

Internet Electronic Journal*

Nanociencia et Moletrónica

Mayo 2007, Vol. 5, N°1, pp 941-952

Micromotor Electroestático Combo para MEMS

J. Cid*, H. Dávila, C. García, C. Gómez, O. Molina, R. Salazar, A. Barrera

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
13 Pte. 1927 CP 72160 Puebla, México
e-mail: jcid@ece.buap.mx mramador@upaep.mx

recibido: 27.02.07

revisado: 15.03.07

publicado: 31.05.07

Citation of the article;

J. Cid, H. Dávila, C. García, C. Gómez, O. Molina, R. Salazar, A. Barrera, Micromotor Electroestático Combo para MEMS, Internet Electron. J. Nanoc. Moletrón. 2007, Vol. 5, N° 1, pp 941-952

copyright ©BUAP 2007

Micromotor Electroestático Combo para MEMS

J. Cid*, H. Dávila, C. García, C. Gómez, O. Molina, R. Salazar, A. Barrera

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
13 Pte. 1927 CP 72160 Puebla, México
e-mail: jcid@ece.buap.mx mramador@upaep.mx

recibido: 27.02.07

revisado: 15.03.07

publicado: 31.05.07

Internet Electron. J. Nanoc. Moletrón., Vol. 5, N° 1, pp. 941-952

RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño de un micromotor electroestático combo para aplicaciones en MEMS, se diseña utilizando software de CAD INVENTOR, se analizan sus parámetros de funcionamiento en ALGOR por medio de análisis electrostático por elemento finito (FEA). Se empleó COVENTOR para definir las etapas del proceso de fabricación y para la fabricación del dispositivo se propone el proceso de PolyMUMPs, que es un proceso de propósito general para micromaquinados.

Palabras claves: MEMS, micromotor, análisis en elemento finito, simulación.

1. INTRODUCCIÓN

Los MEMS (MicroElectroMechanical Systems) son el resultado de la integración de elementos mecánicos, sensores, actuadores y elementos electrónicos en un mismo sustrato, generalmente de silicio de tamaño milimétrico, son una mejora en los procesos de fabricación que poseen capacidades mejoradas en comparación con los dispositivos convencionales, sobre todo en relación a las dimensiones miniaturizadas, costo, reducción de consumo de energía, desempeño, confiabilidad y fácil interconexión con múltiples sistemas, en donde la escala de todos los elementos es, por lo tanto microscópica. Sus aplicaciones impactan una amplia gama de sectores, como el automotriz, de telecomunicaciones, informática, medicina, productos de consumo y en general aquellos que utilizan sistemas de automatización como herramienta o producto ^[1].

El silicio es el principal material utilizado para la creación de MEMS. Esto es debido, a que las Microtecnologías han surgido a partir de la microelectrónica y tomando sus procesos y técnicas, especialmente diseñadas para trabajar con silicio, como punto de partida. Dada la necesidad actual de la humanidad de resolver problemas que puedan dar una mejor calidad de vida es vital incrementar la investigación de los MEMS. Han surgido una variedad de nuevos productos comerciales no a causa de las bien establecidas propiedades electrónicas, sino que a causa de sus óptimas propiedades mecánicas ^[2]. Con el desarrollo de los MEMS empiezan a surgir herramientas de programación para simplificar el análisis y el diseño de cada uno de los elementos. Uno de los elementos fundamentales en los MEMS son los micromotores, que por su estructura micrométrica no pueden ser como los motores estándar que se conocen. Por ello se piensa que la propuesta del micromotor electrostático Combo puede satisfacer algunas de las necesidades existentes.

2. ANTECEDENTES

El debate alrededor de las ventajas de los actuadores electroestáticos con respecto a los magnéticos, especialmente en los micro motores, ha sido motivo de investigación en el área de MEMS en las últimas dos décadas. Fujita, argumenta a favor de los dispositivos electrostáticos por los atributos de las superficies micromaquinadas^[6]. Los micro motores han fascinado a la comunidad de los MEMS, en la década de los 60 se construyó el primer motor eléctrico de solamente un 1/64 de pulgada^[7]. Actualmente se siguen desarrollando los micromotores en base al concepto de estructura combo y combo lineal.

La geometría de los elementos del micromotor combo está compuesta por dos estructuras planas rígidas y una móvil, la segunda realiza la función de estator. La microestructura tiene la forma de un "peine con elementos curvos", este tipo de geometría puede ser aplicada en desplazamientos longitudinales, laterales y verticales, en este caso se aplicará en un desplazamiento lateral.

Todos los micromotores eléctricos tienen dos componentes básicos, un rotor y un estator. El rotor, que en muchos casos comprende partes movibles, contiene conductores que producen y forman un campo magnético que interactúa con el campo magnético generado por el estator. Para el análisis la micro-estructura se divide en dos partes, inercial y electrostática. La inercial esta formada por las paredes laterales dentadas fija al sustrato, que impide su desplazamiento. La electrostática formada por la estructura dentada central, realiza la función de estator. La posición del estator depende de la

capacitancia y fuerza entre los elementos de la parte fija y los elementos de la parte móvil. El comportamiento eléctrico se modela por una red de capacitores variables formado por cada uno de los elementos de la estructura.

Las fuerzas y capacitancia se determinan por aproximaciones del campo eléctrico entre los componentes conductores de la estructura. El campo eléctrico se calcula asumiendo las siguientes aproximaciones: 1) el desplazamiento de los dedos del micromotor es pequeño, entonces el campo eléctrico entre ellos es cuasi-estático, 2) de acuerdo con el principio de superposición el campo eléctrico puede ser descompuesto en campos parciales. Para calcular los campos parciales, solo los elementos vecinos interactúan. La interacción de elementos distantes es despreciable debido al debilitamiento de las líneas de campo electrostático, 3) el grado de libertad mecánico de cada uno de los dedos móviles se reduce a movimientos de traslación, por tanto los dedos siempre son paralelos uno con respecto a los otros, 4) la tensión entre los dedos es constante e igualmente distribuido, 5) todos los dedos son rígidos, y 6) toda la estructura es plana.

3. DESARROLLO

El diseño se divide en tres etapas, (A) diseño de la micro-estructura en INVENTOR, (B) análisis de parámetros por elemento finito en ALGOR, y (C) proceso de manufactura en COVENTOR

A. Diseño de la micro-estructura

El diseño de la micro-estructura del motor se realizó en el software de CAD INVENTOR, obteniendo el dibujo en tres dimensiones. Para su diseño se consideraron las siguientes propiedades: origen en el plano xy, la orientación de la estructura con respecto al eje x, radio, longitud y ancho de los "dedos", así como la distancia entre ellos.

En el sistema real el elemento entre los dedos es el aire, pero el análisis por elemento finito (FEA), no considera el contacto entre piezas separadas por aire, y por tanto la simulación no se puede realizar, para resolver este inconveniente se incluyen en el modelo de CAD dos piezas, ubicada entre los dedos de la parte fija y rotor, para dar continuidad a la malla y hacer la simulación electrostática. En la figura 1 se muestra la geometría de la micro-estructura, las dimensiones están en micras.

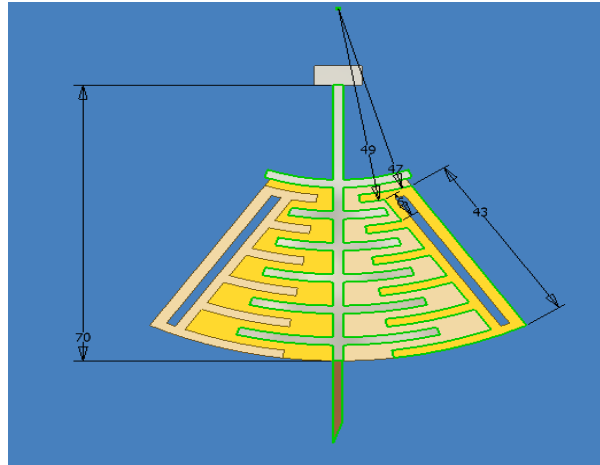


Figura 1. Geometría del micromotor combo

B. Análisis de parámetros

El archivo con la micro-estructura del motor se exporta a ALGOR para realizar el análisis de parámetros por el método computarizado de análisis por elemento finito (FEA) y predecir los efectos de las fuerzas electrostáticas actuando sobre los elementos de la misma. Para calcular las fuerzas electrostáticas es necesario realizar un análisis multi-variable, es decir, primero se calculan los campos eléctricos en función de la tensión aplicada, y después se determinan las fuerzas electrostáticas en función del campo eléctrico. En la figura 2, se muestra la distribución de la tensión en los elementos de la micro-estructura.

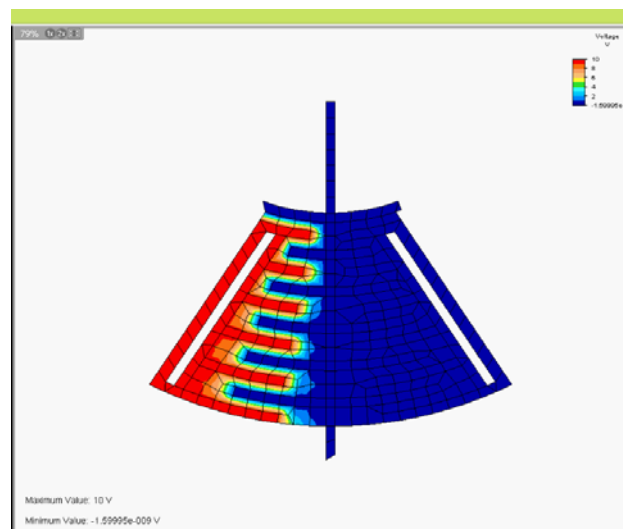


Figura 2. Distribución de tensión

El campo eléctrico se calcula con el análisis “Electrostatic Field Strength and Voltage”. Las fuerzas electroestáticas que producen los campos eléctricos se calculan con el análisis “Static Stress with Linear Material Model”.

El proceso para el análisis “Electrostatic Field Strength and Voltage” es: a) Crear la malla de nodos y elementos que representa el modelo para el análisis FEA, b) definir las unidades, c) definir las propiedades globales del modelo, d) definir las propiedades de los elementos, e) aplicar la tensión y condiciones de frontera que creara los campos eléctricos, f) ensamblar las matrices de los elementos electrostáticos, y g) resolver las ecuaciones y calcular los resultados. En la figura 3, se muestra le intensidad del campo eléctrico generado por la tensión aplicada.

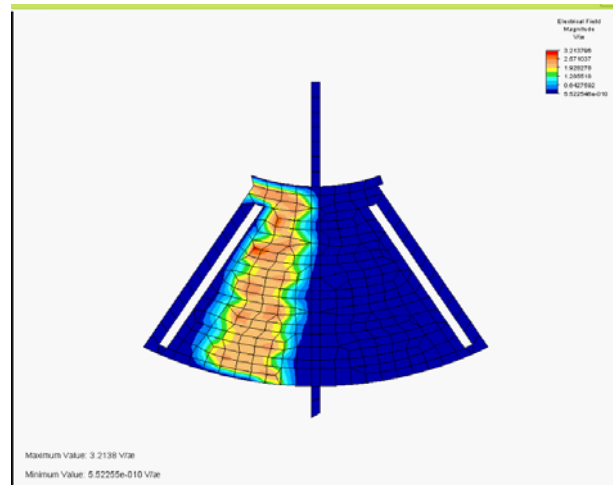


Figura 3. Campo eléctrico

El análisis electrostático se realiza considerando el modelo matemático descrito por la ecuación diferencial parcial de POISSON,

$$\nabla(\varepsilon\nabla\Phi) = Q \quad (1)$$

donde,

ε es la permitividad o conductividad del material.

Φ es la distribución del potencial.

Q es la densidad de carga por unidad de volumen.

El campo eléctrico en un punto se define como,

$$E = -\Delta\Phi \quad (2)$$

El proceso de análisis “Static Stress with Linear Material Model” genera las fuerzas mecánicas que se aplicaran a la micro-estructura, se inicia con el campo eléctrico determinado en el análisis electroestático. El modelo se transfiere a la interfase Superdraw de ALGOR y se aplican las fuerzas electrostáticas a las superficies seleccionadas de la micro-estructura. En la figuras 4 a y b, se muestra el resultado de esta etapa.

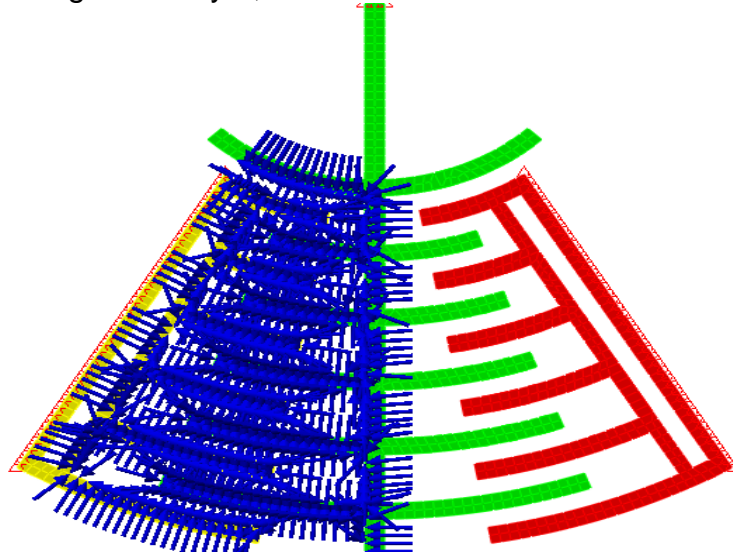


Figura 4a. Fuerzas aplicadas a la micro-estructura

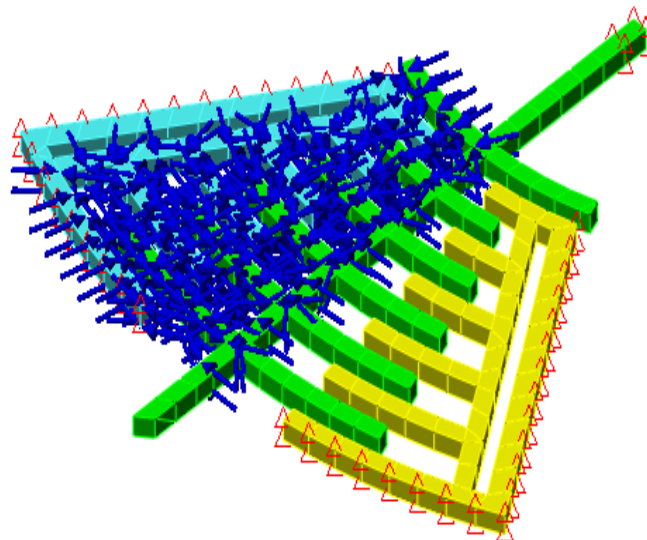


Figura 4b. Fuerzas aplicadas a la micro-estructura

Una vez que las fuerzas son aplicadas en las superficies indicadas se procede a la simulación. Los resultados se presentan en las figuras 5 a y b. En la figura 5a muestra el desplazamiento del rotor a la izquierda de su punto de reposo. El desplazamiento en el sentido contrario se logra modificando la curva de aplicación de la fuerza a la estructura.

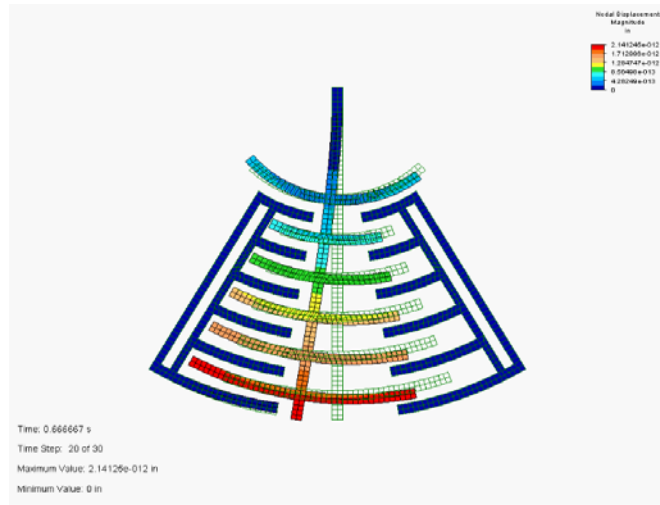


Figura 5a. Desplazamiento del rotor a la izquierda

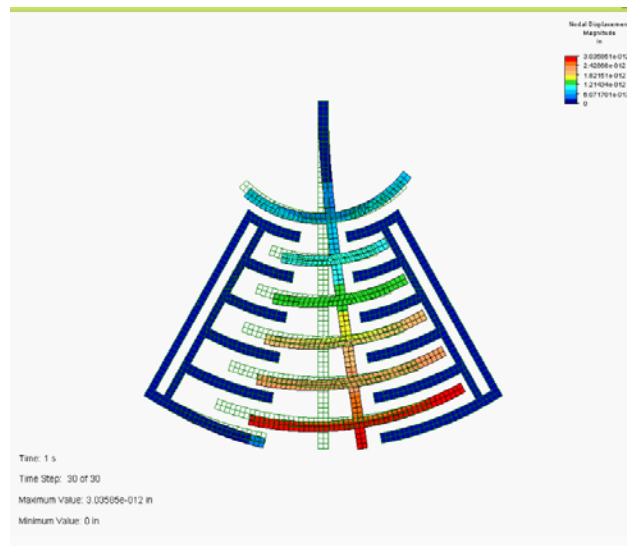


Figura 5b. Desplazamiento del rotor a la derecha

C. PROCESO DE MANUFACTURA

Coventor ofrece el emulador “CoventorWare” y una herramienta virtual que genera la representación exacta y detallada en 3D, a través de él se pueden determinar las etapas del proceso de fabricación. Para este objetivo se utilizó el proceso estándar PolyMUMPs que forma parte del programa comercial MUMPs^[3,4,5], y cuyo proceso de micromaquinado superficial consta de tres capas de polisilicio: las características específicas del proceso se presentan en el “Process Editor” como se muestran en la figura 6a.

Step	Action	Type	Layer Name	Material	Thickn...	Color	Mask Name/ Polarity	Depth	Offset	Sidewall Angle
0	Base		Substrate	SILICON	50.0	blue	GND			
1	Deposit	Planar	POCL3	SILICON	1.0	cyan				
2	Deposit	Planar	NitSi	Si3N4	0.6	white				
3	Deposit	Planar	Poly0	POLYSILICON	0.5	oran...				
4	Etch	Front, Last L...				oran...	POLY0	+ 0.5	0.0	0.0
5	Etch	Front, Last L...				light...	HOLE0	- 0.5	0.0	0.0
6	Deposit	Conformal	1erOxido	PSG	1.25	yello...				
7	Deposit	Conformal	1erOxid...	PSG	0.75	yello...				
8	Etch	Front, Last L...				pink	DIMPLE	- 0.75	0.0	0.0
9	Etch	Front, By De...				yello...	ANCHOR1	- 2.0	0.0	0.0
10	Deposit	Conformal	POLY1	POLYSILICON	2.0	green				
11	Etch	Front, Last L...				green	POLY1	+ 2.0	0.0	0.0
12	Etch	Front, Last L...				dark...	HOLE1	- 2.0	0.0	0.0
13	Deposit	Conformal	2doOxido	PSG	0.75	light...				
14	Etch	Front, Last L...				red	POLY1_P...	- 0.75	0.0	0.0
15	Etch	Front, By De...				mag...	ANCHOR2	- 2.75	0.0	0.0
16	Deposit	Conformal	POLY2	POLYSILICON	1.5	dark...				
17	Etch	Front, Last L...				dark...	POLY2	+ 1.5	0.0	0.0
18	Etch	Front, Last L...				medi...	HOLE2	- 1.5	0.0	0.0
19	Deposit	Conformal	METAL	GOLD	0.5	light...				
20	Etch	Front, Last L...				light...	METAL	+ 0.5	0.0	0.0
21	Etch	Front, Last L...				cad...	HOLEM	- 0.5	0.0	0.0
22	Sacri...			PSG						

Figura 6a. Editor de procesos

Las capas obtenidas utilizando diferentes técnicas de crecimiento se muestran en la figura 6b.

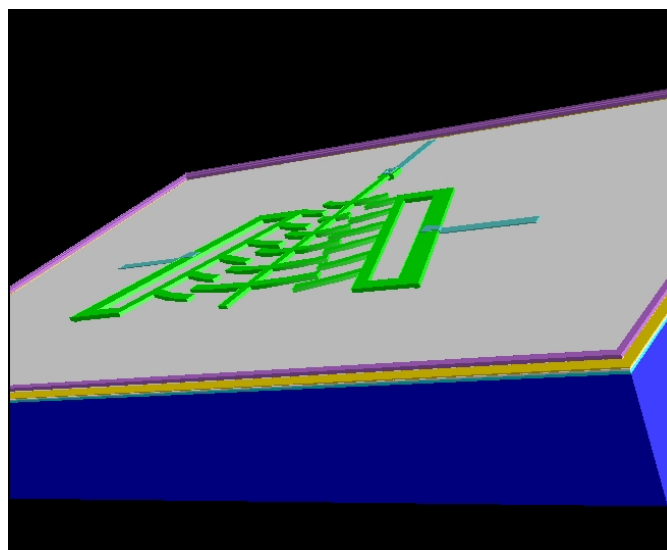


Figura 6b. Capas de crecimiento del micromotor radial COMBO

El rotor y estator del MEMS se pueden apreciar mejor en la figura 6c.

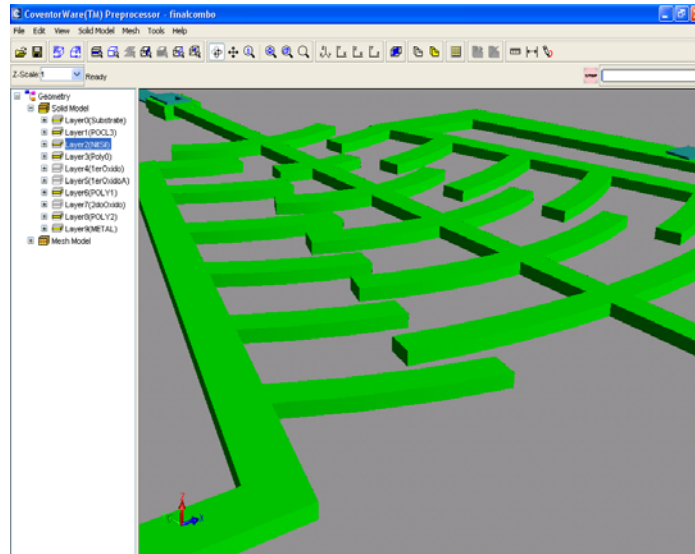


Figura 6c. Micromotor COMBO

En el plano xz de la figura 6d., se puede observar con mayor exactitud el acoplamiento de las partes mecánica con la electrónica.

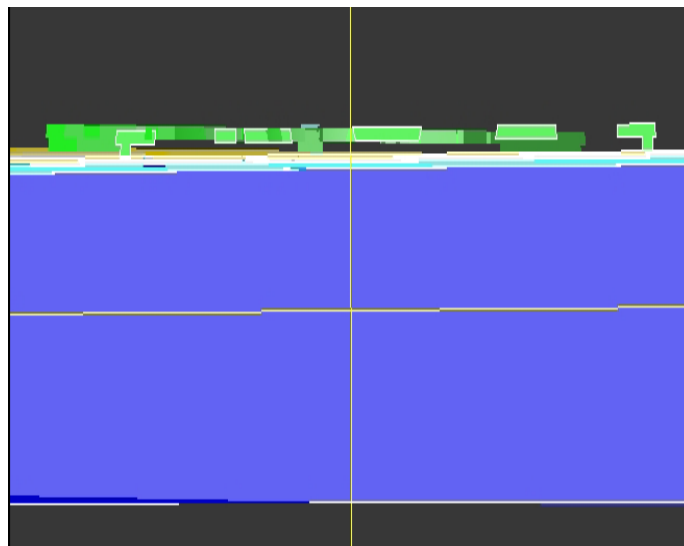


Figura 6d. Vista transversal del micromotor COMBO

4. CONCLUSIONES

Se diseñó y simuló el funcionamiento del micromotor combo, los resultados muestran la viabilidad de la fabricación del mismo. Con las dimensiones propuestas se obtiene un desplazamiento lateral del rotor. Con una tensión de alimentación de 10V. También se simuló el proceso de fabricación, detallando las etapas y las mascarillas a utilizar. Al concluir la fabricación se podrá caracterizar el micromotor, como por ejemplo el valor del torque y su tiempo de respuesta a la señal de excitación y algunas otras propiedades de interés para las aplicaciones específicas.

5. REFERENCIAS

- [1] Marc J. Madou, "*Fundamentals of microfabrication*", CRC Press, 1997.
- [2] Kart E. Petersen de IBM Res. Lab., San Jose, CA, USA Journal: Proceedings of the IEEE vol.70, no.5 p.420-57 Publication Date: May 1982 Country of Publication: USA.
- [3] <http://titan.me.jhu.edu/~sharpe/>.
- [4] <http://www.memsnet.org>.
- [5] <http://www.sfu.ca/adm/>.
- [6] H. Fujita, "Electrostatic and Superconducting Microactuators", in Proceedings: Micro Systems Technologies '90. Berlin, Germany, 1990, pp 1-6.
- [7] R. H. Price, S. J. Cunningham, and, S. C. Jacobsen, "Field Analysis for the Electrostatic Eccentric Drive Micromotor (Wobble Motor)," *Electrost.*, vol. 28, pp 7-38, 1992.
- [8] <http://www.electronicaestudio.com>
- [9] <http://www.med.uchile.cl/laparosc/flynn.pdf>
- [10] <http://gummel.upc.es/dcise/newstecs.pdf>
- [11] <http://turnkey.taiwantrade.com>

