



Fabricación de una microbomba utilizando material compuesto a base de PDMS y nanopartículas de magnetita

O. Castañeda Bolaños¹, J.R. Santoyo Medina¹, A.L. Guerrero², J.G. Cabal Velarte¹

¹ Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, 36821 Irapuato, Guanajuato, México.

² Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carr. Pachuca - Actopan Km. 4.5. Pachuca de Soto, México.

INFORMACIÓN

Recibido: 28 de agosto 2017

Aceptado: 25 de octubre 2017

PALABRAS CLAVES

Compósito magnético

Micro bomba

Actuador electromagnético

Nanopartículas magnéticas

Desarrollo tecnológico

RESUMEN

Se desarrolló un método sencillo y de bajo costo que permite la fabricación de microbombas de alta capacidad de bombeo, de bajo consumo de energía, de bajo peso y completamente hidrofóbicas, lo que permite su operación aún bajo el agua. Para la fabricación de dichas microbombas se diseñó y desarrollo un actuador electromagnético utilizando compósitos basados en una matriz de Polidimetil-siloxano (PDMS) en la que se dispusieron nanopartículas de magnetita, mismas que se alinearon a lo largo del eje longitudinal del actuador. Este diseño permite la concentración del campo magnético generado por el solenoide. Se desarrolló una membrana utilizando PDMS con diferentes espesores, misma que al ser conectada al actuador electromagnético permite hacer la función de bombeo de microfluidos. Los resultados muestran un incremento considerable en la intensidad del campo magnético al ordenar las nanopartículas de magnetita a lo largo del eje del actuador, lo que se traduce en un incremento en la capacidad de bombeo de la microbomba, siendo la configuración más eficiente cuando se utilizan membranas delgadas de PDMS en las microbombas.

Introducción

Los sistemas micro electromecánicos (MEMS) tienen una amplia demanda en la fabricación de sensores y actuadores. Recientemente la comunidad científica y tecnológica ha prestado gran interés en la fabricación de prototipos MEMS con materiales económicos y de fácil manipulación. Por otro lado, los sistemas de manipulación de líquidos es un área de creciente interés dentro del

campo de desarrollo de los MEMS [1]. Microbombas, válvulas, y actuadores son elementos críticos que componen a los MEMS. En años recientes se han empleado diferentes principios y estructuras de accionamiento tanto en las microbombas como en las válvulas que componen a los MEMS, siendo el actuador de membrana el que ha tenido mayor aceptación [2, 3]. Estos actuadores de membrana operan de acuerdo con diferentes principios de actuación,

entre los que destacan membranas piezoeléctricas, electrostáticas, termoneumáticas, electroquímicas, de aleación de memoria de forma y electromagnéticas. Los materiales más utilizados para la fabricación de las membranas incluyen al silicio, nitruro de silicio, elastómero de silicona y poliamida. Sin embargo, los desplazamientos que alcanzan estas membranas se encuentran entre 10 y 20 μm , limitando la razón de flujo [4-6].

La fabricación de membranas hechas a base de materiales poliméricos es relativamente fácil, y su uso reduce el tiempo y complejidad de los dispositivos, además tienen la ventaja de ser transparentes, no tóxicos, de bajo costo y su eficiencia suele ser mayor [7-9]. En este sentido, el Polidimetil-siloxano (PDMS) promete ser un material de interés en la elaboración de este tipo de membranas, debido a sus propiedades físicas. Por otro lado, las microbombas han sido fabricadas tradicionalmente utilizando una membrana de accionamiento con dos válvulas unidireccionales que convierten la presión aplicada periódicamente, en un flujo pulsante [10-12]. Sin embargo, existen dificultades asociadas al diseño de tales microbombas [13-14], entre estas, su limitada capacidad de carrera del diafragma y la necesidad de construir un sistema de válvulas. Considerando lo anterior, se diseñó e implementó un actuador electromagnético fabricado con compósitos magnéticos a base de PDMS y nanopartículas de magnetita ordenadas en el material polimérico con el objetivo de incrementar las líneas de campo y la eficiencia de las microbombas. Se desarrollaron cuatro prototipos de microbombas, variando el espesor de la membrana y se caracterizó su capacidad de mantener el flujo de líquido. Además, este diseño no requiere de la utilización de válvulas para mantener el flujo direccional del líquido.

Experimental

Se fabricó el carrete de la bobina y el vástago del actuador utilizando resina poliéster pura PP-30, Figura 1. Se utilizaron como moldes tubos de policloruro de vinilo con diámetros determinados.

Para el diseño del vástago se consideró que debe entrar sin fricción a través del orificio del carrete de la bobina, para que su movimiento no se vea atascado. El vástago se fabricó saturando la resina de poliéster con nanopartículas de magnetita, previamente preparadas utilizando el método de Stöber, aunque también se probó el diseño sin nanopartículas. Durante la polimerización de la resina con magnetita, se utilizó una bobina para generar un campo magnético en la dirección z del vástago, este campo magnético ordena las nanopartículas de magnética en la dirección de aplicación del campo. En el diseño del carrete de la bobina también se incluyó la configuración con nanopartículas de magnetita ordenadas a lo largo del eje z.

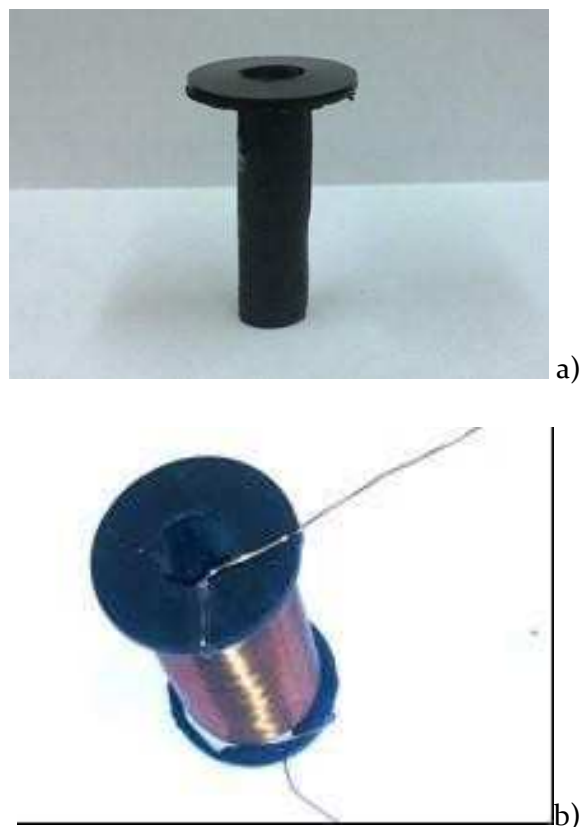


Figura 1. (a) Carrete de bobina fabricado con resina de poliéster y nanopartículas de magnetita. (b) Vista de la bobina terminada.

El embobinado de los carretes se realizó con 500 vueltas de alambre de cobre esmaltado calibre 25, se requirieron de 7 capas de alambre de cobre, así como 6 capas de papel diamantado utilizado como aislante eléctrico.

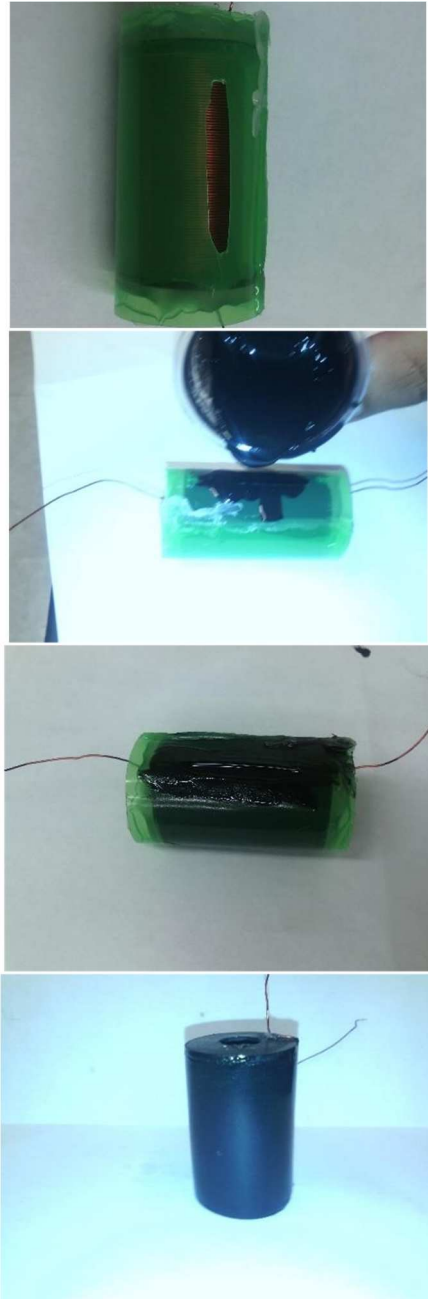


Figura 2. Proceso de encapsulación de la bobina con el compuesto PDMS con magnetita.

Posteriormente, la bobina fue encapsulada utilizando un compuesto basado en una matriz de PDMS con nanopartículas de magnetita ordenadas a lo largo del eje z. el proceso de polimerización del PDMS con nanopartículas de magnetita tarda 24 horas a temperatura ambiente, Figura 2. Para la fabricación de la membrana se utilizó un molde de silicón previamente fabricado. El PDMS fue preparado a una razón de 10:1 entre monómeros de PDMS y catalizador y se dejó polimerizando durante 24 horas. Además, se varió el espesor de las membranas al añadir mayor cantidad de PDMS al molde. Posteriormente las membranas son fijadas a sus respectivos vástagos utilizando un pegamento epóxico, Figura 3.

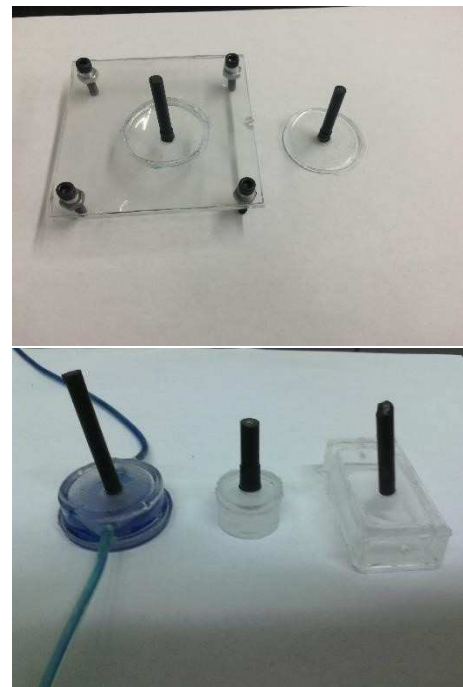


Figura 3. (a) Pruebas realizadas sobre diferentes configuraciones de vástago-membrana. (b) configuración experimental que muestra al vástago con membrana unida a un contenedor del líquido.

El prototipo fue ensamblado como se ilustra en la Figura 4, y se caracterizó su eficiencia al comparar el flujo de líquido que sostiene con respecto a la bomba que no utiliza concentradores de campo magnético. Los resultados se presentan en la siguiente sección.

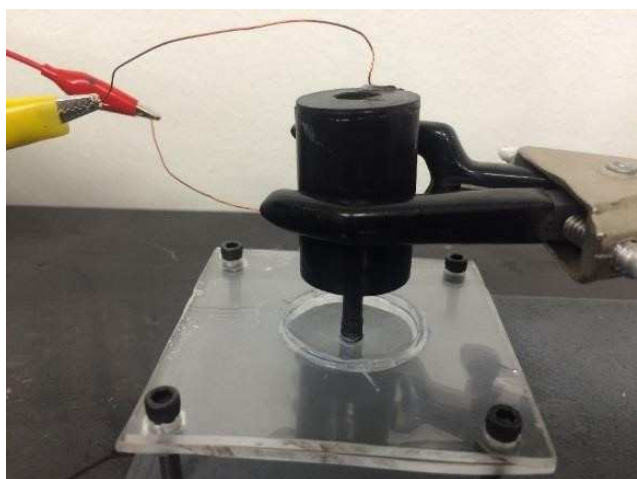


Figura 4. Prototipo de una microbomba con concentradores de campo magnético hechos a base de compósitos magnéticos.

Resultados y Discusión

Las bobinas fueron caracterizadas mediante la medición del campo magnético axial que se genera al aplicar una tensión DC desde 1.0 hasta 12.0 Volts. El campo magnético se midió utilizando un Gaussímetro F.W Bell 5180 Gauss/Tesla Meter. Se caracterizaron tres tipos de bobinas: (a) bobina simple con 500 vueltas, (b) bobina con 500 vueltas y carrete de fabricado con material compuesto de nanopartículas de magnetita y resina de poliéster y (c) bobina de 500 vueltas con carrete de fabricado con material compuesto de nanopartículas de magnetita y resina de poliéster y con concentrador de líneas de campo, fabricado con PDMS y nanopartículas de magnetita. La Figura 5 muestra los resultados de la intensidad del campo magnético para diferentes voltajes. Los resultados indican que la muestra que incluye los concentradores de líneas de campo magnético, bobina (c), existe un incremento en la intensidad del campo magnético medido en el eje z de la bobina, a medida que el voltaje en la bobina aumenta, en comparación con las otras dos muestras, para las cuales el incremento de campo magnético es menor.

Por otro lado, se realizaron mediciones de campo magnético radial al variar la distancia con

respecto al eje central de la bobina. La bobina simple (a) presenta una mayor densidad de líneas de campo a medida que la distancia radial se incrementa. Por el contrario, las mediciones realizadas a partir de la bobina que incluye los concentradores de líneas de campo, bobina (c), indican una disminución en la densidad de las líneas de campo al aumentar la distancia radial desde el centro de la bobina, Figura 5. Esto indica que las líneas de campo son canalizadas a través del material compuesto hacia el eje z de la bobina, lo que incrementa la eficiencia de la bobina, Figura 6.

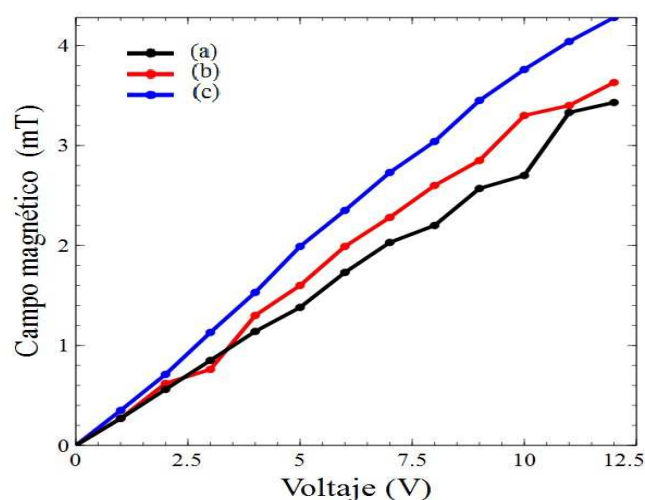


Figura 5. Caracterización magnética de las bobinas en función del voltaje aplicado.

Finalmente se realizaron pruebas de para caracterizar las microbombas con concentrador de campo magnético, en términos del espesor de diferentes membranas. La primera prueba consistió en retener el flujo mediante la aplicación de una tensión DC de 12 V. Se probaron cuatro membranas con espesores de 1.93 mm, 1.05 mm, 0.64 mm y 0.42 mm, todas las membranas probadas lograron retener el flujo de líquido, probando que el diseño de la microbomba es óptimo. Por otro lado, se caracterizó la capacidad de las membranas de bombear un flujo de líquido, en este sentido se desarrolló un sistema de control para una señal AC de $\pm 12V$, utilizando un sistema de goteo y un software de procesamiento digital de video Vernier Physics, se obtuvieron las velocidades instantáneas

de goteo, para las cuatro membranas, los resultados obtenidos se presentan en la Figura 7.

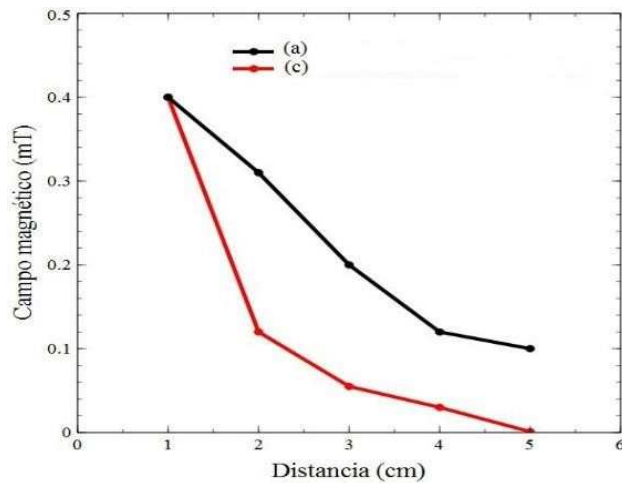


Figura 6. Medición del campo magnético radial para dos bobinas. (a) bobina simple, (b) bobina con concentradores de campo magnético.

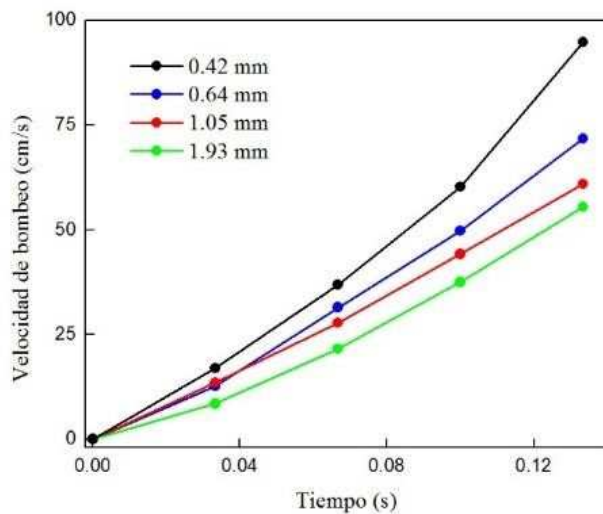


Figura 7. Velocidades de goteo obtenidas para las microbombas usando membranas con diferente espesor.

A partir de los datos obtenidos en la gráfica de la Figura 7 se observa la tendencia de aumentar la capacidad de bombeo de las microbombas, cuando el espesor de las membranas tiende a disminuir, esto puede deberse como una consecuencia del

aumento en la elasticidad del material de la membrana al disminuir su espesor.

Conclusión

Se desarrolló el prototipo de una microbomba para la cual se diseñó el actuador electromagnético, las membranas y un concentrador de campo magnético. La fabricación y uso de un compuesto basado en PDMS@Fe₃O₄ que actúa como un concentrador de campo magnético optimiza la operación y capacidad de bombeo del dispositivo, al generar un mayor campo magnético axial, lo cual a su vez se traduce en un menor consumo energético. El espesor de la membrana resulto ser un parámetro importante en el diseño del prototipo, al impactar directamente sobre la razón de flujo del líquido.

Agradecimientos

A.L. Guerrero agradece al programa PRODEP/NPTC-UAEH por el apoyo financiero parcial otorgado para la realización del este trabajo.

Referencias

- [1] Duccée, Jens, Koltay, Peter, et al. (2006) Microfluidics, Springer
- [2]. Elwenspoek, Me, Lammerink, TSJ, et al. (1994). *Towards integrated microliquid handling systems*. J Micromech Microeng 4(4), 227
- [3]. Hosokawa, Kazuo, Maeda, Ryutaro. (2001) *Low-cost technology for high-density microvalve arrays using polydimethylsiloxane (PDMS)*. Paper presented at the Micro Electro Mechanical Systems, MEMS 2001. The 14th IEEE International Conference.
- [4]. Khoo Melvin, Liu Chang. (2001) *Micro magnetic silicone elastomer membrane actuator*. Sens Act A: Physical 89(3) 259
- [5]. Koch M, Evans AGR, et al. (1998) *The dynamic micropump driven with a screen printed PZT actuator*. J Micromech Microeng 8(2) 119

- [6]. Kohl M, Skrobanek KD, et al. (1999) *Development of stress-optimised shape memory microvalves*. Sens Act A: Physical, 72(3) 243
- [7]. Lebrun L, Bruzard Stéphane, et al. (2006) *Elaboration and characterisation of PDMSHTiNbO₅ nanocomposite membranes*. Eur Polymer J, 42(9) 1975
- [8]. Neagu Cristina R, Gardeniers Johannes GE, et al. (1996) *An electrochemical microactuator: principle and first results*. J Microelectromech Sys 5(1) 2.
- [9]. Sadler Daniel J, Liakopoulos Trifon, et al. (1998). *Prototype microvalve using a new magnetic microactuator*. Paper presented at the Micromachining and Microfabrication.
- [10]. Soper Steven A, Ford Sean M, et al. (2000). Peer Reviewed: *Polymeric Microelectromechanical Systems*. Analytical chemistry, 72(19), 642 A-651 A.
- [11]. Stemme Erik, Stemme Göran. (1993). *A valveless diffuser/nozzle-based fluid pump*. Sensors and Actuators A: Physical, 39(2), 159-167.
- [12]. Yang Xing, Grosjean Charles, et al. (1997). *A MEMS thermopneumatic silicone membrane valve*. Paper presented at the Micro Electro Mechanical Systems, 1997. MEMS'97, Proceedings, IEEE., Tenth Annual International Workshop on.
- [13]. Yang Xing, Tai Yu-Chong, et al. (1997). *Micro bellow actuators*. Paper presented at the Solid State Sensors and Actuators, 1997. TRANSDUCERS'97 Chicago., 1997 International Conference on.
- [14]. Zengerle Richter, Richter A, et al. (1992). *A micro membrane pump with electrostatic actuation*. Paper presented at the Micro Electro Mechanical Systems, 1992, MEMS'92, Proceedings. An Investigation of Micro Structures, Sensors, Actuators, Machines and Robot. IEEE.