



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad Politécnica

**CONVOCATORIA PARA PRESENTACIÓN DE
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
2025**

FORMULARIO DE PRESENTACIÓN

PERFIL DEL PROYECTO

1. Título del Proyecto. Investigador/a Principal y Coinvestigadores

Título: *Análisis de dislocaciones en silicio cristalino mediante la línea de luz Carnaúba*

Investigador/a Principal: Fernando Gabriel Benítez Jara

Coinvestigador 1: Matías Eduardo González Ozuna

2. Resumen del proyecto

El presente anteproyecto propone emplear técnicas avanzadas de imagenología de alta resolución para caracterizar dislocaciones en silicio monocristalino. Se utilizará la línea de luz Carnaúba del Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (LNLS). Mediante la combinación de pictografía de rayos X, se mapearán tridimensionalmente las dislocaciones del cristal sin destruir la muestra. Estas técnicas no destructivas brindan información detallada sobre la red cristalina y permiten visualizar defectos internos que afectan el desempeño de dispositivos semiconductores.

El estudio se enfocará en analizar la distribución y orientación de las dislocaciones en silicio electrónico de alta pureza, correlacionándolas con parámetros de procesamiento como crecimiento epitaxial o dopaje. Se obtendrán imágenes volumétricas de las dislocaciones y se evaluarán patrones orientacionales característicos. Esta investigación contribuirá a optimizar los procesos industriales en la fabricación de semiconductores al identificar defectos críticos. Se prevé que los resultados generen conocimiento aplicable a la mejora de la calidad del silicio para aplicaciones microelectrónicas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

Palabras clave: **Silicio cristalino; dislocaciones; topografía; línea de luz Carnaúba; difracción de rayos X.**

3. Equipo de investigadores

Nombre	Formación / grado académico	Sede/Grupo de Investigación/Carrera	Función y actividad en el proyecto
Fernando Gabriel Benitez Jara	Phd	Ensayos Materiales Metálicos (GEMM)	Investigador
Matías Eduardo González Ozuna	Estudiante	Ensayos Materiales Metálicos (GEMM)	Pasante/ científica Iniciación

4. Área y especialidad de la propuesta

Área: Ciencias Naturales. Especialidad: Ciencia de Materiales (según Manual de Frascati). Este proyecto se alinea con las políticas nacionales de ciencia y tecnología (CONACYT) y con el Plan Nacional de Desarrollo 2030. Contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), pues busca optimizar procesos industriales en la industria de semiconductores mediante la mejora de la calidad del silicio cristalino.

5. Objetivos del proyecto

Objetivo general: Analizar la distribución y orientación de dislocaciones en silicio monocristalino mediante técnicas no destructivas de imagenología y difracción de rayos X.

Objetivos específicos:

- Caracterizar la topografía superficial de muestras de silicio mediante microscopía de rayos X (topografía de rayos X) para identificar la presencia de dislocaciones superficiales.
- Determinar patrones de orientación de las dislocaciones en el volumen de las muestras mediante técnicas de difracción de rayos X

6. Resultados esperados y los medios para verificarlos



1. **Mapa tridimensional de dislocaciones en silicio cristalino.**
Medios de verificación: Reconstrucción volumétrica de datos de DCT y topografía, demostrando la localización espacial de dislocaciones. Validación mediante comparación con imágenes de topografía superficial convencional.
2. **Correlación entre defectos cristalinos y parámetros de procesamiento.**
Medios de verificación: Análisis estadístico de la densidad y orientación de dislocaciones frente a variables de crecimiento o dopaje. Informe técnico que muestre correlaciones cuantitativas y cualitativas entre defectos y condiciones de fabricación.

7. Antecedentes y Justificación

La presencia de dislocaciones en el silicio monocristalino afecta negativamente la movilidad de portadores y la fiabilidad de dispositivos microelectrónicos (Li et al., 2022). Estudios recientes han demostrado que las técnicas de imagen basadas en rayos X, como la microscopia electronica con rayos X de alta resolución, son efectivas para visualizar defectos cristalinos en semiconductores (Mamadlimov et al., 2024). La pticografía de rayos X ha emergido como una técnica poderosa para la caracterización tridimensional de materiales cristalinos (Hruszkewycz et al., 2017). Sin embargo, su aplicación al silicio monocristalino electrónico es todavía incipiente. Existen trabajos recientes que correlacionan la concentración de dislocaciones con el rendimiento de celdas solares de silicio (Wang et al., 2024), lo que evidencia la importancia de optimizar la calidad cristalina para dispositivos semiconductores. Dado que los procesos industriales de fabricación de semiconductores requieren altos grados de pureza y uniformidad, es crucial desarrollar métodos no destructivos de alta resolución para la caracterización interna del material. Esta propuesta se justifica en la necesidad de mejorar el conocimiento de los defectos cristalinos en silicio y su impacto en aplicaciones microelectrónicas, aportando información clave para la optimización de procesos de manufactura.

8. Materiales y Métodos

Se empleará la línea de luz Carnaúba del LNLS, especializada en técnicas de difracción de rayos X y pticografía de alta resolución. Las muestras será silicio comercial (alta pureza y bajo nivel de impurezas). Se realizarán mediciones de difracción de rayos X para determinar la orientación cristalina local, aplicando la técnica de pticografía de rayos x para obtener imágenes volumétricas de la estructura de dislocaciones. El equipo incluirá detectores de alta resolución y giróscopos goniométricos para ajustar la muestra. Los datos recolectados serán procesados con software especializado (por ejemplo, PyFAI) para reconstruir los mapas 3D de difracción y generar la visualización de dislocaciones. Se tomarán múltiples ángulos de incidencia para garantizar la



cobertura volumétrica completa. Finalmente, se analizarán estadísticamente los patrones de defectos obtenidos y se correlacionarán con los parámetros de procesamiento de las muestras.

9. Relevancia de la propuesta

La propuesta aportará un avance significativo en el área de ciencia de materiales al proporcionar una metodología no destructiva para caracterizar defectos en silicio con detalle sin precedentes. Esto permitirá optimizar los procesos de fabricación de semiconductores, reduciendo rechazos por defectos cristalinos. La información detallada de la distribución de dislocaciones contribuirá a mejorar la calidad de obleas de silicio, factor clave para la industria microelectrónica. En línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura), el proyecto favorece la innovación tecnológica en la región. Además, fortalece las capacidades científicas nacionales en técnicas de difracción avanzadas y promueve colaboraciones internacionales (PNUD, 2021).

10. Plan del trabajo

Tiempo de duración en meses: 7

Inicio del proyecto: 2025

Finalización del proyecto: 2026

Resultado esperado	Actividades principales	Indicadores de éxito	Medios de Verificación	Supuestos/ imponderables	Tiempo de ejecución (semana N°)
1. Mapas 3D de dislocaciones en silicio	- Preparación y corte de muestras.- Calibración de equipo en Carnaúba.- Realización de experimentos DCT y topografía de RX.- Reconstrucción de datos con PyFAI.	Mapas tridimensionales obtenidos con éxito.	Validación con imágenes topográficas convencionales	Disponibilidad de turnos en Carnaúba; funcionamiento de equipos	1–2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

2. Correlación de defectos con parámetros de procesamiento del silicio	- Análisis de la densidad y orientación de dislocaciones. - Comparación con datos de crecimiento o dopaje.- Redacción del informe final.	Identificación de correlaciones cuantitativas.	Gráficas y estadísticas que muestren relaciones defectos-proceso.	Acceso a historial de procesamiento; calidad de los datos.	3–5

11. Presupuesto

	Descripción del bien o servicio	Especificaciones básicas	Actividad	Subtotal Guaraníes
1	Acceso a línea de luz Carnaúba (beamtime en LNLS)	Horas de difracción y topografía de rayos X	Experimentos en LNLS	8.000.000
2	Muestras de silicio monocristalino grado electrónico	Obleas de silicio ultrapuro de 100 mm de diámetro	Preparación y caracterización	500.000
3	Software de análisis (PyFAI y herramientas afines)	Licencia y soporte técnico	Procesamiento de datos	500.000
4	Transporte de muestras	Envío seguro de obleas a Brasil y retorno	Logística	1.000.000
	Total			10.000.000

12. Estrategia de comunicación



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Los resultados se difundirán mediante publicaciones científicas indexadas y presentaciones en congresos internacionales. Se planea someter artículos a revistas como *Journal of Applied Crystallography* y *Materials Characterization*, además de participar en conferencias de física de materiales y tecnología de semiconductores. Los datos generados también podrán compartirse en repositorios académicos para fomentar la colaboración científica y el cumplimiento de buenas prácticas de investigación.

13. Referencias bibliográficas

Li, J., Yang, G., Liu, X., Luo, H., Xu, L., Zhang, Y., Cui, C., Pi, X., Yang, D., & Wang, R. (2022). Dislocations in 4H silicon carbide. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 55.

Mamadalimov, A.T., Isaev, M.S., Mamatkulov, M.N., Kodirov, S., & Abdurazzokov, J.T. (2024). Study of Silicide Formation in Large Diameter Monocrystalline Silicon. *East European Journal of Physics*.

Wang, L., Liu, J., Li, Y., Wei, G., Li, Q., Fan, Z., ... & He, D. (2024). Dislocations in crystalline silicon solar cells. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 5(2), 2300240.

Hruszkewycz, S. O., Allain, M., Holt, M. V., Murray, C. E., Holt, J. R., Fuoss, P. H., & Chamard, V. (2017). High-resolution three-dimensional structural microscopy by single-angle Bragg ptychography. *Nature materials*, 16(2), 244-251.