

Programa de MEMS en los Laboratorios Nacionales Sandia

Ernest J. García

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

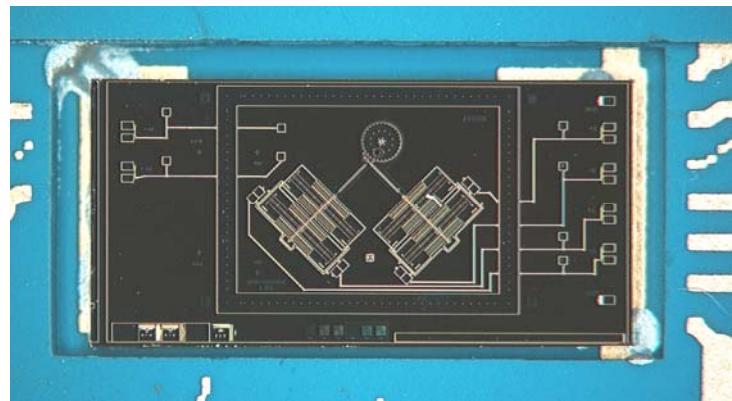
Presentación para la facultad de ingeniería de UACJ, Juárez, México

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
- Reinención de la ingeniería para el desarrollo de MEMS

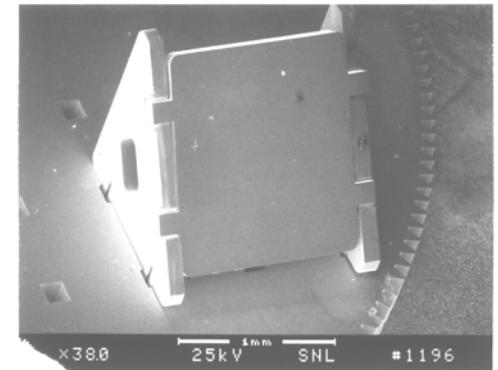


Sandia National Laboratories

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



Sandia National Laboratories

Varias instalaciones distribuidas en EU

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



Albuquerque,
Nuevo México



Instalación de pruebas de
Kauai, Hawaii



Yucca Mountain,
Nevada



WIPP, Nuevo México



Campo de pruebas de
Tonopah, Nevada



Livermore, California



Pantex, Texas



Sandia National Laboratories

Propósito principal

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



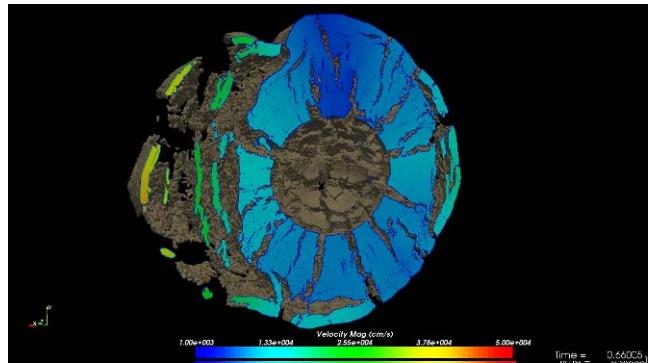
- Ayudar a que nuestro país logre un mundo de paz y libertad por medio de la tecnología.
- Seguir como el primer laboratorio al que acuda Estados Unidos para obtener soluciones tecnológicas para los problemas que amenazan la paz y la libertad de nuestro país y del mundo.



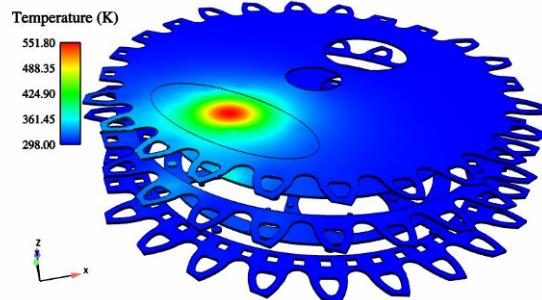
Sandia National Laboratories

Nuestro misión se basa firmemente en la ciencia y la ingeniería

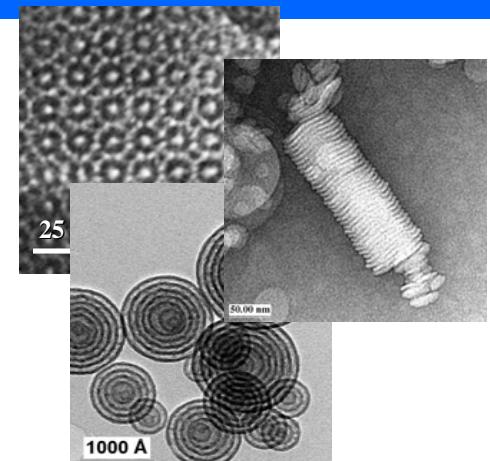
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



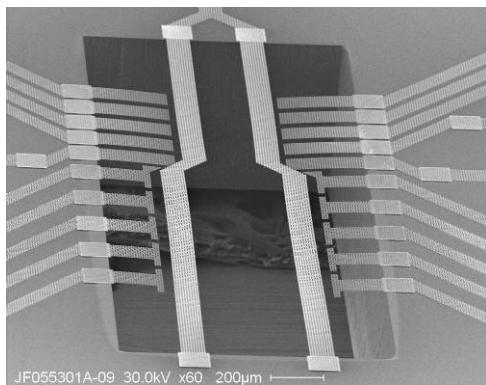
Ciencias computacionales
y de la información



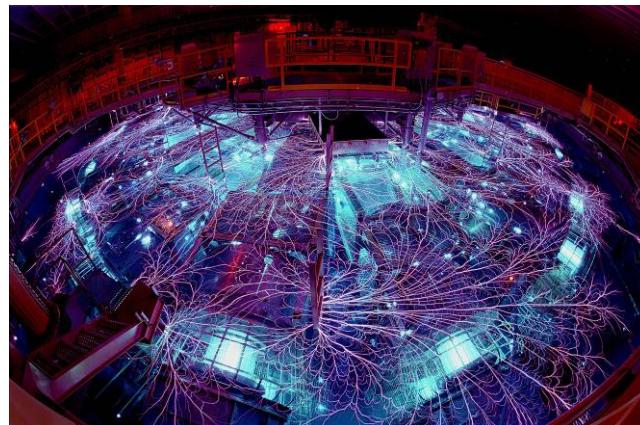
Ciencias de ingeniería



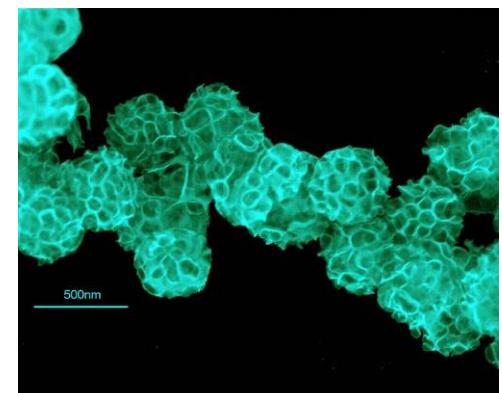
Ciencia de materiales y
tecnología



Microelectrónica
y fotónica



Potencia pulsada

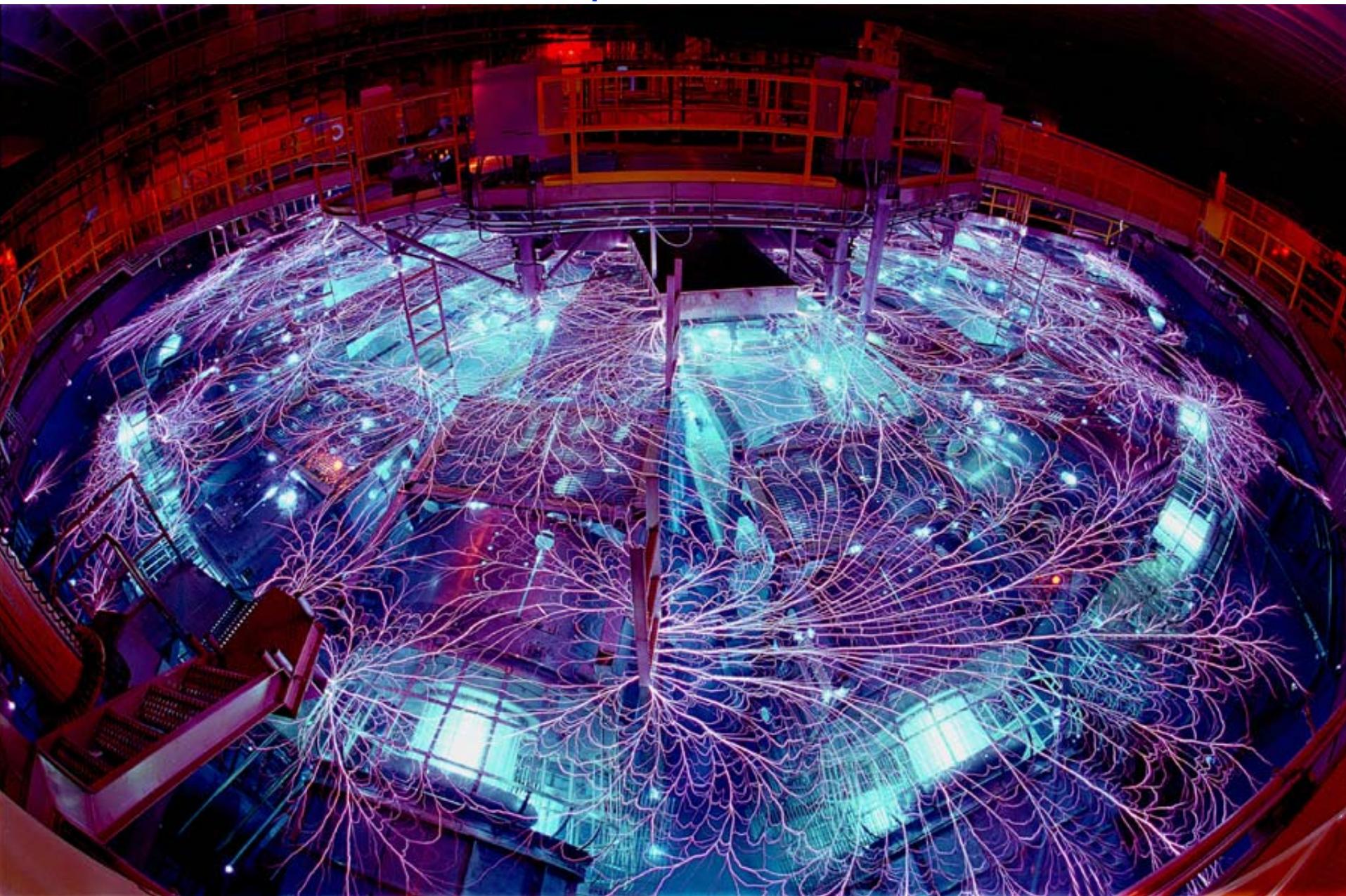


Biotecnología



Sandia National Laboratories

Potencia pulsada Z-Machine

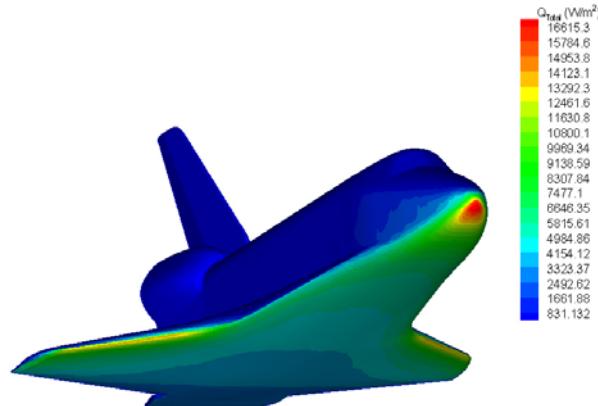


Sandia National Laboratories

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 sinergicamente



Sandia National Laboratories

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



Sandia National Laboratories

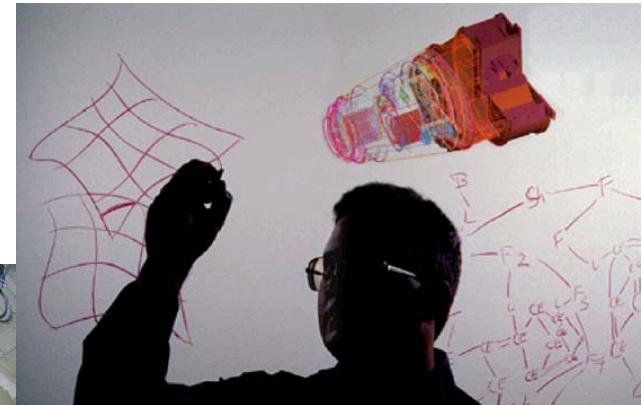
Computación avanzada

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

- Revolucionando como funcionan las computadoras
- Computación masivamente paralela
- Avances teóricos en solución de problemas
- Simulaciones de alta fidelidad



Red Storm
40 teraflops



**Solucionando problemas
que antes eran
intratables**

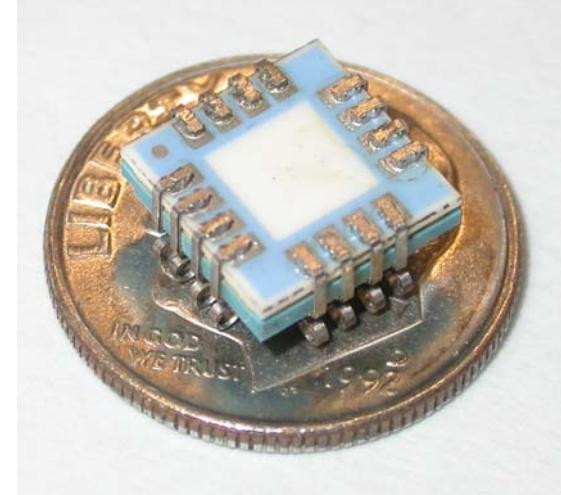
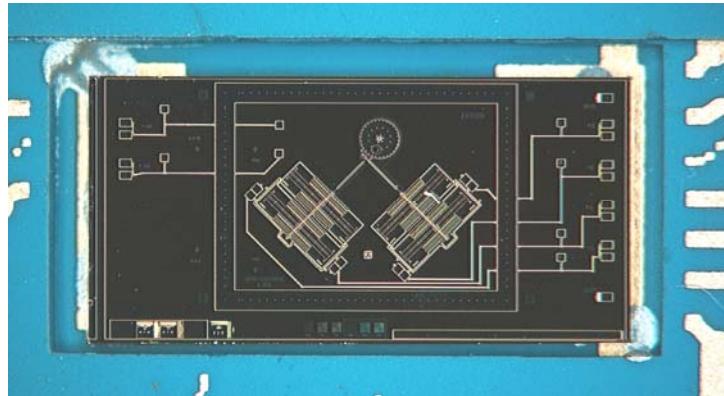


Sandia National Laboratories

Nuestro interés en micro y nano tecnología

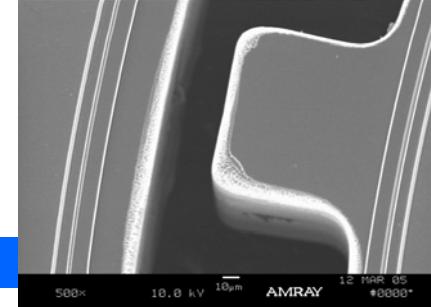
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

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



Sandia National Laboratories

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**

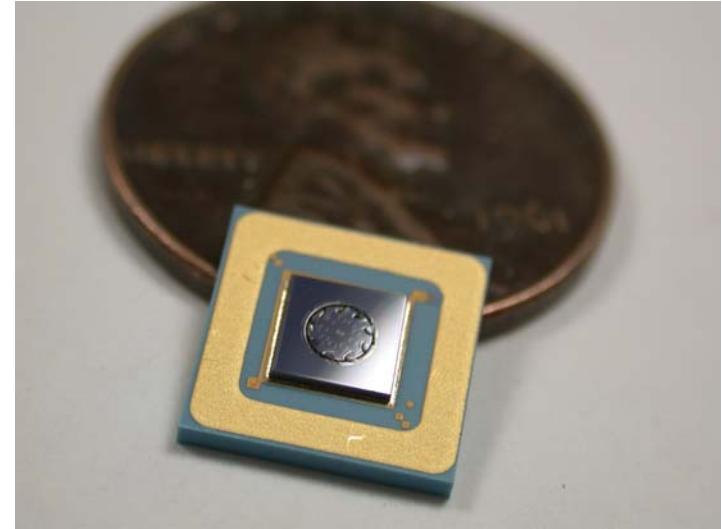


Sandia National Laboratories

El reconocimiento del potencial

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

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



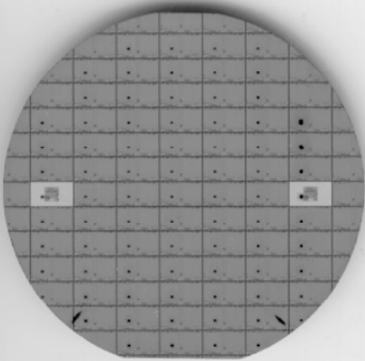
Sandia National Laboratories

En realidad hemos desarrollado micro tecnologías por más de 40 años

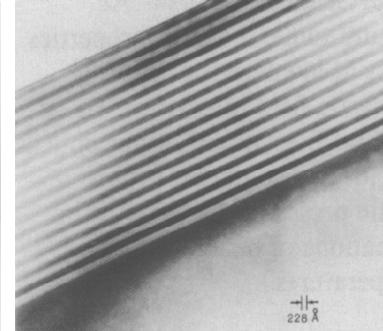
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



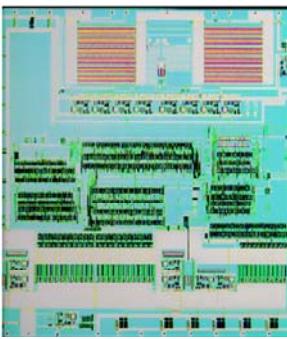
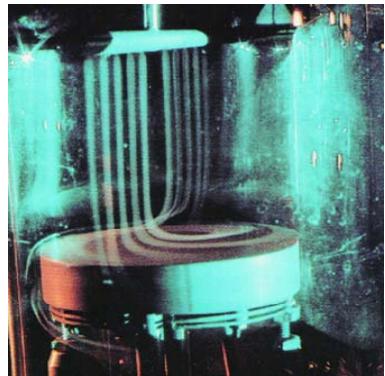
Laminar Flow Cleanroom, 1963



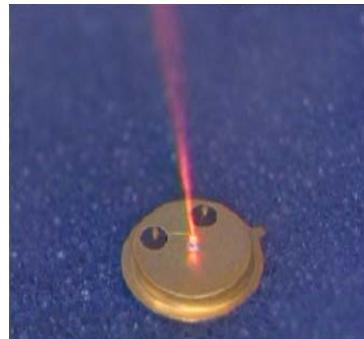
Radiation-hardened CMOS,
1975



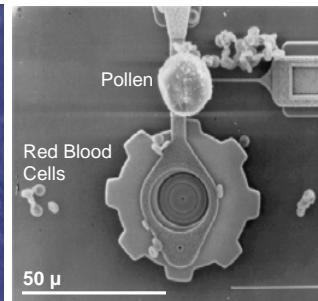
Strained-layer
Semiconductors, 1981



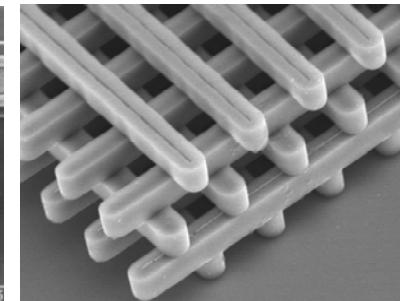
Semiconductor
equipment
partnerships, 1989



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



Sandia National Laboratories

Microsystems & Engineering Sciences Applications

12.000 m²

Microsystems
Laboratory
Building



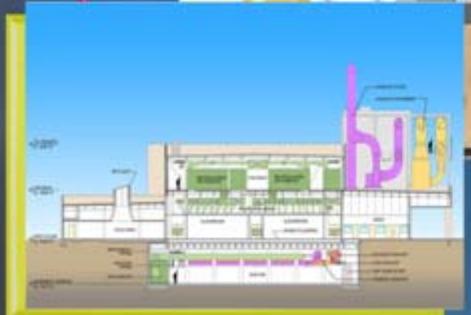
15.000 m²

Work
Integration
Facility



Microsystems
Fabrication
Facility

9.000 m²



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-AC04-94AL850.



Center for Integrated Nanotechnologies (CINT)

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

National User Facility
(8400 m²)

**Microelectronics
Development Lab**



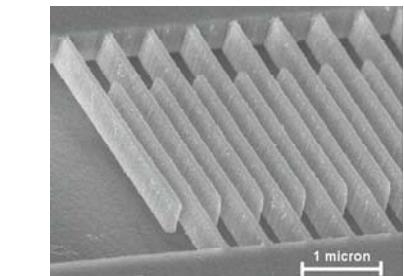
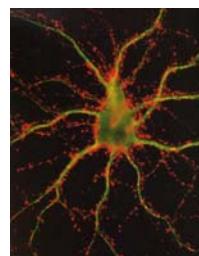
**Compound
Semiconductor
Research Lab**



Collaborators
Users
University
Industry

CINT
Core Facility

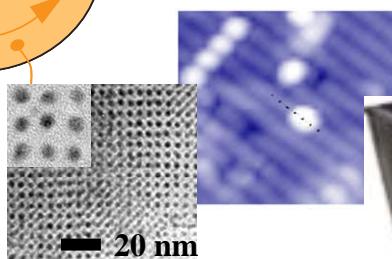
Biosciences



**National
High Magnetic
Field Lab**



**Gateway
to SNL**



**Gateway
to LANL**



**Los Alamos
Neutron Science
Center**



**Synthesis, Characterization,
& Theory**

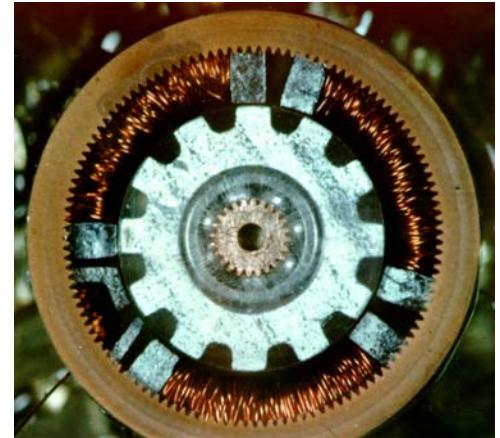


Sandia National Laboratories

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

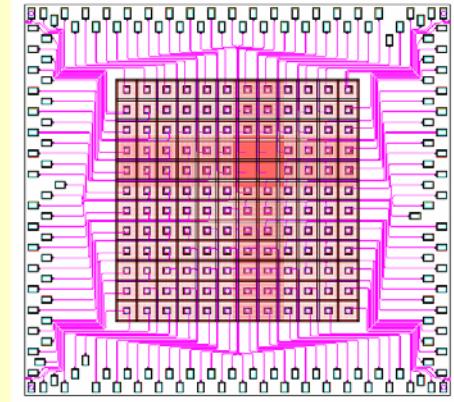


Sandia National Laboratories

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



Sandia National Laboratories

Competencia de diseño de MEMS

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

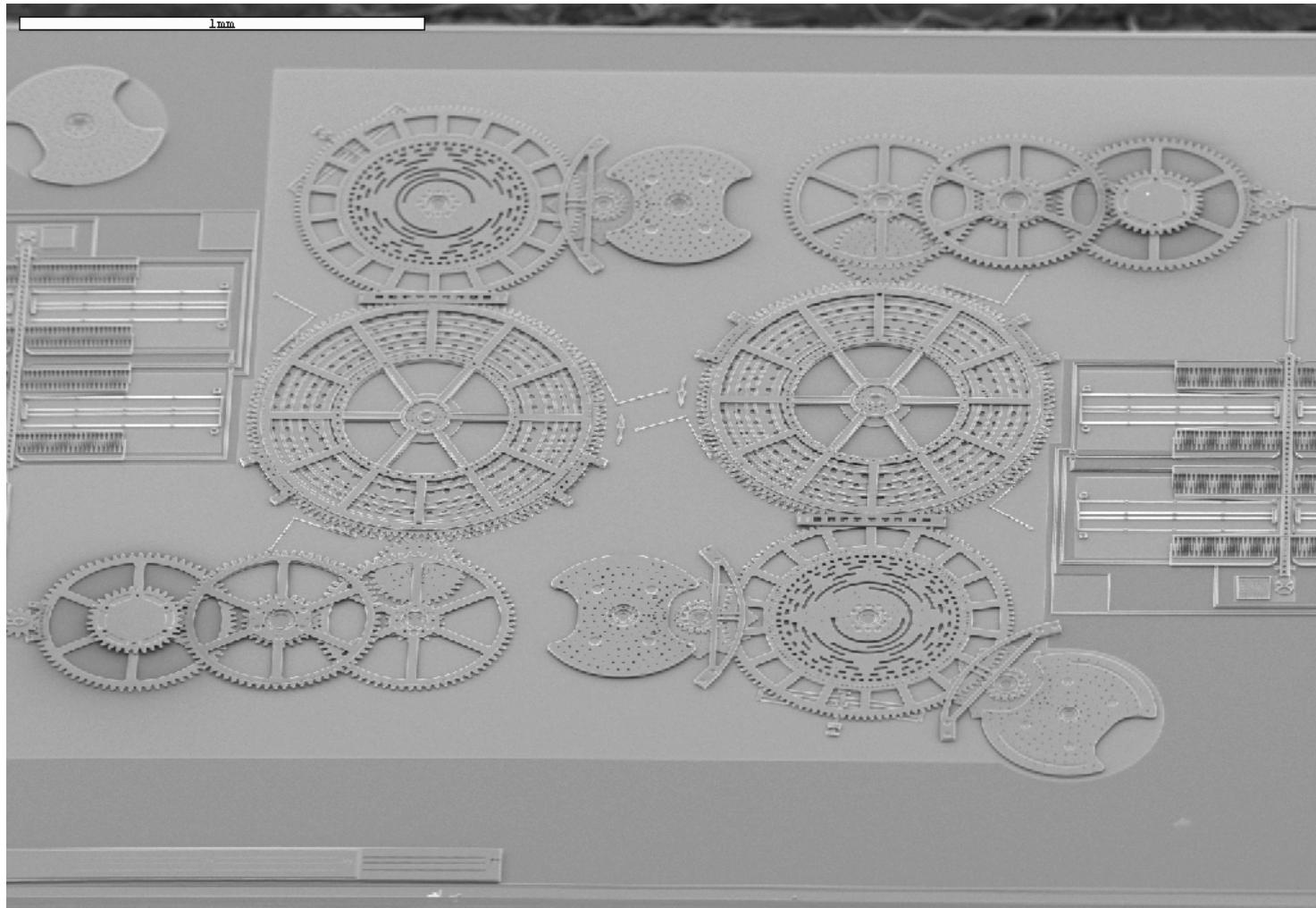
- University Alliance
 - Competencia anual entre estudiantes de varias universidades
 - Texas Tech, Central NM CC, Oklahoma, Utah, Florida, UNC Charlotte en la competencia
 - Central NM CC ganó en la categoría de diseño
 - Texas Tech ganó en la categoría de caracterización
- La competencia es para atraer,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



Sandia National Laboratories

Un ejemplo de un temporizador

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

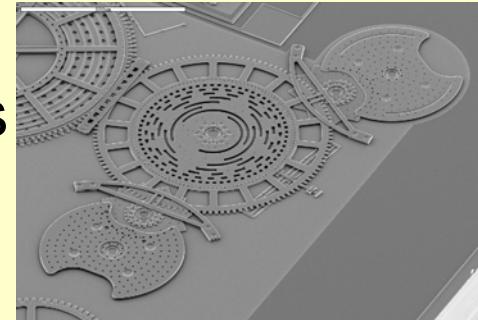


Sandia National Laboratories

Ejemplo típico de un micro mecanismo

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

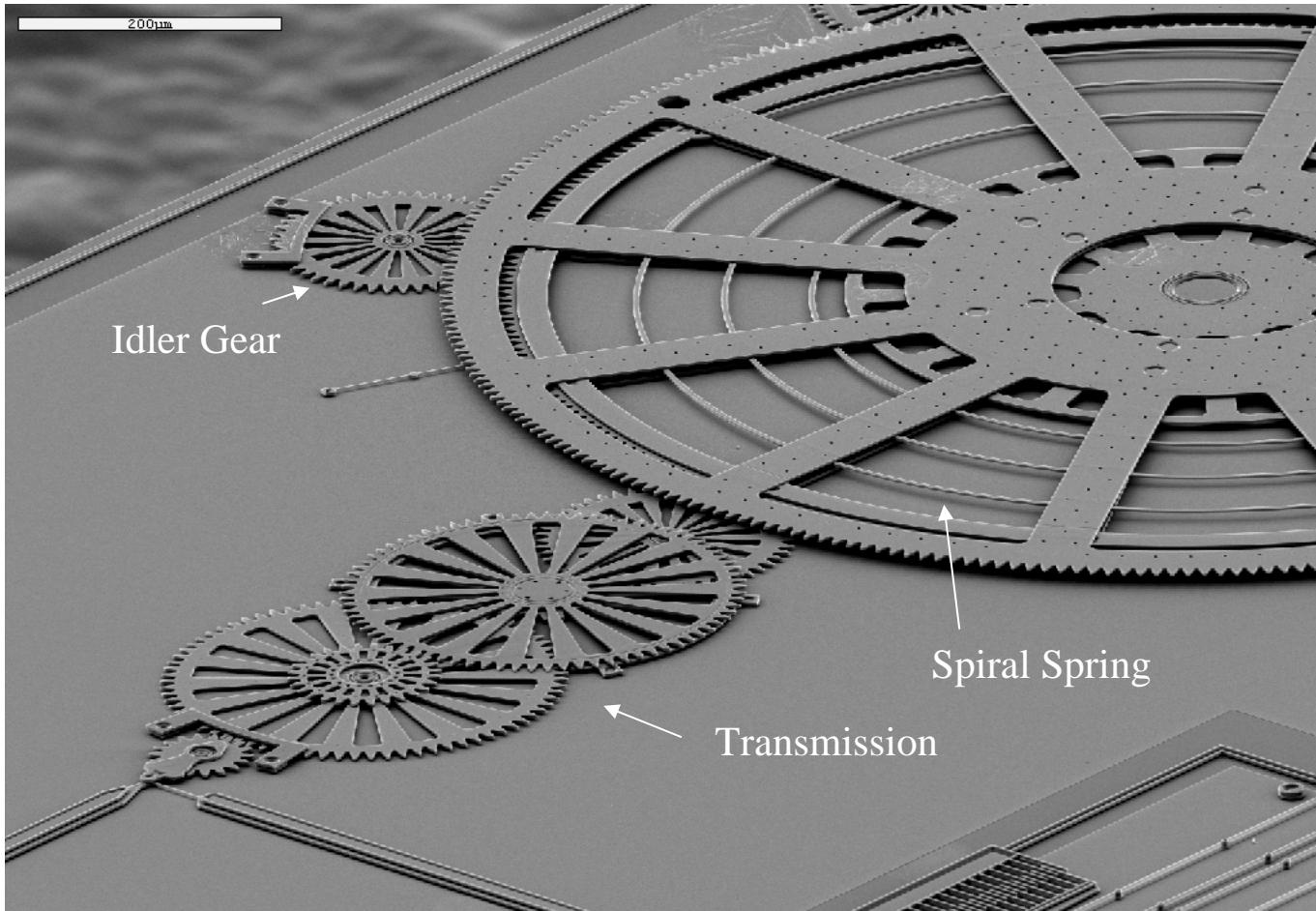
- El reto
 - Medir tiempo sin fuentes de energía constante
 - Proveer la capacidad de funcionar en ambientes extremos como espacio
 - Funcionar después de muchos años
 - Demostrar alta confiabilidad
 - Exhibir alta precisión
 - Acabar el desarrollo con un aparato factible y económico



Sandia National Laboratories

Elementos de un temporizador

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

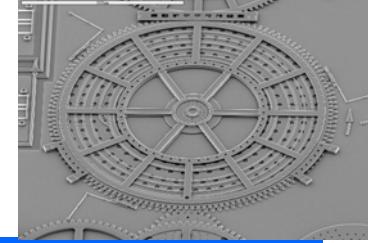


M. A. Polosky, E. J. Garcia, D. W. Plummer, U.S. Patent No. 6,307,815, "Surface Micromachined Mechanical Timer," October 23, 2001.



Sandia National Laboratories

Elementos de un temporizador



Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

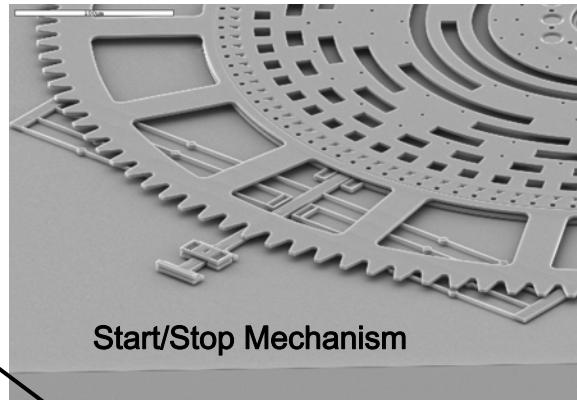
- Funciona como un reloj mecánico
 - Necesitamos un método para almacenar energía
 - Resortes para almacenar energía elástica
 - Necesitamos un método para aportar energía
 - Micro motores como el Micro Ingenio
 - Necesitamos un método para disipar la energía
 - Si pudiéramos controlar el flujo de la 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



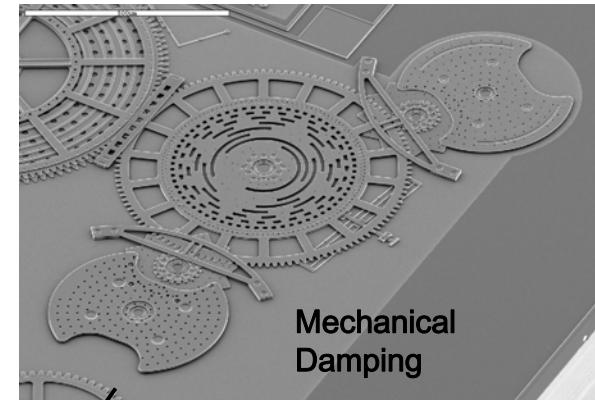
Sandia National Laboratories



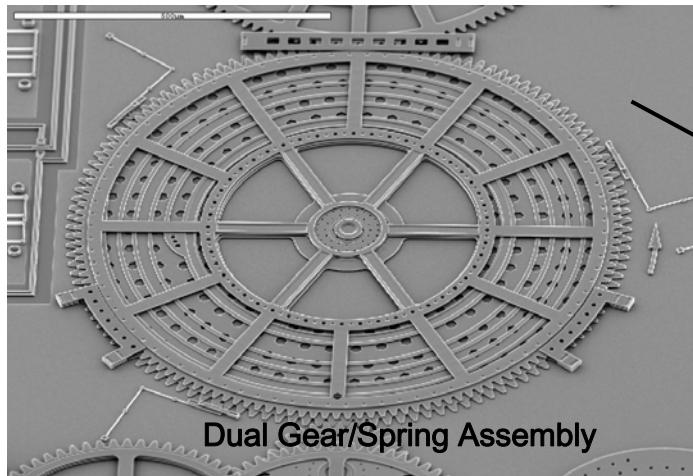
Idler Gear with Binary Gray Code



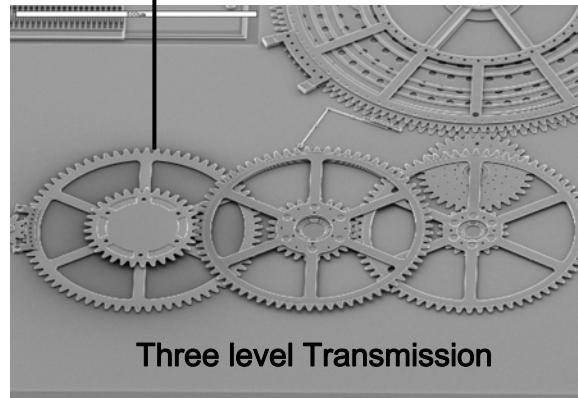
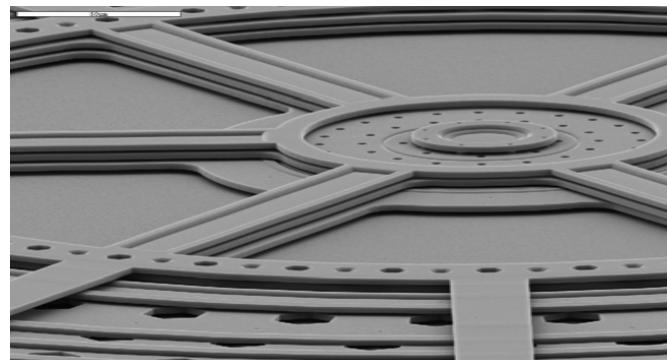
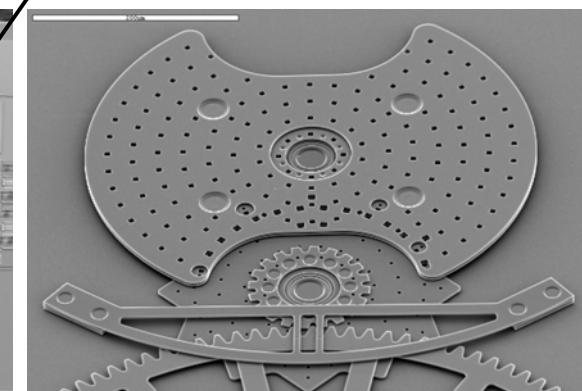
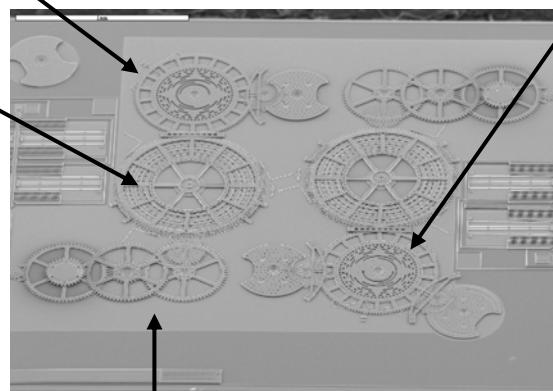
Start/Stop Mechanism



Mechanical Damping



Dual Gear/Spring Assembly



Three level Transmission

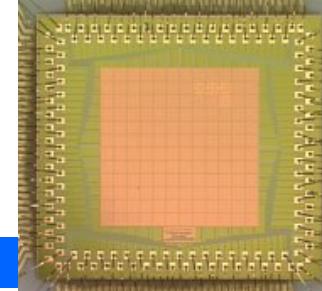
SMM Micro Timer
Fabricated in
SUMMiT V
Process



Sandia National Laboratories

Asuntos importantes

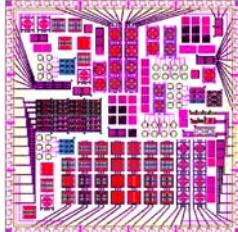
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



- ¿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



Sandia National Laboratories



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**



Sandia National Laboratories

Cambios en nuestro laboratorio

Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

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

¿Qué haremos?

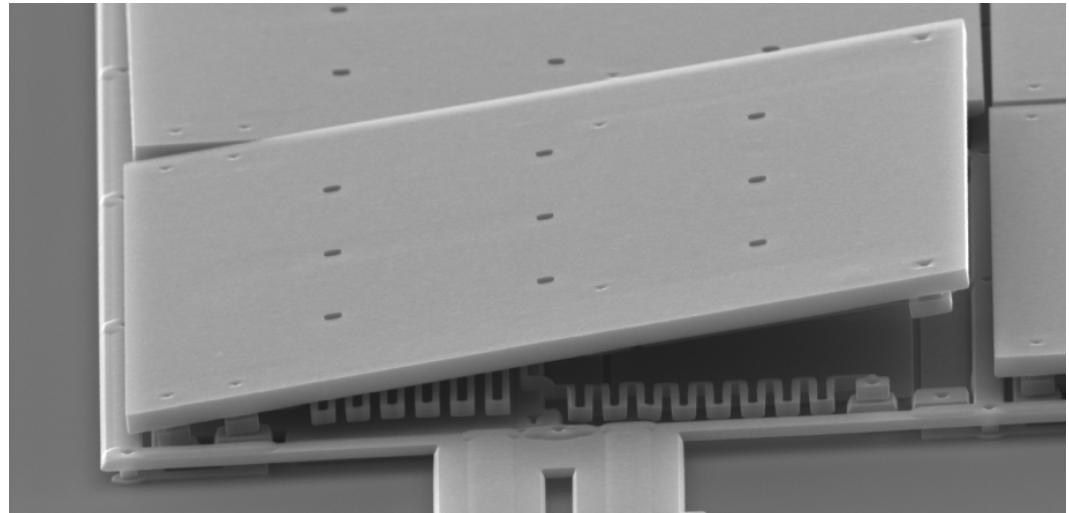
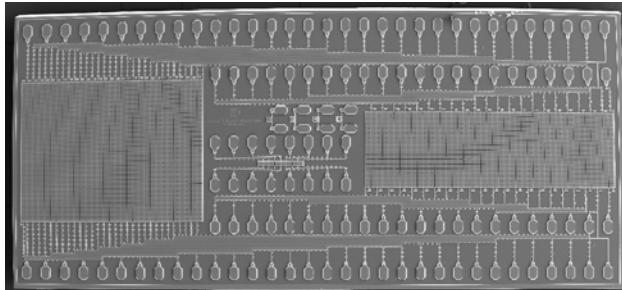


Sandia National Laboratories

¿Dónde estamos y donde vamos?

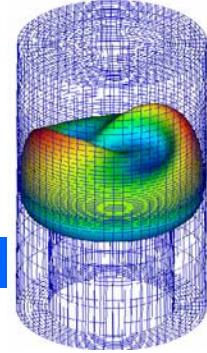
Visita a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

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



Sandia National Laboratories

¿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



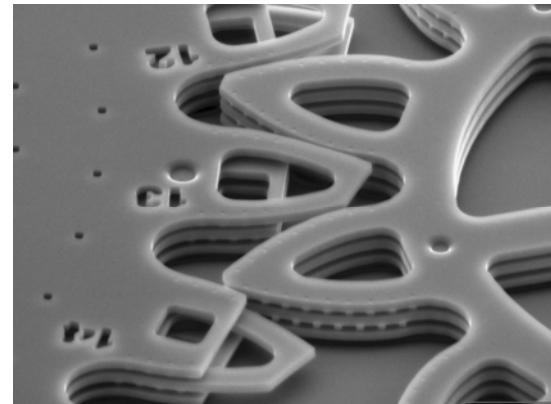
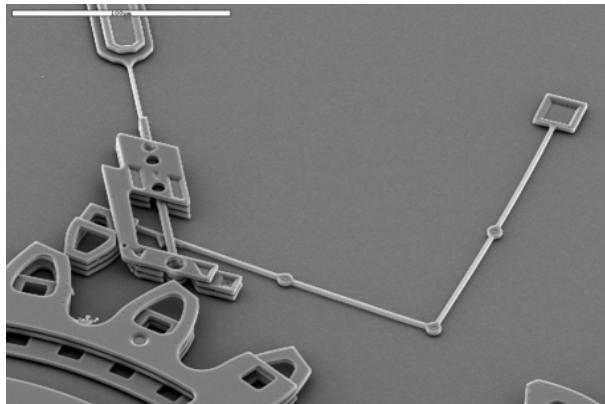
Sandia National Laboratories

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



Sandia National Laboratories

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**



Sandia National Laboratories

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



Sandia National Laboratories

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)



Sandia National Laboratories

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



Sandia National Laboratories