

# Programa de MEMS en los Laboratorios Nacionales Sandia

**Ernest J. García**

Departamento de Ingeniería Electromecánica  
Laboratorios Nacionales de Sandia  
Albuquerque, Nuevo México EE.UU.

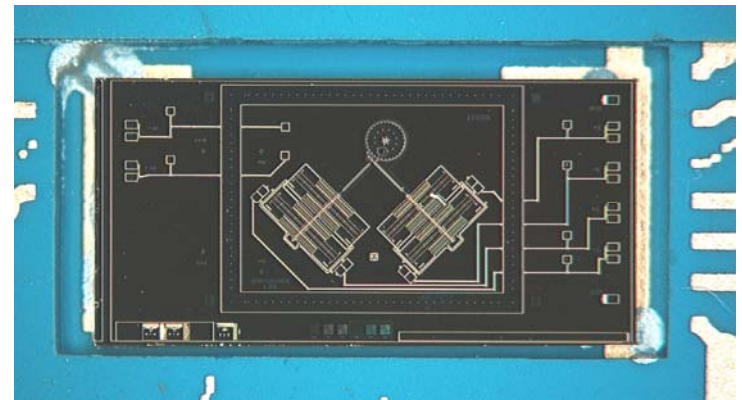
Presentación para la facultad de ingeniería de UACJ, Juárez, México

22 de mayo de 2007

# Temas

## Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

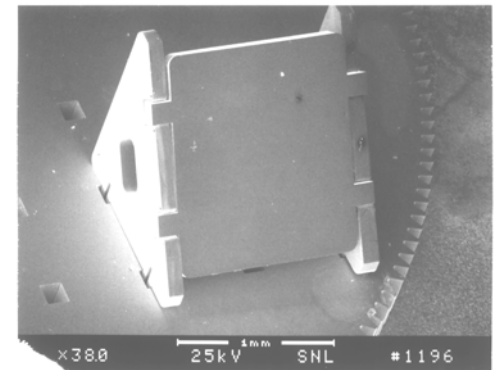
- Resumen de Sandia
- Nuestros intereses en micro-nano tecnologías
- Inversiones de Sandia en la tecnología
- Proyectos y áreas de investigación y desarrollo
  - Un ejemplo
- Asuntos notables
  - Inmadurez de la tecnología
  - Confiabilidad de la tecnología
  - Obstáculos al desarrollo
- Reinvencción de la ingeniería para el desarrollo de MEMS



# Laboratorios Nacionales Sandia

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Nuestro negocio: la seguridad nacional
  - Seguridad de
    - Defensa
    - Economía
    - Recursos de energía, agua, etc.
    - Protección de la infraestructura
  - Más de 8500 empleados
    - La sede en Albuquerque





# Varias instalaciones distribuidas en EU

## Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



**Albuquerque,  
Nuevo México**



**Instalación de pruebas de  
Kauai, Hawaii**



**Campo de pruebas de  
Tonopah, Nevada**



**Yucca Mountain,  
Nevada**



**WIPP, Nuevo México**



**Pantex, Texas**



**Livermore, California**



# Propósito principal

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



- Ayudar a que nuestro país logre un mundo de paz y libertad por medio de la tecnología.
- Seguir como el primer laboratorio al que acuda Estados Unidos para obtener soluciones tecnológicas para los problemas que amenazan la paz y la libertad de nuestro país y del mundo.

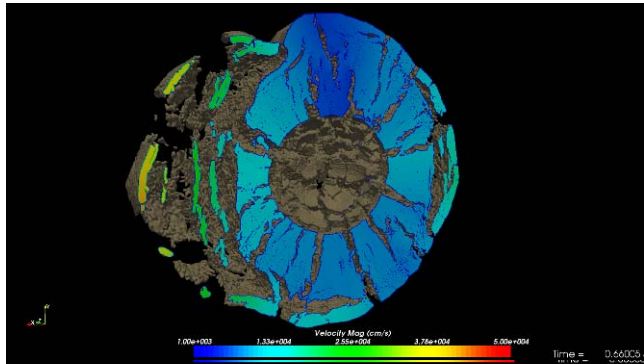


Sandia National Laboratories

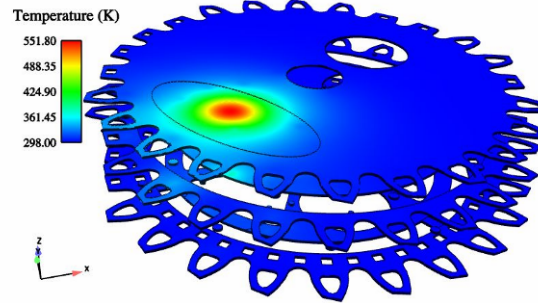


# Nuestra misión se basa firmemente en la ciencia y la ingeniería

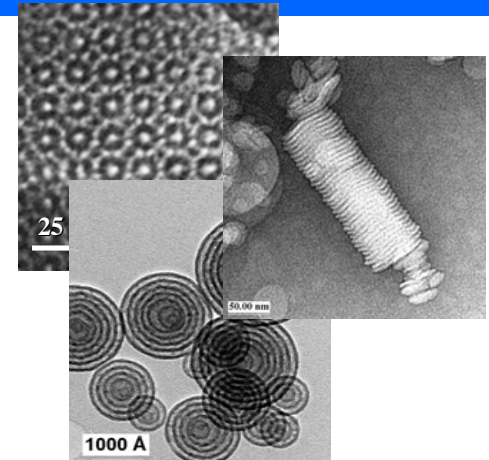
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



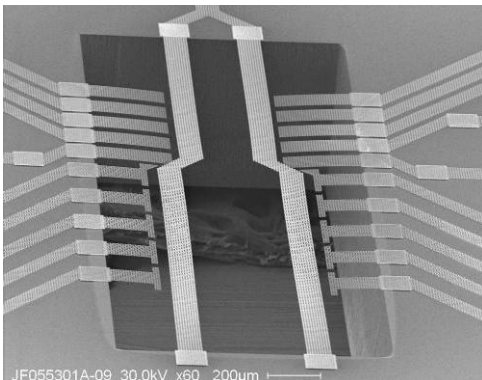
**Ciencias computacionales  
y de la información**



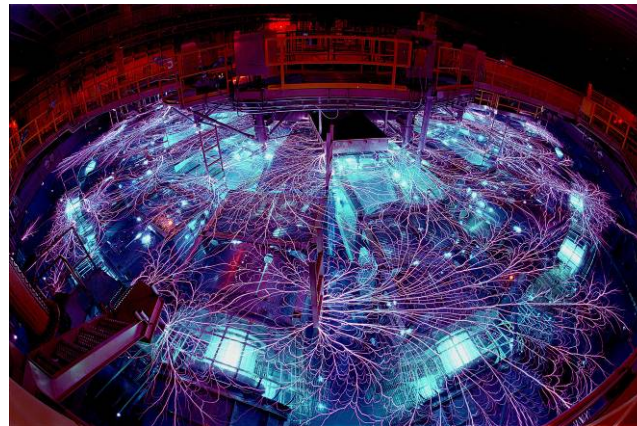
**Ciencias de ingeniería**



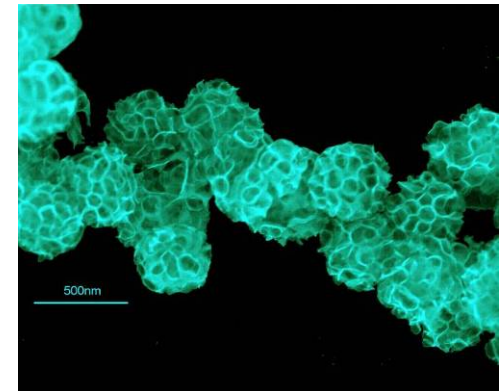
**Ciencia de materiales y  
tecnología**



**Microelectrónica  
y fotónica**



**Potencia pulsada**

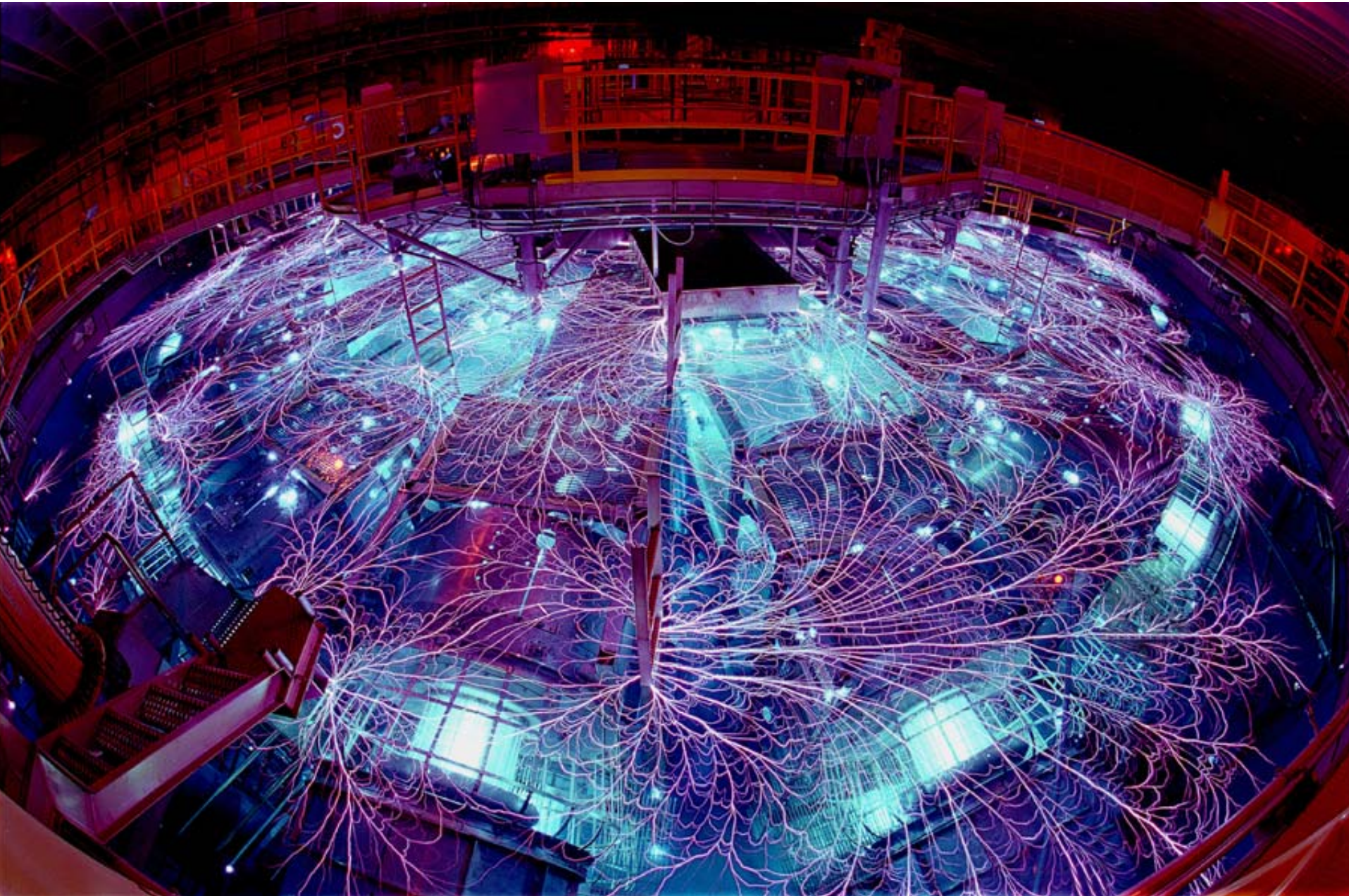


**Biotecnología**





## Potencia pulsada Z-Machine

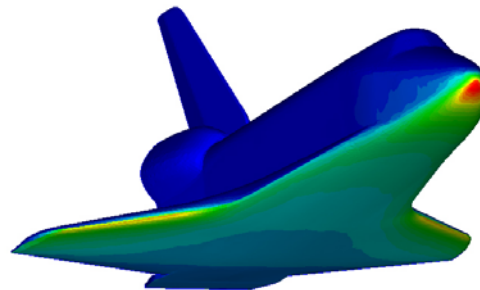




# Invertimos en tecnologías para la seguridad nacional

## Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Nuestra ciencia, tecnología e ingeniería han cambiado el mundo
- En 57 años, los avances de Sandia han revolucionado:
  - la industria electrónica y la medicina
  - la manera en que funcionan las computadoras y se solucionan los problemas
  - el ciclo del diseño hasta la fabricación de productos avanzados
  - nuestra capacidad de usar las propiedades de los materiales para mejorar la seguridad nacional
- Los programas de ciencia, tecnología e ingeniería funcionan sinérgicamente



$Q_{\text{ray}}$  (W/m<sup>2</sup>)

16815.3
15784.6
14953.8
14123.1
13292.3
12461.6
11630.8
10800.1
9969.34
9138.59
8307.84
7477.1
6646.35
5815.61
4984.86
4154.12
3323.37
2492.62
1661.88
831.132





# Tratamos con energía, agua y seguridad por medios de ciencia y tecnología

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

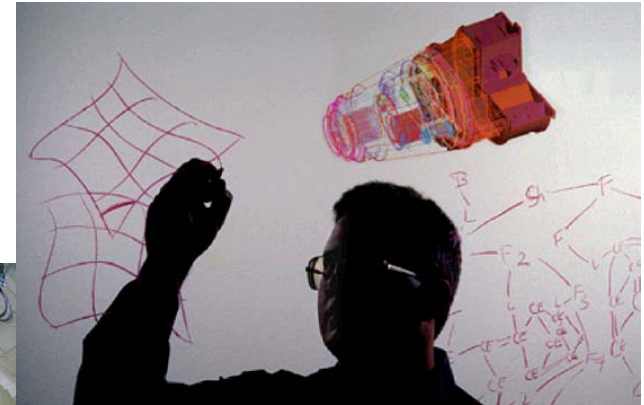
- Garantizar los suministros de energía para la seguridad nacional
- Energía asequible, abundante y limpia
- Investigación del agua
- Protección de la infraestructura



# Computación avanzada

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- **Revolucionando como funcionan los computadores**
- **Computación masivamente paralela**
- **Avances teóricos en solución de problemas**
- **Simulaciones de alta fidelidad**



**Solucionando problemas  
que antes eran  
intratables**

**Red Storm  
40 teraflops**

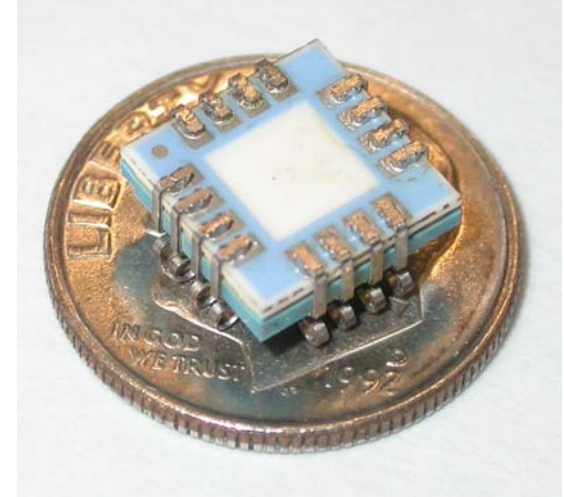
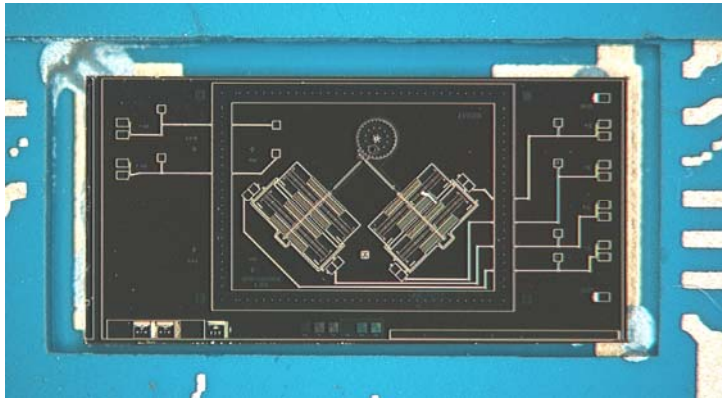




# Nuestro interés en micro y nano tecnología

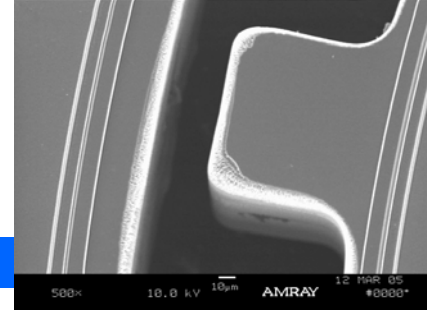
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- A principios de los años ochenta
  - Pensando en la miniaturización de máquinas y sensores
    - No como evolutiva
    - Más como revolucionaria



# La jornada hacia MEMS

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



- Empezamos a buscar y desarrollar métodos para fabricar máquinas miniaturas y microscopios
- Teníamos la capacidad de fabricar micro chips que eran resistentes a la radiación que los satélites encuentran en el espacio
- Empezamos a cambiar y modificar los procesos para construir estructuras por medio de **surface micromachining, LIGA y bulk micromachining**

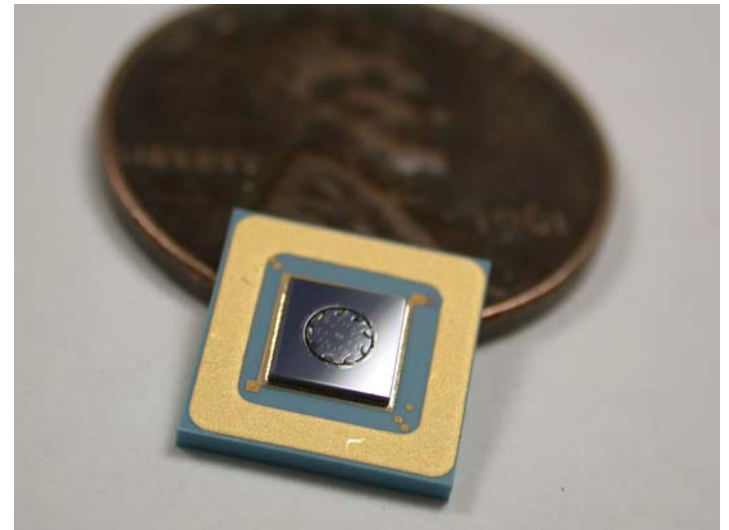




# El reconocimiento del potencial

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- El Departamento de Energía empezó a estar conciente del potencial para aplicaciones de interés nacional
  - Influencia de MNT sobre la economía
  - Defensa
  - Salud
  - Conservación de recursos

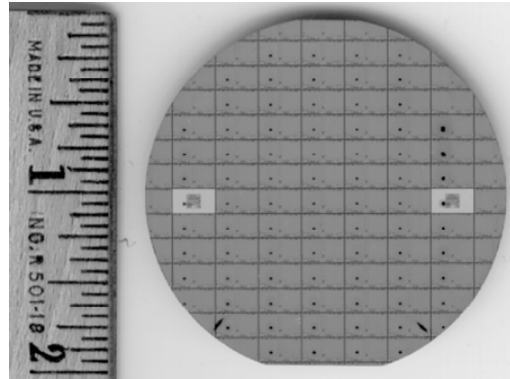
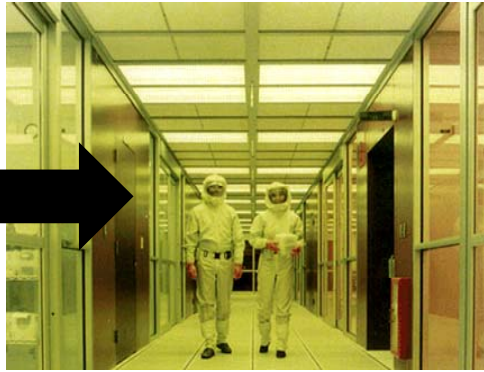


# En realidad hemos desarrollado micro tecnologías por más de 40 años

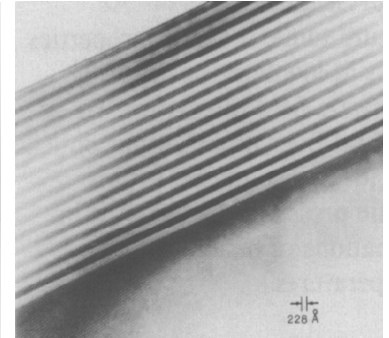
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



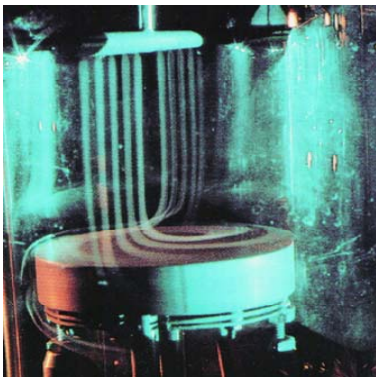
**Laminar Flow Cleanroom, 1963**



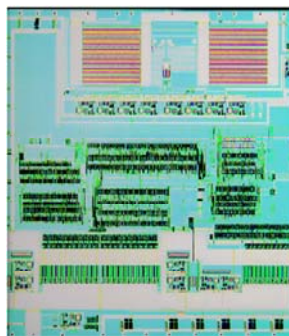
**Radiation-hardened CMOS, 1975**



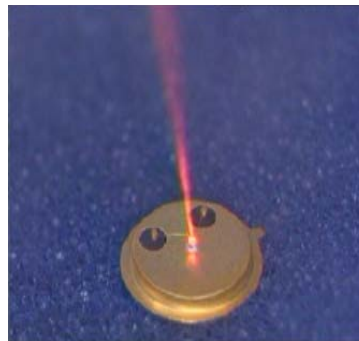
**Strained-layer Semiconductors, 1981**



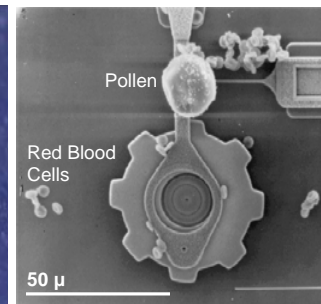
**Semiconductor equipment partnerships, 1989**



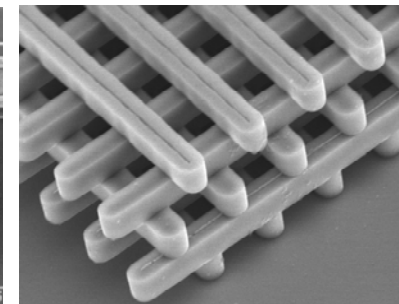
**Integrated sensor, 1993**



**High-efficiency VCSELs, 1995**



**Silicon surface micromachine, 1995**



**Photonic Lattice, 1998**





# Inversiones en capacidades entre los mejores del mundo

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



- MESA
  - Microsystems and Engineering Sciences Applications
  - \$500,000,000 dólares (~5,470,000,000.MXN)
- CINT
  - Center for Integrated Nano Technology
  - Colaboración entre Sandia y los Laboratorios Nacionales de Los Alamos



# Microsystems & Engineering Sciences Applications

12.000 m<sup>2</sup>

Microsystems  
Laboratory  
Building



15.000 m<sup>2</sup>

Work  
Integration  
Facility



Microsystems  
Fabrication  
Facility

9.000 m<sup>2</sup>



El proyecto MESA provee  
capacidades y herramientas  
esenciales para el diseño,  
integración y calificación de  
componentes basados en  
micro sistemas



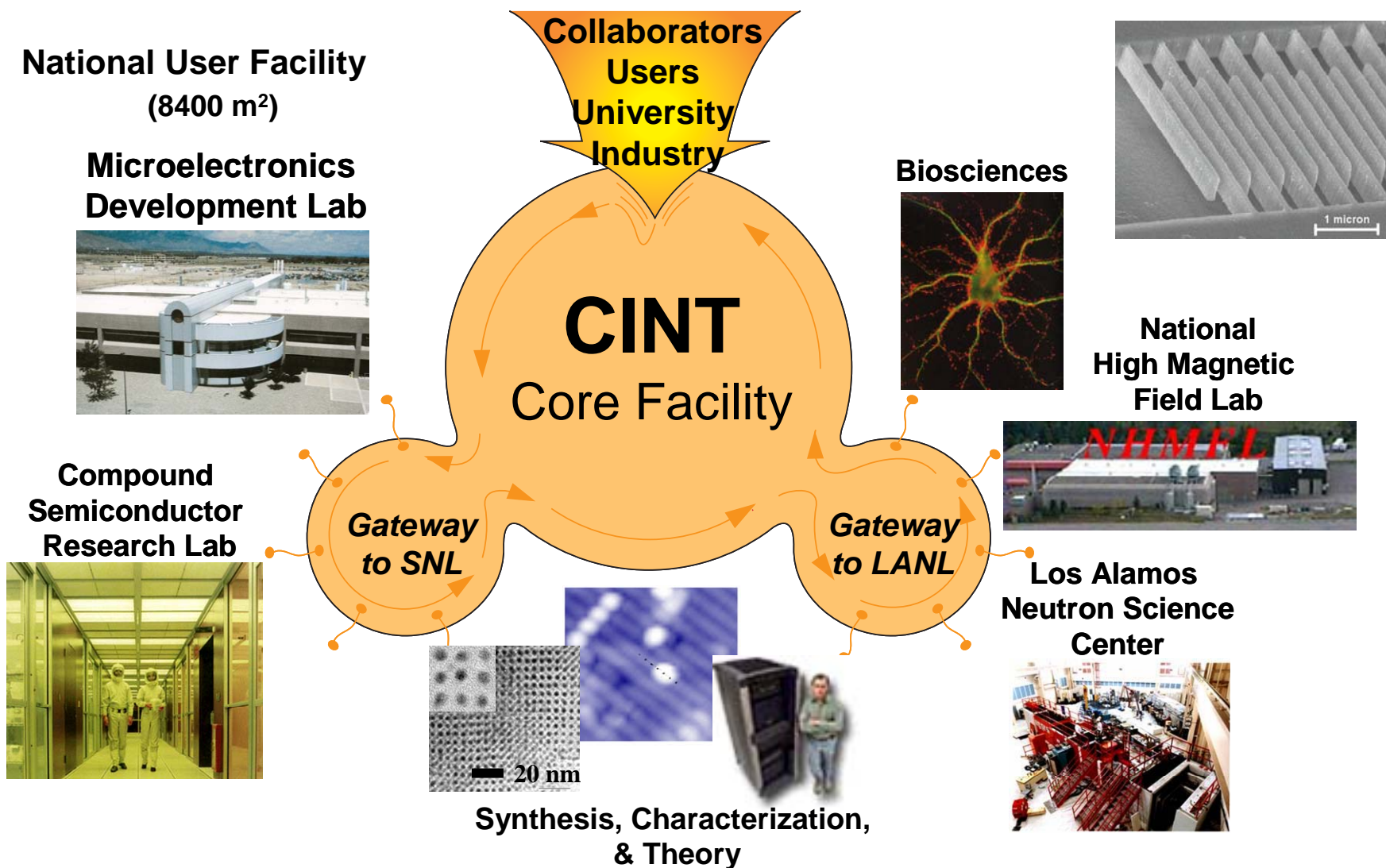
Sandia is a multiprogram laboratory operated by Sandia Corporation, a Lockheed Martin Company, for the United States Department of Energy's National Nuclear Security Administration under Contract DE-AC04-94AL85400.



Sandia  
National  
Laboratories

# Center for Integrated Nanotechnologies (CINT)

<http://cint.lanl.gov/>

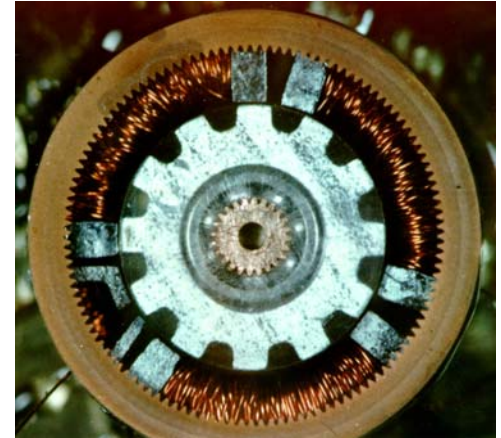




# Proyectos y áreas de investigación

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

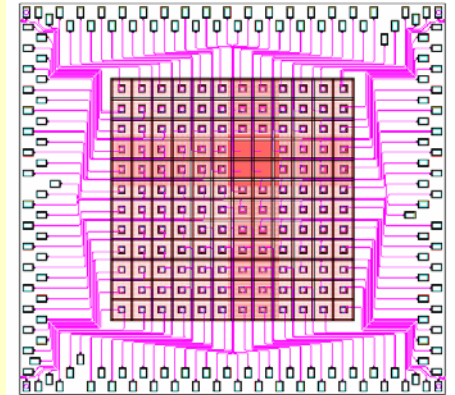
- Áreas de investigación en Sandia
  - Micro mecanismos
  - Opto micro sistemas
  - Micro sensores
  - Integración y encapsulación
  - Ciencia de superficies y películas delgadas
  - Fotónica y Semiconductores III-V
  - Confiabilidad y análisis de fracasos y defectos
  - Sistemas micro-maquinados de radiofrecuencia
  - Sistemas meso-maquinados (por ejemplo: LIGA)
- Servicios de fabricación y educación



# Cursos y fabricación

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- 3 cursos cortos de MEMS (diseño)
  - Proceso de SUMMIT
    - 5 capas de silicio policristalino
  - \$1500-\$2000 USD/estudiante
- Costos de fabricación (\$US)
  - \$10,000/módulo de diseño (~100 dados del módulo)
  - Liberación (por ácido de HF) \$1000 (~50 dados)
  - Capa de anti-sticción (VSAM) \$400 (~50 dados)
  - Evaluaciones en el laboratorio \$1500/día



# Competencia de diseño de MEMS

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

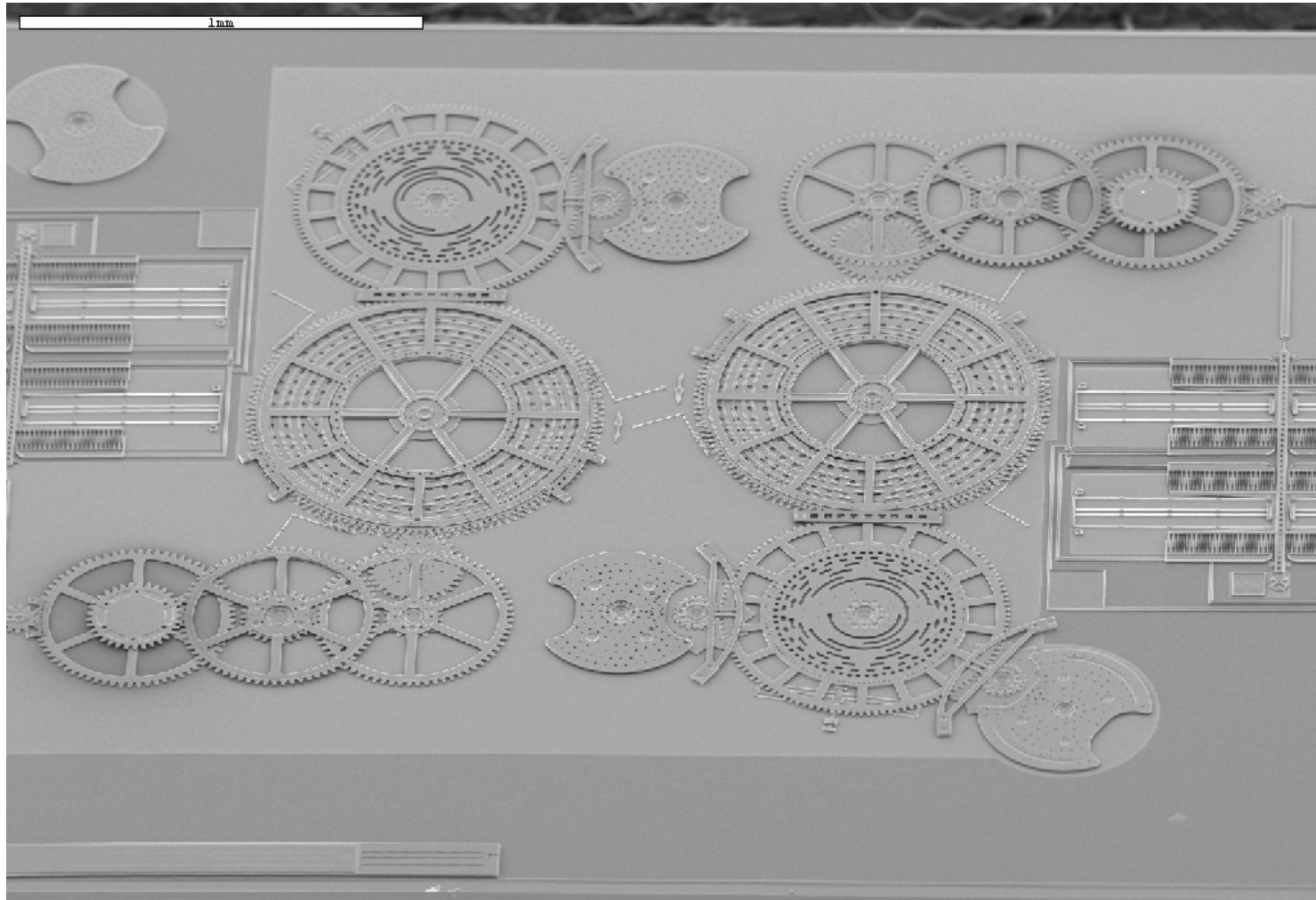
- University Alliance
  - Competencia anual entre estudiantes de varias universidades
    - Texas Tech, Central NM CC, Oklahoma, Utah, Florida, UNC Charlotte en la competencia
    - Central NM CC ganó en la categoría de diseño
    - Texas Tech ganó en la categoría de caracterización
- La competencia es para atraer, inspirar y capacitar estudiantes en universidades en EU en el campo de MEMS





# Un ejemplo de un temporizador

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

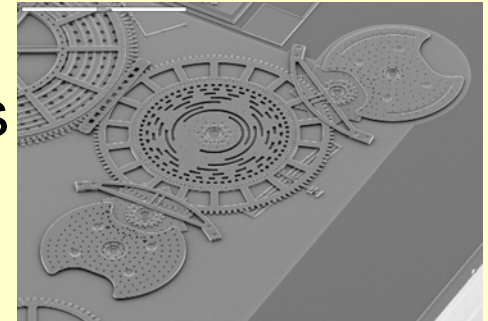


Sandia National Laboratories

# Ejemplo típico de un micro mecanismo

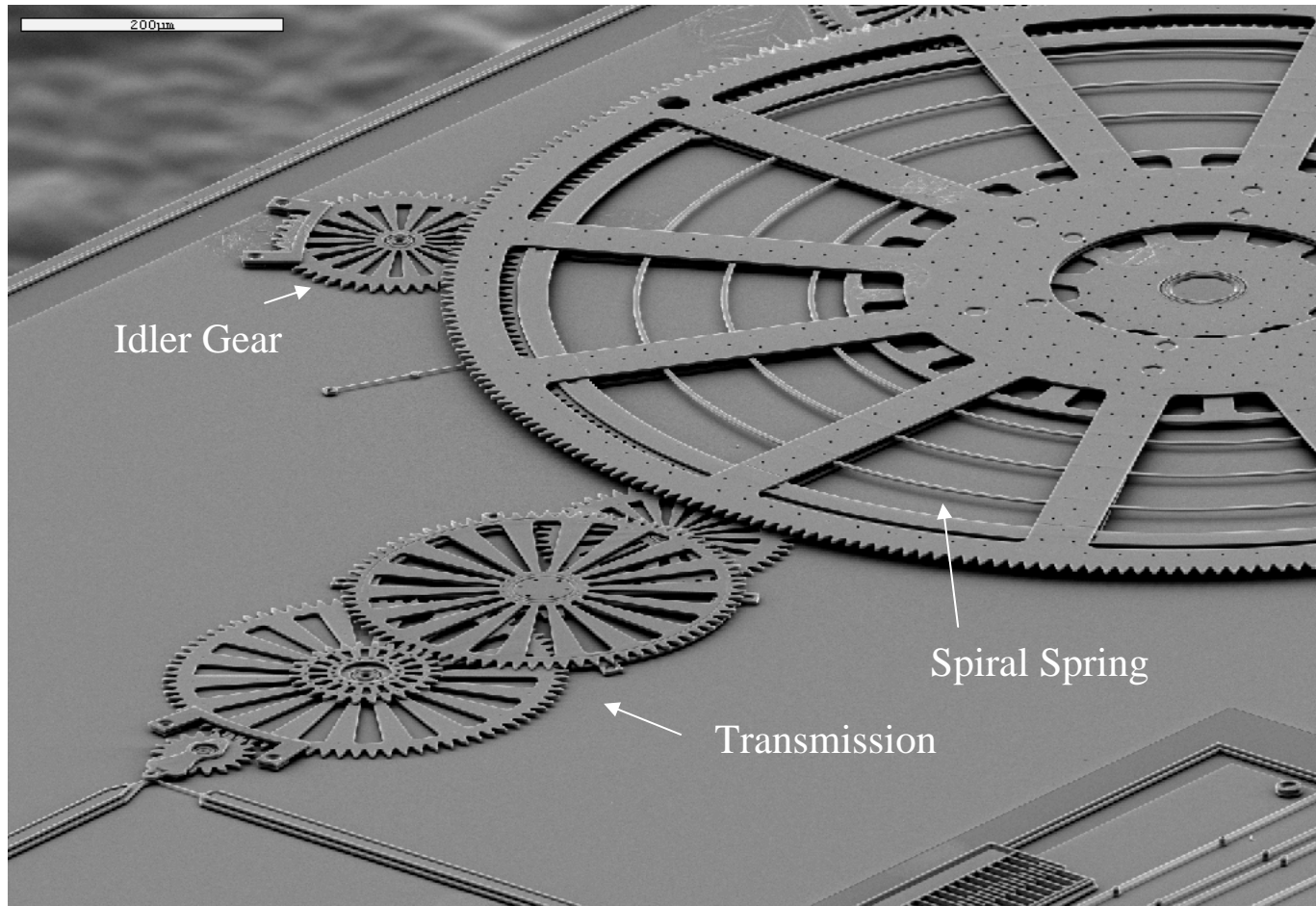
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- El reto
  - Medir tiempo sin fuentes de energía constante
  - Proveer la capacidad de funcionar en ambientes extremos como espacio
  - Funcionar después de muchos años
  - Demostrar alta confiabilidad
  - Exhibir alta precisión
  - Acabar el desarrollo con un aparato factible y económico



# Elementos de un temporizador

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

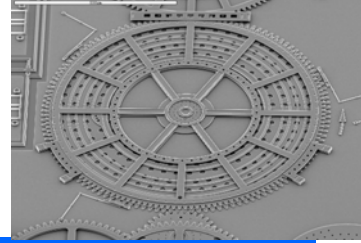


M. A. Polosky, E. J. Garcia, D. W. Plummer, U.S. Patent No. 6,307,815, "Surface Micromachined Mechanical Timer," October 23, 2001.





# Elementos de un temporizador

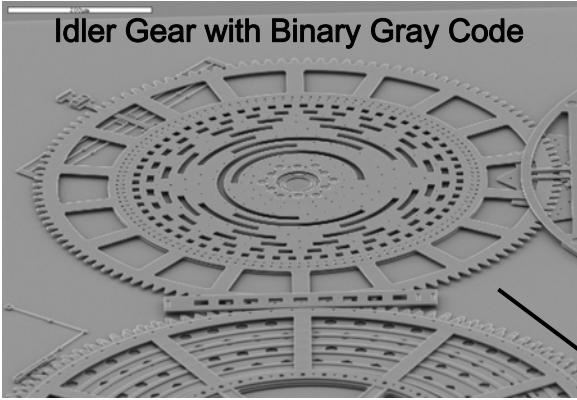


Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

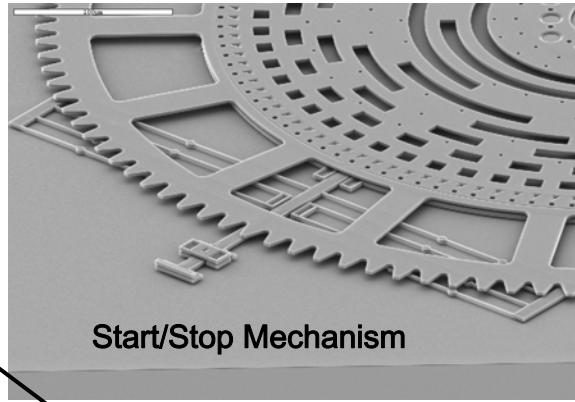
- Funciona como un reloj mecánico
  - Necesitamos un método para almacenar energía
    - Resortes para almacenar energía elástica
  - Necesitamos un método para aportar energía
    - Micro motores como el Micro Ingenio
  - Necesitamos un método para disipar la energía
    - Si pudiéramos controlar el flujo de la energía tendríamos un temporizador
    - Usamos un mecanismo que disipa la energía por medio de impactos mecánicos
- La motivación es para aplicaciones donde no hay fuentes de energía como pilas o el sol



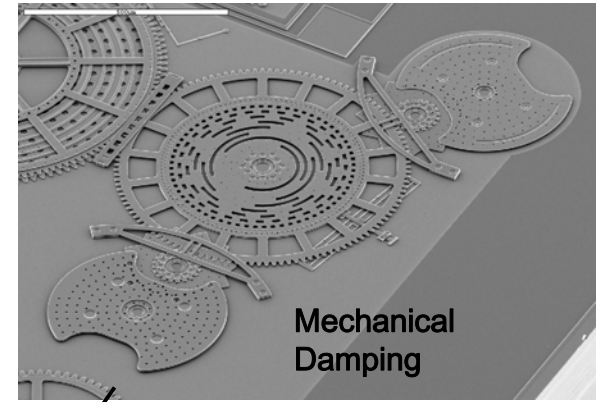
Idler Gear with Binary Gray Code



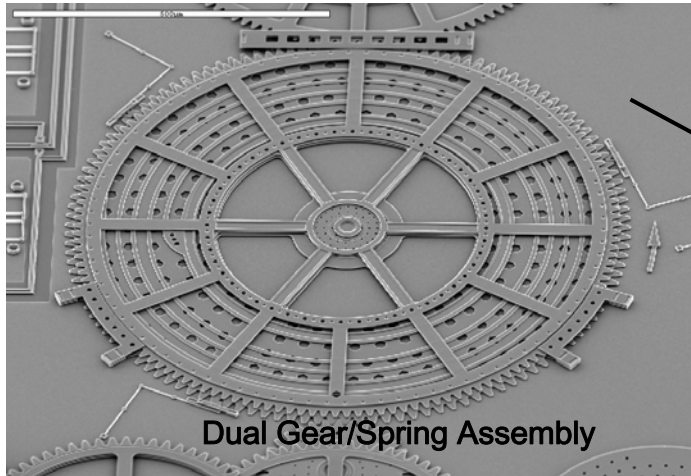
Start/Stop Mechanism



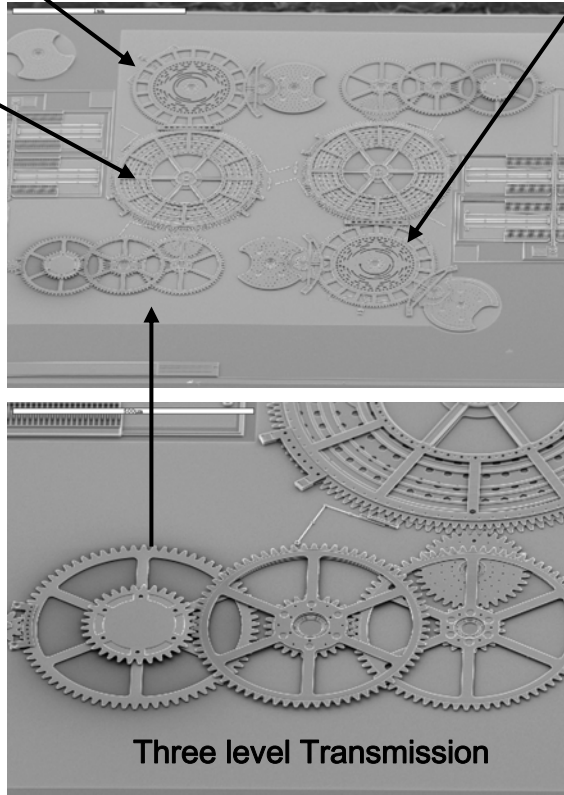
Mechanical Damping



Dual Gear/Spring Assembly



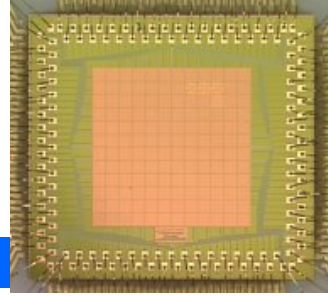
Three level Transmission



**SMM Micro Timer  
Fabricated in  
SUMMiT V  
Process**



# Asuntos importantes



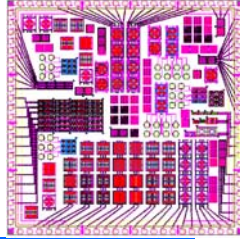
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- ¿Qué necesitamos para llegar a productos de Micro Nano Tecnología?
  - Impedimentos al desarrollo
    - La inmadurez de la tecnología
    - La incertidumbre sobre la confiabilidad de la tecnología
    - La falta de herramientas para analizar y pronosticar tales sistemas
  - Necesitamos inversiones en la infraestructura (instalaciones, capacidades), la educación, y en investigaciones básicas y aplicadas
  - También una identificación y conocimiento de las necesidades de la industria





# Cambios en nuestro laboratorio



Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Hemos reconocido que los métodos que usamos para desarrollar micro y nano sistemas no son suficientes para realizar productos que satisfacen los requisitos de nuestros clientes
  - El problema

- **Vivimos en el mundo empírico**

- Nuestros métodos para desarrollar sistemas están basados en la experimentación
- Nos faltan herramientas para analizar y pronosticar las respuestas de sistemas



# Cambios en nuestro laboratorio

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Los sistemas han evolucionado a la complejidad hasta que no podemos experimentar con tales sistemas económicamente
- El método de desarrollar productos por experimentación es obsoleto y no competitivo
- El empirismo ha disminuido la velocidad de nuestras avances

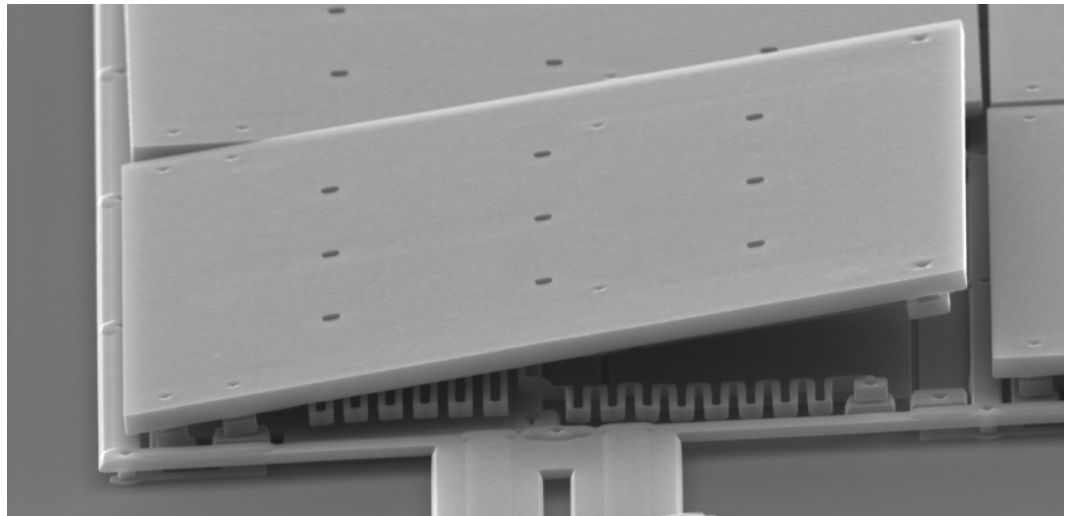
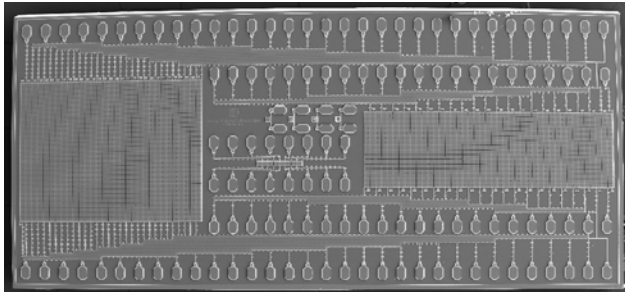
¿Qué haremos?



# ¿Dónde estamos y donde vamos?

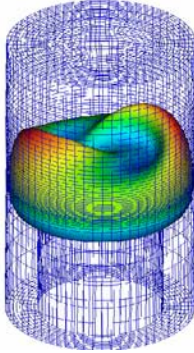
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Actualmente estamos en un sendero incremental
- Buscamos un sendero revolucionario para tratar con la complejidad de los sistemas de hoy
- ¿Pero cómo?





# ¿Cómo alcanzaremos?



Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Por avances computacionales enlazados con un verdadero entendimiento del subyacente física
- Con esos lazos es posible que revolucionen nuestras capacidades
  - Este método hemos nombrado

## Science-Based Engineering\*

- avances computacionales ← vinculados con → verdadero entendimiento

\*Ingeniería Basada-en-Ciencia

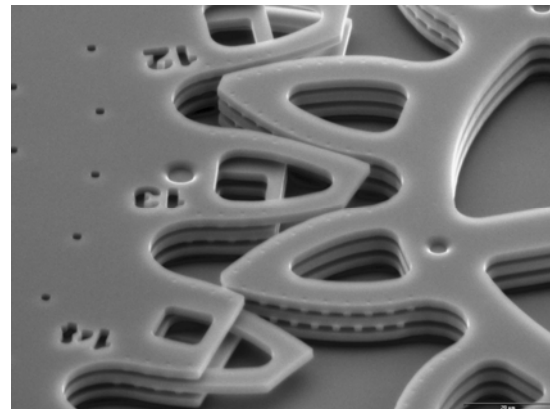
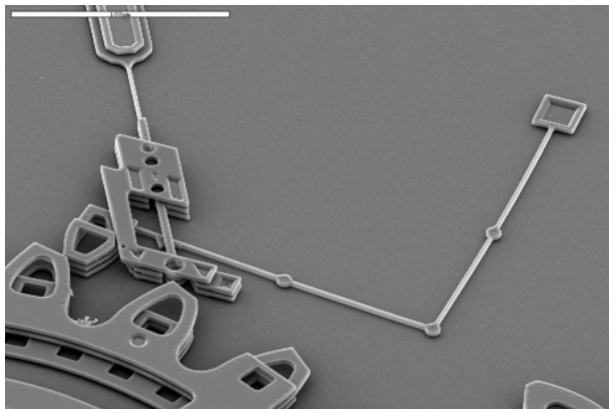


# ***El nuevo ciclo de realización de productos***

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Science-Based Engineering\* se integra el conocimiento científica con experimentación y simulaciones válidas para crear un proceso flexible y rápido para realizar productos

\*Ingeniería Basada-en-Ciencia



# Science-Based Engineering

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- El énfasis es hacia el uso de nuevas capacidades de predicción y simulación
  - Capacidades de predicción y simulación basadas en la subyacente ciencia y verificados por experimentación
- Usaremos tales capacidades **para diseñar y verificar** que los productos satisfacen los requisitos a través de los ambientes y vidas especificadas, con un mínimo de experimentación





# El futuro

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Diseñar un nano o micro sistema y comprobar el rendimiento antes de fabricarlo
  - Responde en todo ambiente
  - Desempeño después de años
  - La confiabilidad
- Será posible por los avances con las supercomputadores, la física y la ciencia de experimentación



# Actualmente

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Tenemos intereses en la colaboración
  - Obtener acceso a pericia que nos falta
  - Para ampliar nuestros esfuerzos
  - Reforzar áreas de investigación
  - Trabajar juntos en proyectos de interés mutuos
    - Por ejemplo con el Laboratorio Binacional Sustentable (BNSL)
    - Hablando de un proyecto de confiabilidad con CANEUS (Canadá, Europa, EU, Asia para promover aplicaciones de MNT en aeroespacial)



# Reconocimientos

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Gracias a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez especialmente nuestro amigo  
—José Mireles
- Gracias a mis colaboradores de Sandia

Sandia es un laboratorio dedicado a múltiples programas administrado por Sandia Corporation, una empresa de Lockheed Martin, para la Administración Nacional de Seguridad Nuclear del Departamento de Energía de los Estados Unidos de acuerdo al contrato DE-AC04-94AL85000. SAND -2005-6648P

