



Contenido

1. Introducción
2. Modelo del acelerómetro
3. Especificaciones
4. Documentación a entregar
5. Datos disponibles
6. Más información



•
•
•

Introducción

- Diseño de un acelerómetro capacitivo
- Proceso de diseño completo:
 - Cálculo de dimensiones y parámetros
 - Simulación del comportamiento
 - Dibujo de máscaras
 - Verificación de reglas de diseño

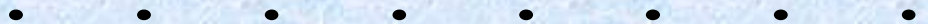
Funcionamiento general



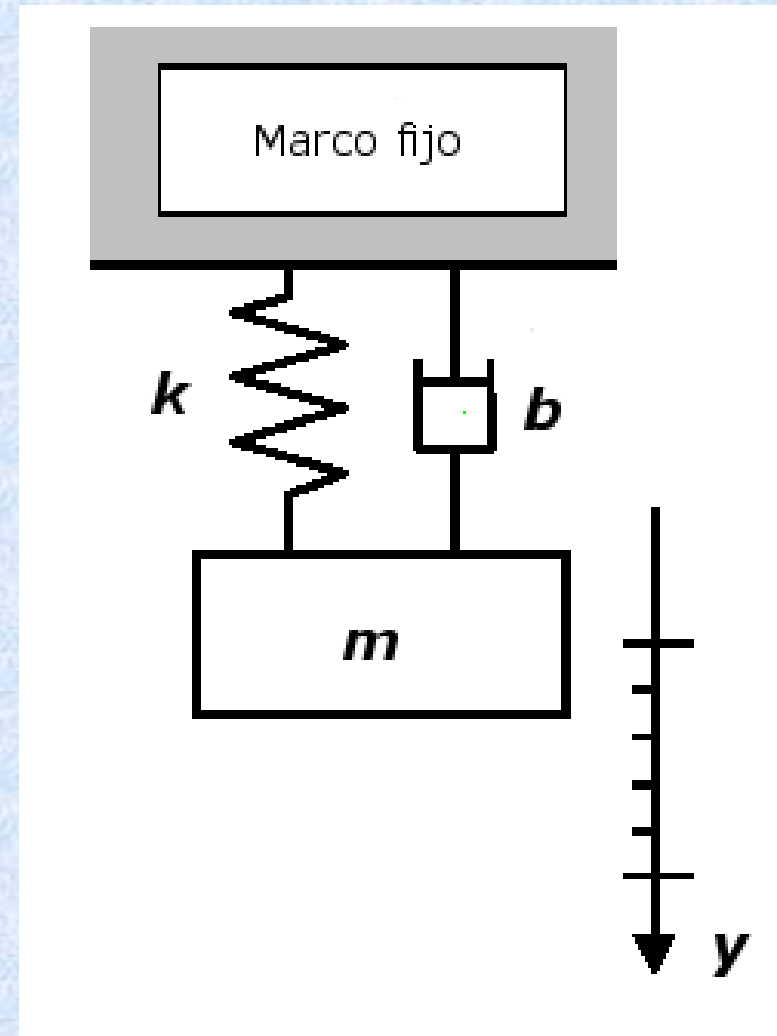


Contenido

1. Introducción
2. Modelo del acelerómetro
3. Especificaciones
4. Documentación a entregar
5. Datos disponibles
6. Más información



Modelo del acelerómetro



-
-
-

Modelo matemático

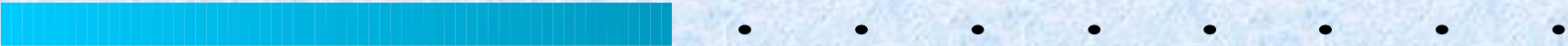
Aceleración del marco de referencia (sistema no inercial)
equivale a una fuerza sobre la masa en el marco fijo

$$F_a = ma$$

$$F_a - b\dot{y} - ky = m\ddot{y}$$

$$ma = m\ddot{y} + b\dot{y} + ky$$

donde a es la aceleración que se desea medir



-
-
-

Función de transferencia

$$H(s) = \frac{y(s)}{a(s)} = \frac{m}{ms^2 + bs + k}$$

Nos interesa el funcionamiento cuasi-estático ($s=0$)

$$y = \frac{ma}{k}$$

-
-
-

Función de transferencia

Frecuencia natural $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $y = \frac{a}{\omega_0^2}$

Factor de calidad $Q = \frac{m\omega_0}{b}$

Función de transferencia

Frecuencia natural $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $y = \frac{a}{\omega_0^2}$

Factor de calidad $Q = \frac{m\omega_0}{b}$

Ejemplo

Un acelerómetro de 50g
y $\omega_0 = 24.7\text{kHz}$
tendría un desplazamiento
de la masa de 20nm

•
•
•

Ruido intrínseco

Ruido debido a la amortiguación browniana, en una banda de 1Hz

$$\sqrt{4k_B T b}$$

Aceleración producida por el ruido, en valor rms

$$a_{n,rms} = \sqrt{\frac{4k_B T \omega_o}{mQ}}$$

Otras fuentes de ruido:

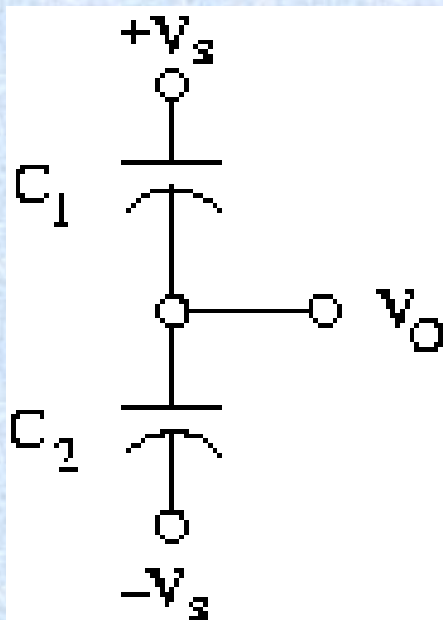
- Amplificación electrónica
- Estructuras adicionales
- Fallos de calibración
- Drift

• • • • • • • •

Sensores capacitivos

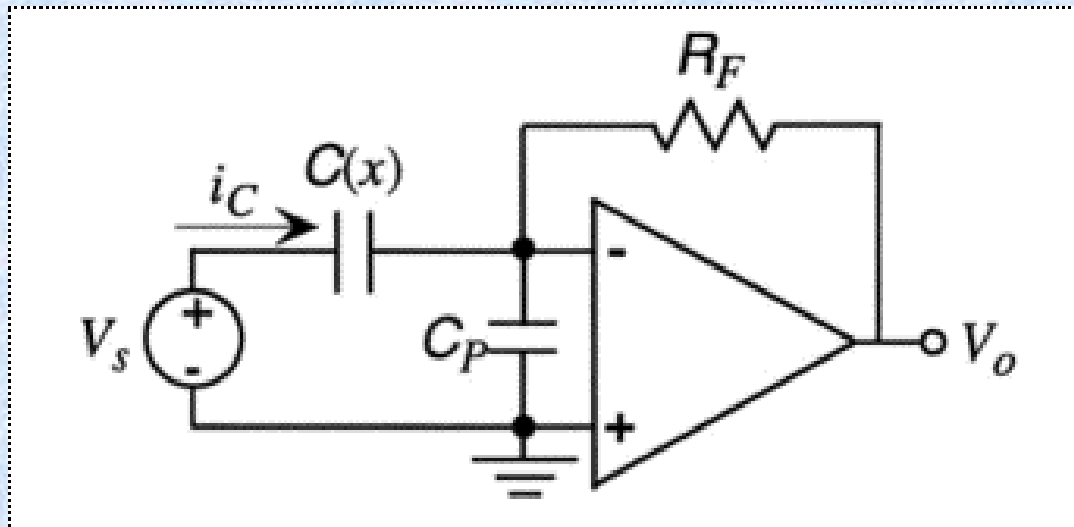
Vamos a medir el desplazamiento mediante un cambio en la capacidad.

Tengamos dos electrodos fijos y uno móvil:



$$V_o = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} V_s = \frac{G_2 - G_1}{G_1 + G_2} V_s$$

Medida de la capacidad

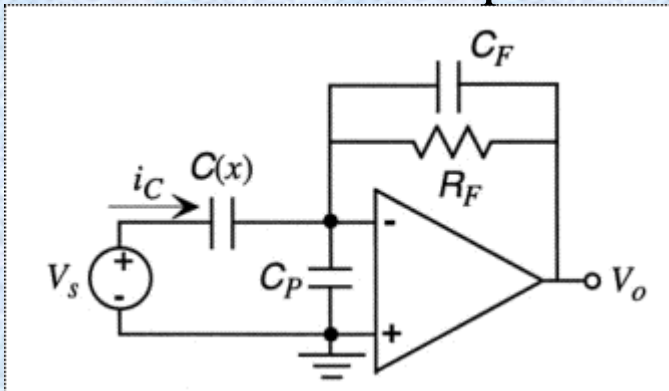


Amplificador de transimpedancia

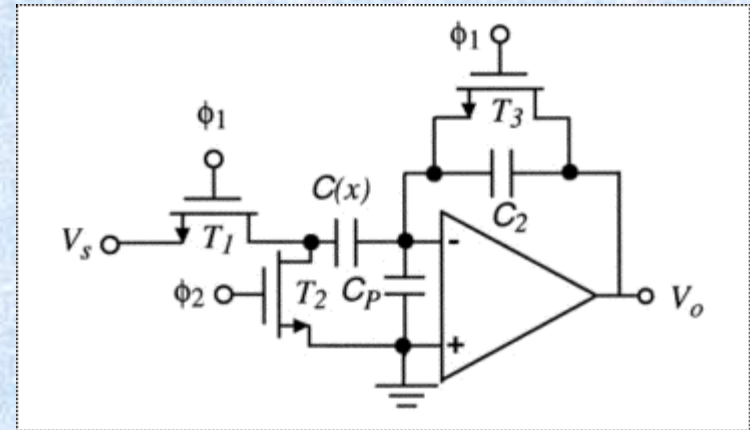
$$V_0 = -i_C R_F \quad i_C = C(x) \frac{dV}{dt} + V \frac{\partial C}{\partial x} \frac{dx}{dt}$$

Medida de la capacidad

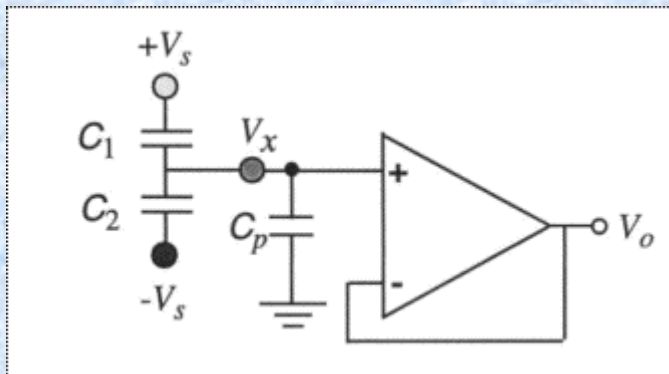
Realimentación capacitiva



$$V_o \approx -\frac{i_C}{sC_F} V_s \approx -\frac{C(x)}{C_F} V_s$$



Capacidades conmutadas



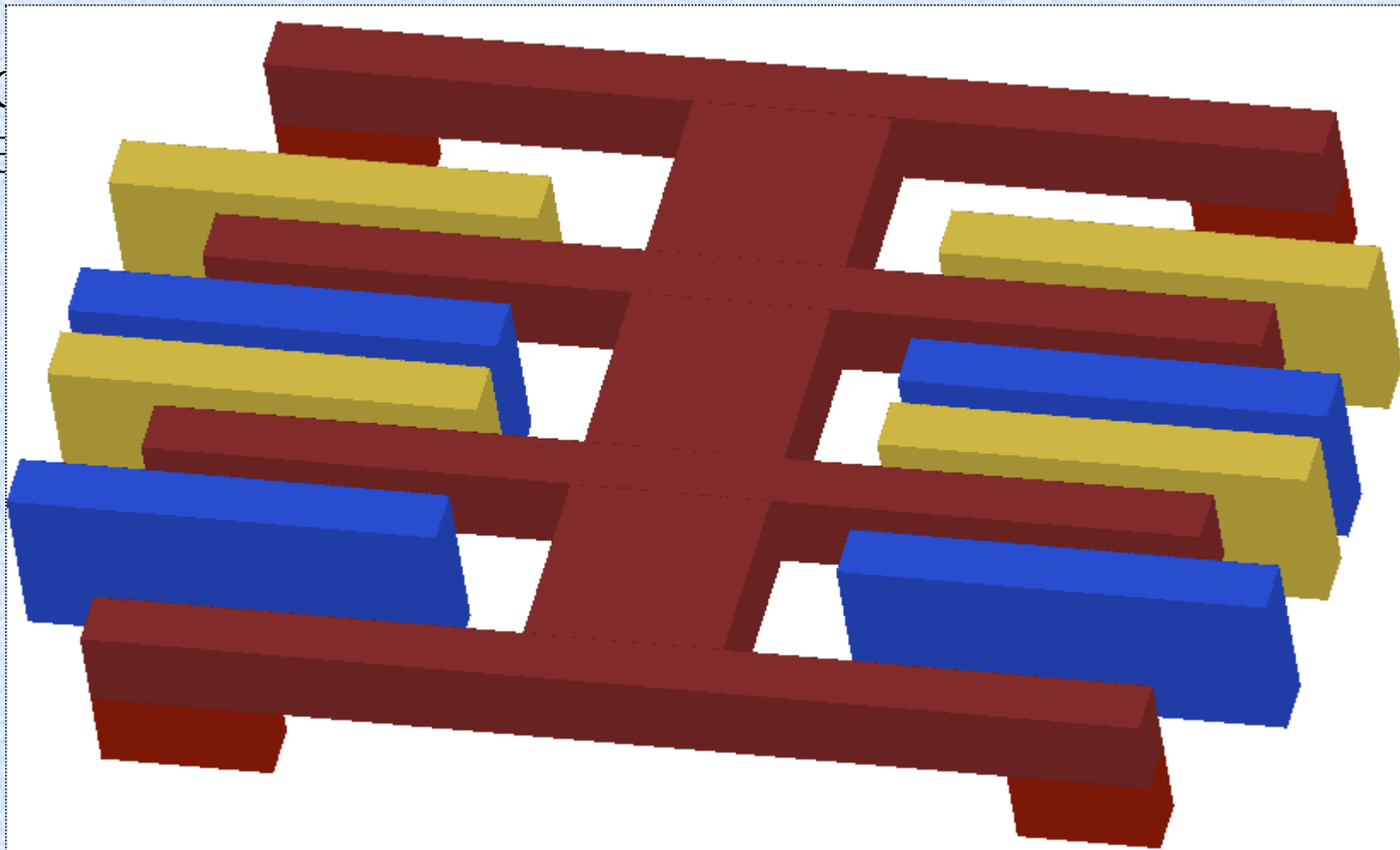
$$V_x = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2 + C_P} V_s$$

Seguidor de tensión

-
-
-

Estructura del acelerómetro

C
E



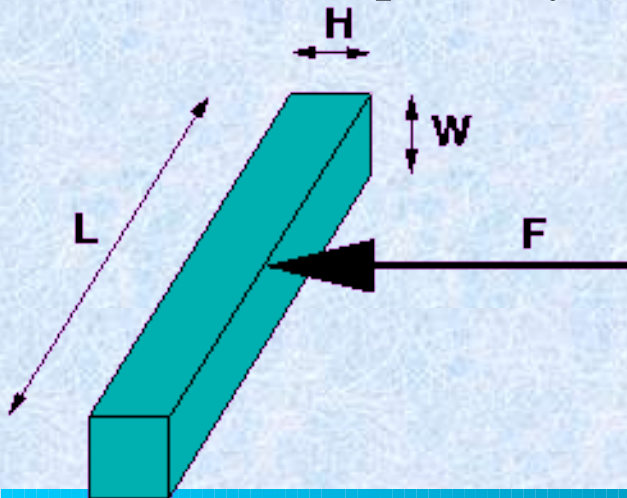
-
-
-
-
-
-
-
-

Deformación de una viga

Viga apoyada en los extremos, con fuerza aplicada en el centro

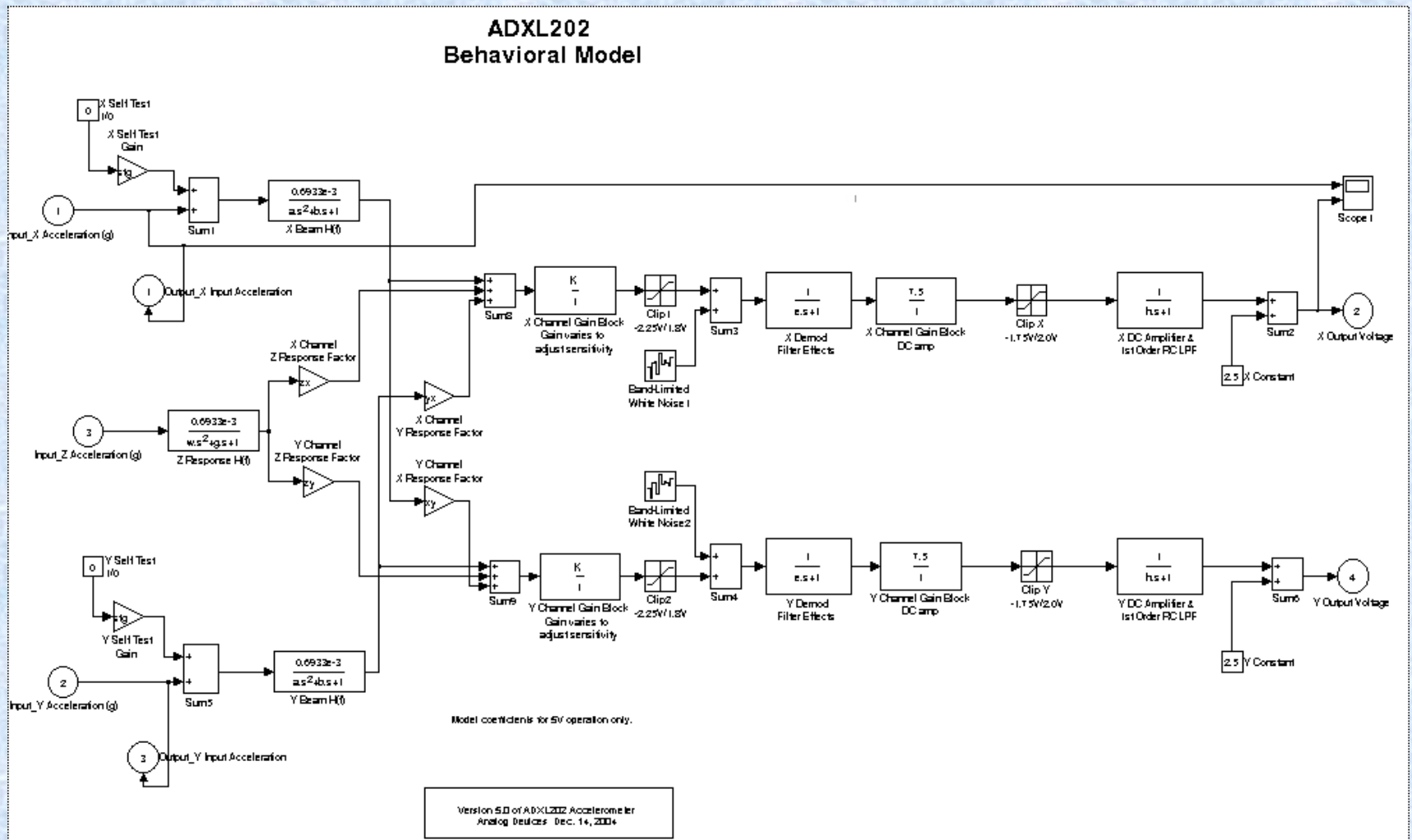
$$k = \left(\frac{\pi^4}{6} \right) \left(\frac{EWH^3}{L^3} \right) \quad \sigma_{\max} = \frac{3FL}{4WH^2}$$

Con E módulo de Young (propiedad del material), W ancho, H espesor, y L longitud total.



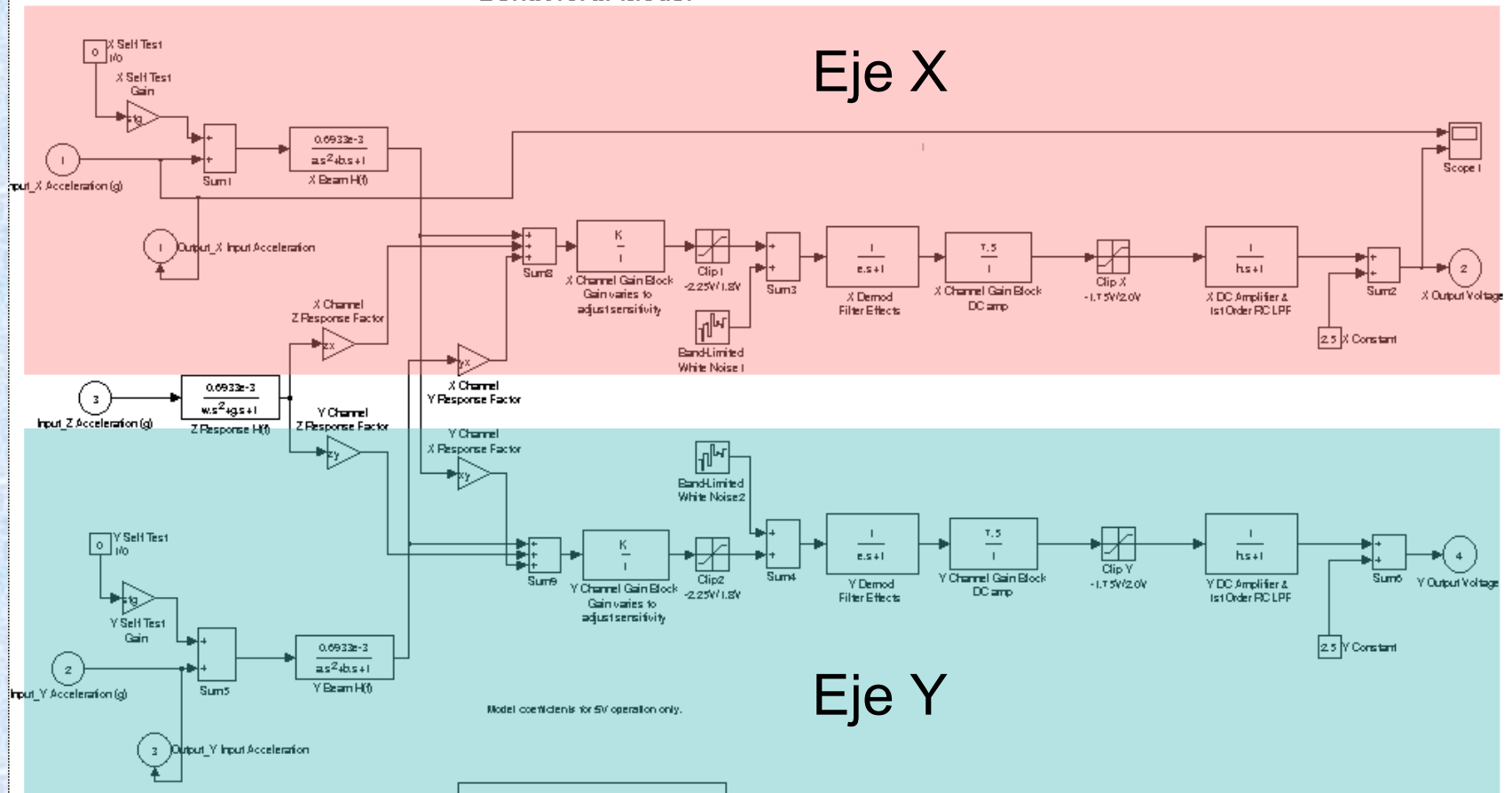
¡OJO! En el acelerómetro hay dos vigas que sostienen a la masa (con efecto sobre la k total)

Modelo completo



Modelo completo

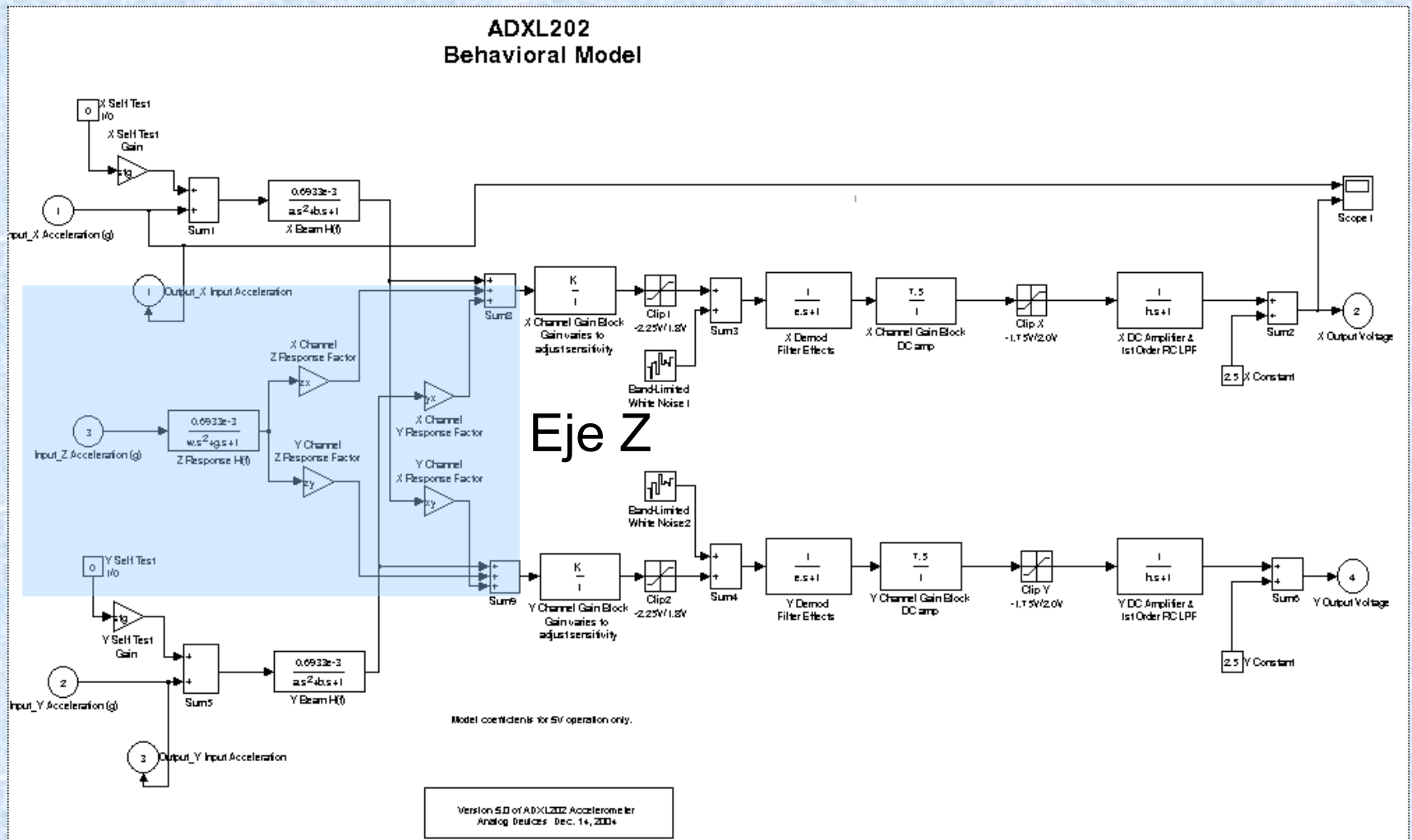
ADXL202
Behavioral Model



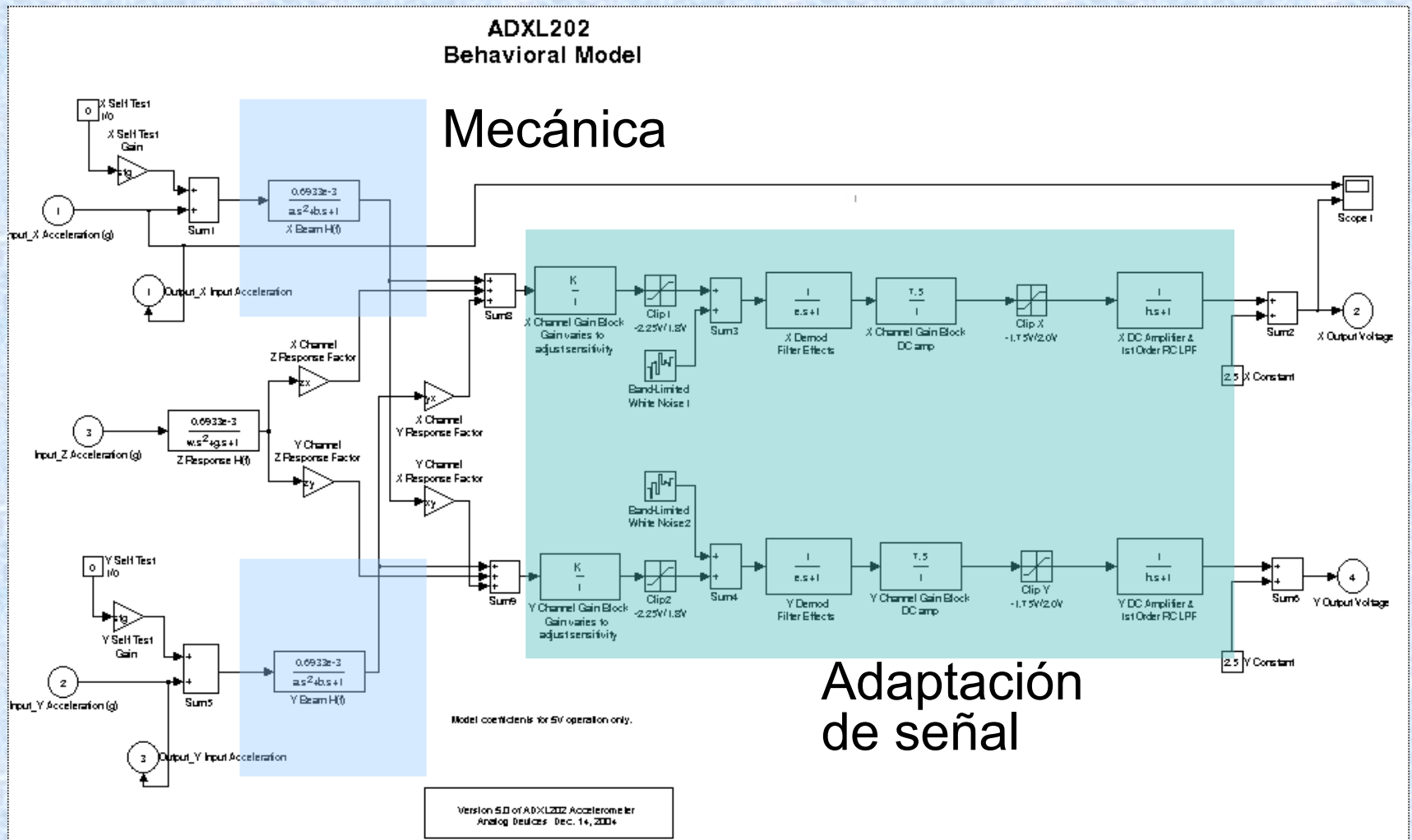
Model coefficients for 5V operation only.

Version 5.0 of ADXL202 Accelerometer
Analog Devices Dec. 14, 2004

Modelo completo



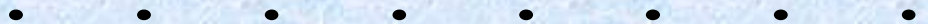
Modelo completo





Contenido

1. Introducción
2. Modelo del acelerómetro
3. Especificaciones
4. Documentación a entregar
5. Datos disponibles
6. Más información



-
-
-

Especificaciones

Sensibilidad

$$S = \frac{V_o}{a}$$

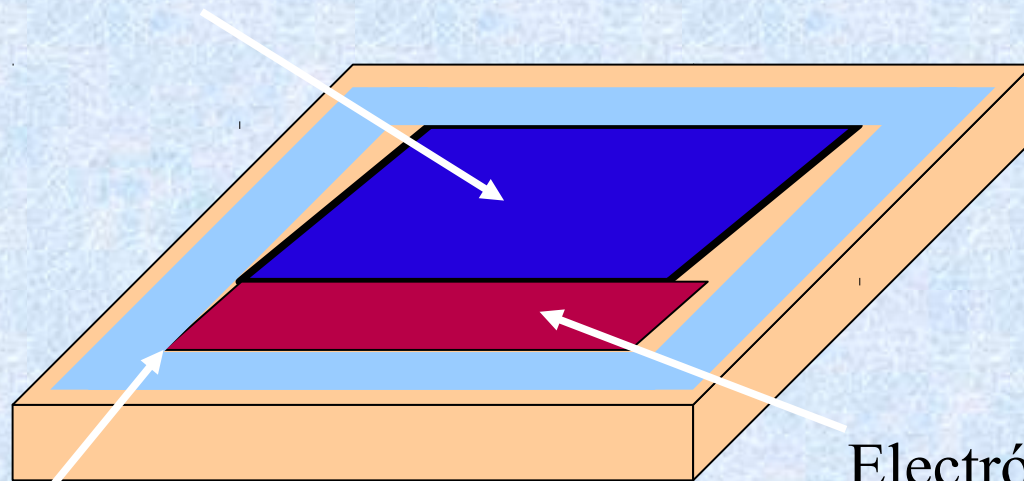
Fondo de escala (rango). Limitado por el margen de movimiento de los electrodos y por la rotura de las vigas

Ancho de banda $f_{max} \ll f_0 \quad 10f_{max} \leq \frac{\omega_0}{2\pi}$

-
-
-

Tamaño

Acelerómetros



Pads (1mm)

Electrónica
(1x8 mm)

•
•
•

Criterios de diseño

- Optimización
 - Económica
 - En espacio
 - De las características
- Cualquier decisión de diseño debe justificarse
- Siempre cumpliendo las especificaciones mínimas



Contenido

1. Introducción
2. Modelo del acelerómetro
3. Especificaciones
4. Documentación a entregar
5. Datos disponibles
6. Ejemplo de proceso
7. Más información



Documentación a entregar

- Breve memoria del proceso de diseño
- Máscaras para PolyMUMPS en formato TDB o GDS
- Resultado del DRC
- Presupuestos para 1, 1000 y 1000000 uds., con varias en el mismo chip, si caben
- Hoja de características: dimensiones, sensibilidad, rango, frecuencia de resonancia y ancho de banda.

•
•
•

Datos disponibles

- Espesores de las capas de PolyMUMPS y máscaras que las generan
- Propiedades de los materiales: densidad, módulo de Young, resistividad, tensión de rotura
- Reglas de diseño y dimensiones mínimas
- **No todos los datos y procesos son necesarios**

•
•
•

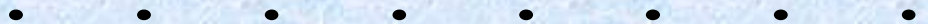
Datos disponibles

- Modelos Simulink de acelerómetros comerciales ADXL202, ADXL203, ADXL311 y ADXL320
- Disponibles en www.analog.com y en la web de la asignatura



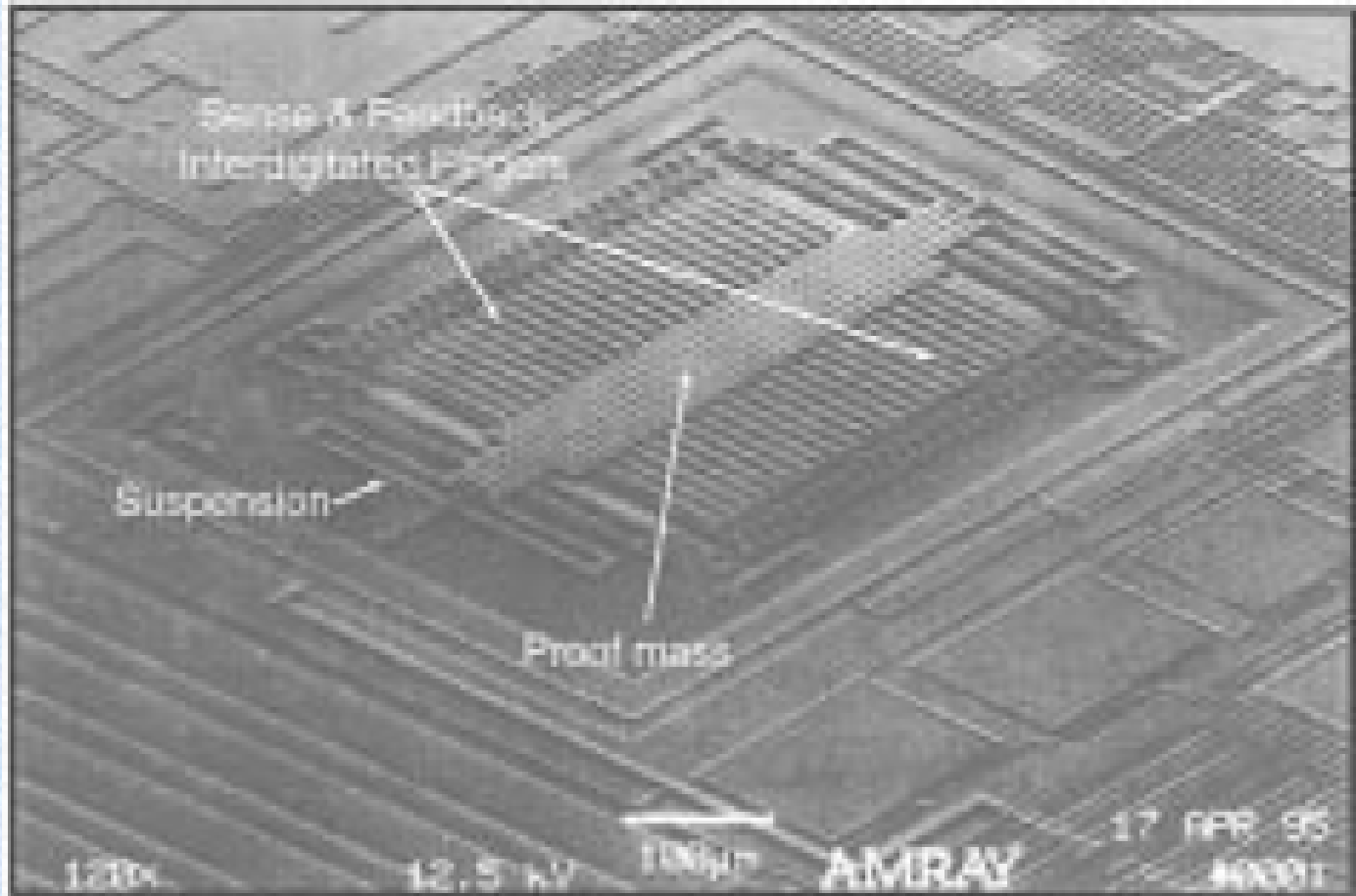
Contenido

1. Introducción
2. Modelo del acelerómetro
3. Especificaciones
4. Documentación a entregar
5. Datos disponibles
6. Más información



-
-
-

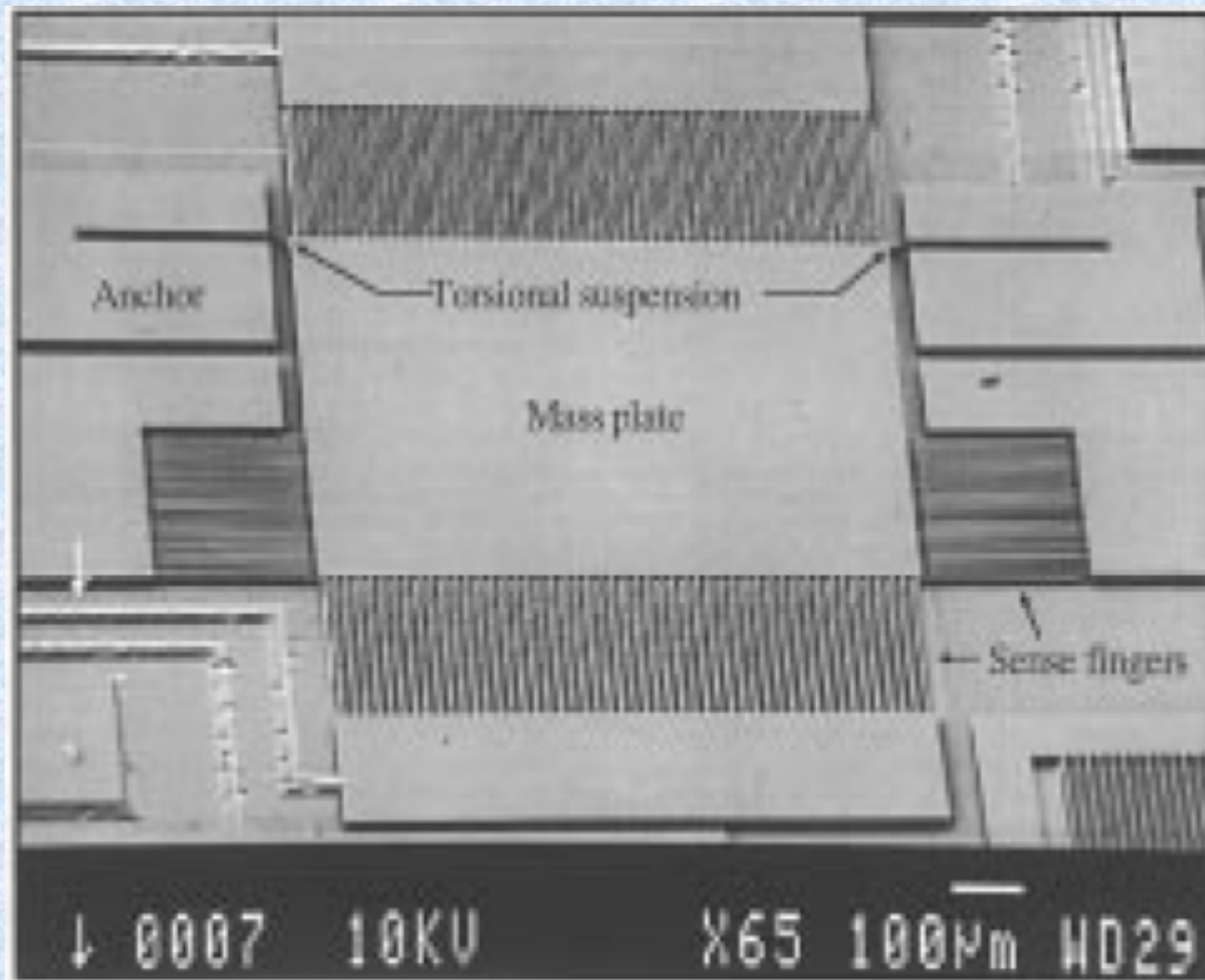
Acelerómetros existentes



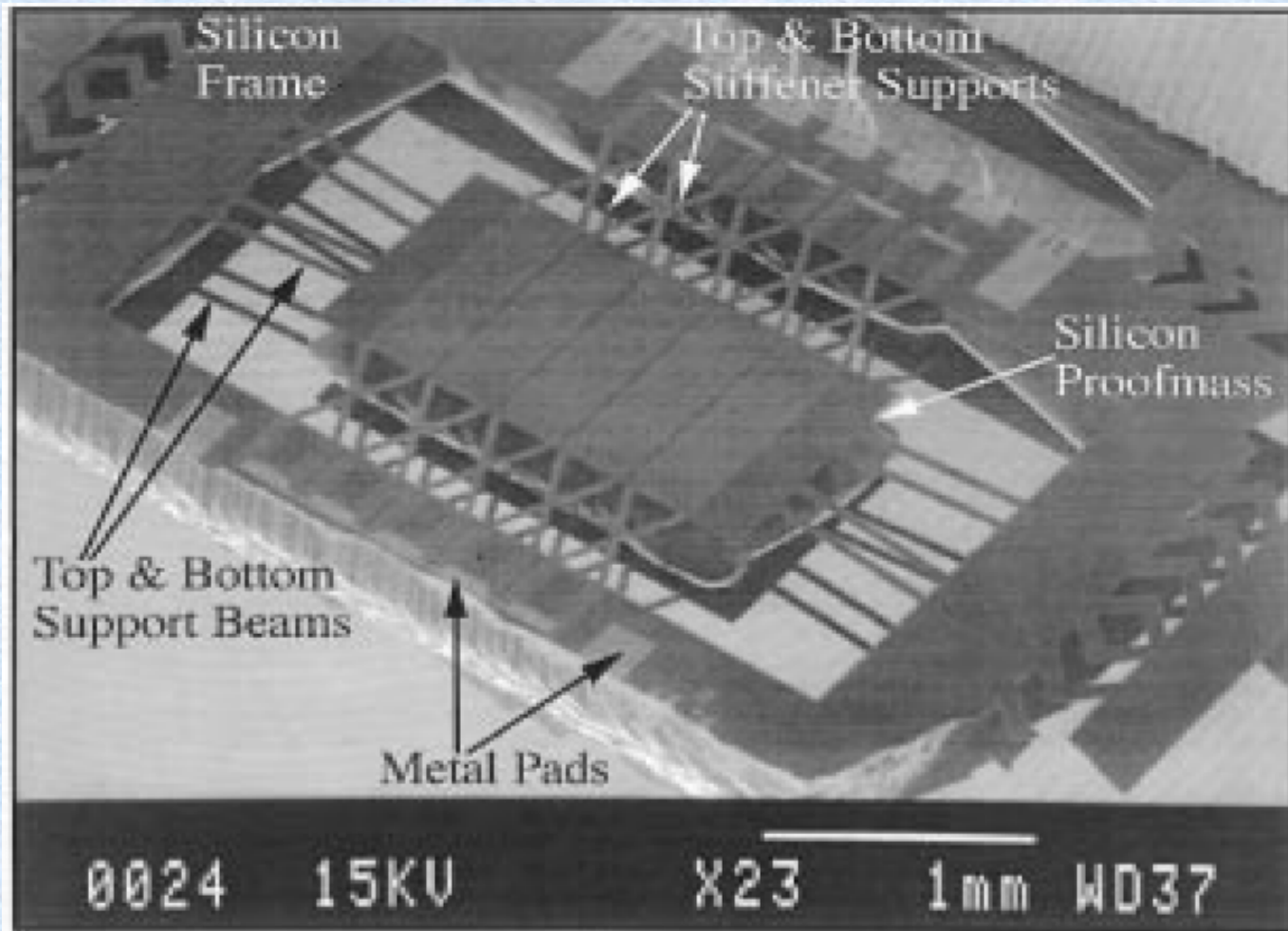
-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

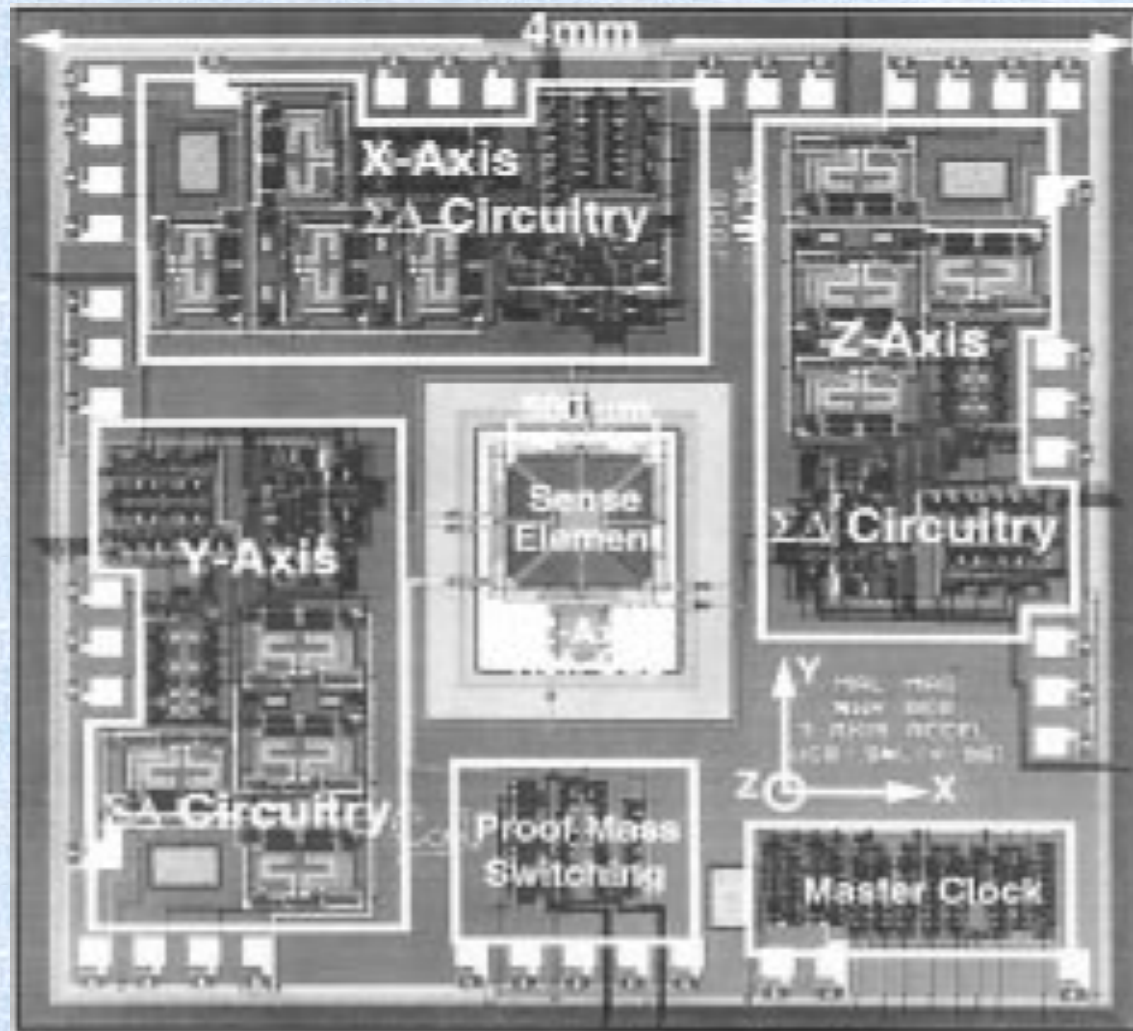
Acelerómetros existentes



Acelerómetros existentes

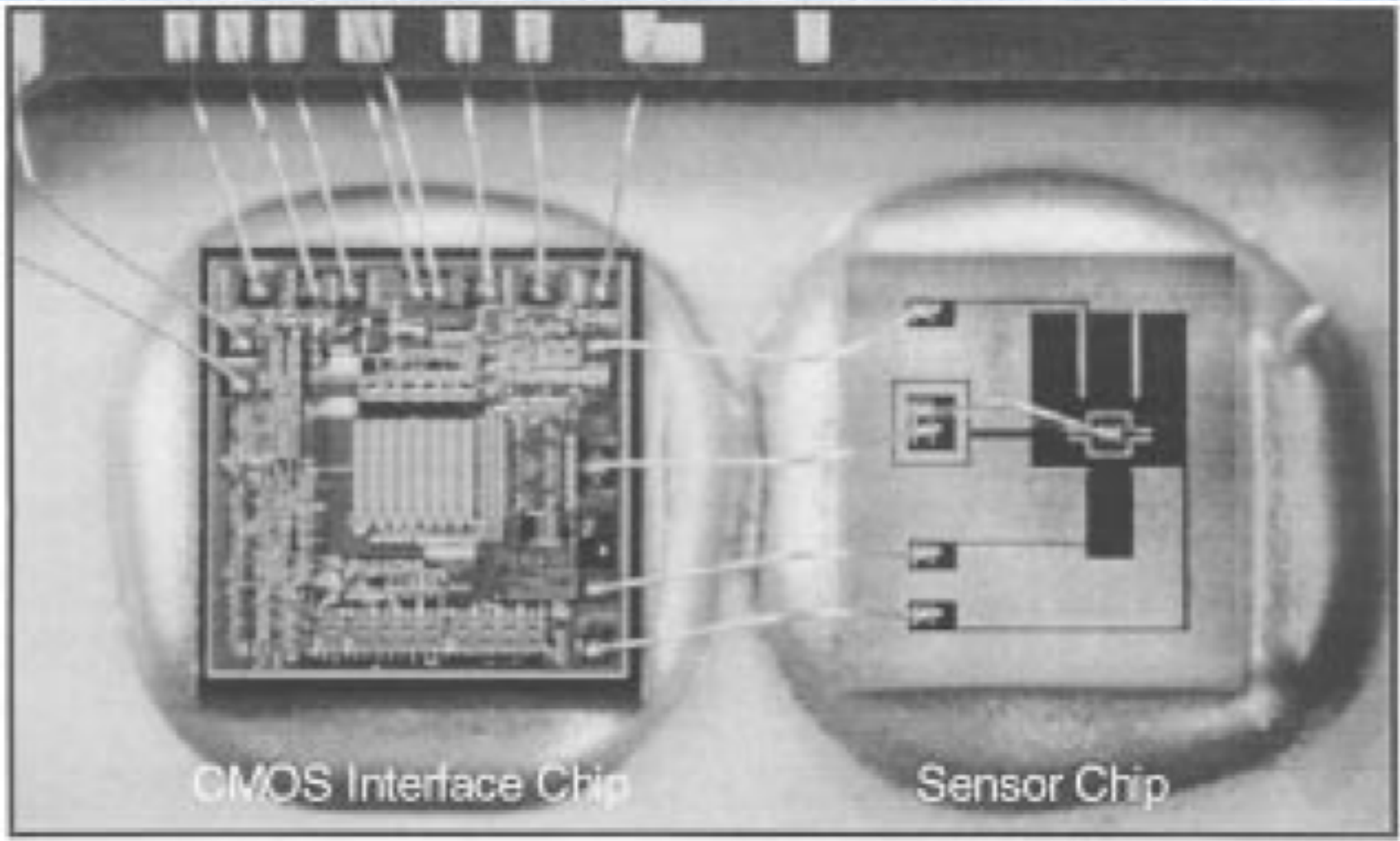


Acelerómetros existentes



-
-
-

Acelerómetros existentes

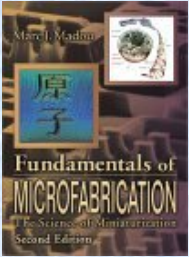


•
•
•

Más información

- Antonio Luque Estepa
aluque@gte.esi.us.es
- Ubicación del despacho: E2-SO-17

Bibliografía



- Marc J. Madou, *Fundamentals of Microfabrication*, CRC Press, 1997
- N. Yazdi *et al.*, “Micromachined inertial sensors”, *Proc. IEEE*, vol. 86, pp. 1640-1659, 1998
- Stephen D. Senturia, *Microsystem design*, Kluwer Academic, 2001

