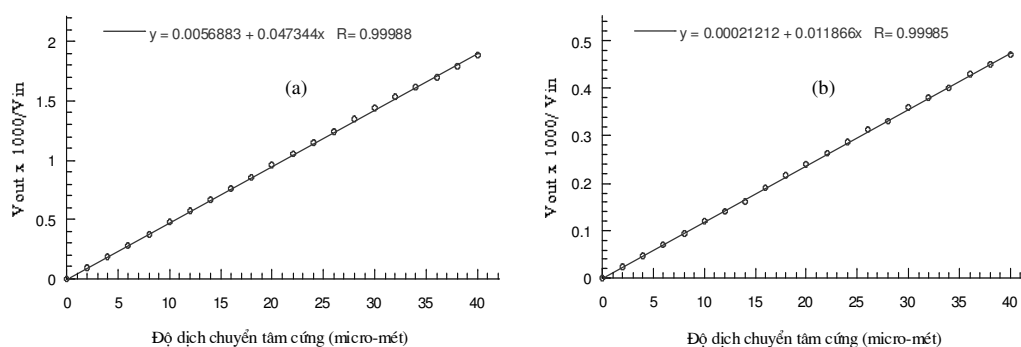
Hình 3. Sơ đồ hệ khảo sát cảm biến dịch chuyển

Trong hệ này, cảm biến và bộ tạo vi dịch chuyển được gắn cố định trên một giá đỡ chung, bộ tạo vi dịch chuyển là thiết bị palmer loại Digitrix II có khả năng tạo ra dịch chuyển đọc được kết

nối trực tiếp với tâm cứng cho phép dịch chuyển tâm cứng theo phương vuông góc với màng. Các dịch chuyển nhỏ có thể tạo ra dễ dàng từ bộ vi chỉnh với các bước chỉnh chính xác tới mi-crô mét. Nguồn nuôi được sử dụng là nguồn một chiều loại 812 - 2 cho phép cấp các điện áp không đổi từ 0 đến 12 V cho các áp điện trở với độ chính xác tới 0,01 mV. Thế hiệu trên lối ra cảm biến được chỉ thị bởi thiết bị đo LEADER 856 chính xác tới 0,01 mV.

4.2. Kết quả khảo sát

Trên hình 4 trình bày một số kết quả khảo sát về sự phụ thuộc của thế hiệu lối ra theo độ dịch chuyển tâm cứng với các cảm biến có cấu trúc khác nhau.



Hình 4. Đặc trưng thế hiệu lối ra theo độ dịch chuyển tâm cứng: (a) - Loại cầu điện trở, màng $10 \times 10 \text{ mm}^2$, dày $30 \mu\text{m}$; (b) - Loại điện trở 4 điện cực, màng $10 \times 10 \text{ mm}^2$, dày $30 \mu\text{m}$.

Trong các khảo sát ban đầu, hai loại cấu trúc cảm biến đã được thử nghiệm: cấu trúc sử dụng cầu điện trở và cấu trúc sử dụng áp điện trở 4 điện cực với các kích thước màng là $5 \times 5 \text{ mm}^2$ và $10 \times 10 \text{ mm}^2$, bề dày $30 \mu\text{m}$. Với cùng kích thước màng, vùng làm việc tuyến tính của hai loại cảm biến là như nhau như thể hiện trong các hình 4a và 4b. Loại cầu điện trở có độ nhạy cao hơn loại điện trở 4 điện cực. Đối với cấu trúc sử dụng cầu điện trở, độ nhạy cao nhất đạt được là $48 \mu\text{V}/\text{V} \cdot \mu\text{m}$. Cấu trúc sử dụng điện trở 4 điện cực cho độ nhạy thấp hơn, chỉ đạt xấp xỉ $12 \mu\text{V}/\text{V} \cdot \mu\text{m}$. Cảm biến có độ nhạy cao sẽ thích hợp trong các phép đo dịch chuyển nhỏ và độ chính xác cao. Ngược lại, các cảm biến độ nhạy thấp lại thích hợp trong các trường hợp cần xác định dịch chuyển lớn, khi đó rõ ràng các sai lệch nhỏ về kết quả đo không phải là vấn đề ưu tiên.

Bảng 1. Độ nhạy, vùng làm việc tuyến tính, độ phân giải của cảm biến dịch chuyển sử dụng cầu điện trở

Kích thước màng	Độ nhạy ($\mu\text{V}/\text{V} \cdot \mu\text{m}$)	Vùng làm việc tuyến tính (μm)	Độ phân giải (μm)
Màng $5 \times 5 \text{ mm}^2$ dày $30 \mu\text{m}$	62	0 - 20	0,16
Màng $10 \times 10 \text{ mm}^2$ dày $30 \mu\text{m}$	48	0 - 40	0,21

Trong thực tế, do rất nhiều các nguyên nhân khác nhau (các nhiễu xoay chiều, tính ổn định của cảm biến, sự trôi nhiệt...) cũng như do giới hạn về độ chính xác của các thiết bị chỉ thị (mili-vôn kế LEADER 856 chỉ cho phép đo chính xác tới 10^{-2} mV), các cảm biến chỉ cho phép chỉ thị được các dịch chuyển mà thế hiệu lối ra là ổn định trên nền nhiễu và chỉ thị được bởi các thiết bị đo. Dịch chuyển nhỏ nhất có thể xác định được chính là độ phân giải của cảm biến. Trong các khảo sát của chúng tôi, với độ chính xác không nhiều của thế hiệu lối ra là 10^{-2} mV, các giá trị nhỏ nhất của dịch chuyển đo được là 0,16 μm đối với loại cảm biến màng $5 \times 5 \text{ mm}^2$ sử dụng cầu điện trở và lớn nhất đo được là 40 μm đối với loại cảm biến màng $10 \times 10 \text{ mm}^2$ sử dụng cầu điện trở. Các đặc trưng của cảm biến với các kích thước màng khác nhau, sử dụng cầu điện trở và áp trở 4 điện cực được trình bày trong các bảng 1 và 2.

Bảng 2. Độ nhạy, vùng làm việc tuyến tính, độ phân giải của cảm biến sử dụng điện trở 4 điện cực

<i>Kích thước màng</i>	<i>Độ nhạy ($\mu\text{V/V} \cdot \mu\text{m}$)</i>	<i>Vùng làm việc tuyến tính (μm)</i>	<i>Độ phân giải (μm)</i>
Màng $5 \times 5 \text{ mm}^2$ dày 30 μm	18	0 - 20	0,56
Màng $10 \times 10 \text{ mm}^2$ dày 30 μm	12	0 - 40	0,83

5. KẾT LUẬN

Các kết quả thu được từ việc chế tạo và khảo sát đặc trưng linh kiện cho phép khẳng định, với điều kiện công nghệ hiện có ở ITIMS, loại vi cảm biến kiểu áp trở đo dịch chuyển đã được thiết kế và chế tạo thành công. Các cảm biến dịch chuyển chế tạo được đã đáp ứng tốt với tín hiệu vi dịch chuyển, có khả năng phát hiện các dịch chuyển rất nhỏ với độ nhạy lên tới $62 \mu\text{V/V} \cdot \mu\text{m}$ và khả năng phân giải đạt tới 0,16 μm . Trong ứng dụng thực tế, rất nhiều trường hợp cần thông tin về vi dịch chuyển của các hệ, ví dụ trong hệ ghép nối cáp dẫn quang, các vi dịch chuyển của ống kính trong kính hiển vi, sự giãn nở vật liệu do hiệu ứng nhiệt, hiệu ứng áp điện, hiệu ứng từ giảo, vv. Nhờ độ nhạy cũng như độ phân giải cao và chất lượng tương đối đồng đều trong chế tạo, loại cảm biến này chắc chắn hứa hẹn nhiều triển vọng trong các ứng dụng kể trên.

Lời cảm ơn. Công trình được thực hiện tại Viện Đào tạo Quốc tế về Khoa học Vật liệu (ITIMS), trường ĐHBK Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. V. N. Hung, N. D. Chien, D. V. Dung, T. Q. Thong, T. D. Hien - Physics and Engineering in Evolution, Proceedings of the Third Vietnamese-German Workshop on Physics and Engineering, Ho Chi Minh City, 4/2000, pp. 29-33.
2. Đ. V. Dũng, V. N. Hùng, T. Q. Thông, N. Đ. Chiến, N. P. Hải - Tạp chí Khoa học và Công nghệ **38** (2002) 52-56.

3. Min Hang Bao, Wei-Jia Qi, and Yan Wang - Sensors and Actuators, 1989, pp. 149-156.
4. S. K. Clark and K. D. Wise - IEEE transaction on electron device, ED. 26, 1979, pp. 1887-1896.
5. D. V. Dung, T. Q. Thong, V. N. Hung, N. D. Chien - Proceedings of the Third International Workshop on Materials Science (IWOMS'99), Hanoi, November, 2-4, 1999, pp. 853-856.
6. D. V. Dung, T. Q. Thong, V. N. Hung, and N. D. Chien - Communications in Physics, **11** (3) (2001) 169-174.

SUMMARY

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF MICROMACHINED PIEZORESISTIVE DISPLACEMENT SENSORS

Silicon micromachined displacement sensors have been designed and fabricated successfully by the MEMS group at ITIMS. The structure of the sensors consists of a membrane with a stiff center. The membrane thickness is about 30 microns. The stiff center serves as a forced point and is linked to a movement system. The mechanical signal is converted into output voltage signal by a Wheatstone resistor bridge or a four-terminal gage made by diffusion on the membrane. In this paper, the configuration, fabrication process and characteristics of sensor have been presented.

Địa chỉ:

Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2.

Nhận bài ngày 7 tháng 8 năm 2009