

Memoria de proyectos de innovación y buenas prácticas docentes

A. Datos generales del proyecto de innovación y buenas prácticas docentes

Título	Fabricación simplificada y caracterización de dispositivos electrónicos esenciales		
Código	20-62	Fecha de Realización:	2020-201
Coordinación	Apellidos	Navarro Moral	
	Nombre	Carlos	
Tipología	Tipología de proyecto	Básicos Fase 1	
	Rama del Conocimiento	Nano electrónica	
	Línea de innovación	Dimensión 1. Diseño, organización, desarrollo y evaluación de la docencia.	

B. Objetivo Principal

Este proyecto tiene como principal objetivo dotar de material didáctico original al profesorado y al alumnado acerca de la fabricación de dispositivos electrónicos esenciales de forma simplificada en la sala blanca y su caracterización en el laboratorio de nano electrónica. La idea no es tanto obtener dispositivos de calidad sino conseguir dispositivos funcionales empleando el menor número de etapas posible y con el menor grado de complejidad de cara a una mejor comprensión por parte del alumnado.

Se pretende por tanto:

- Acercar la tecnología de fabricación de dispositivos electrónicos esenciales al estudiantado de una forma simplificada.
- Reforzar los conocimientos del alumnado en relación a los dispositivos electrónicos desde un punto de vista práctico.
- Facilitar la comprensión de conceptos básicos de los dispositivos electrónicos a nivel teórico y práctico.
- Profundizar en los parámetros característicos de los dispositivos electrónicos a través de su caracterización.

C. Descripción del proyecto de innovación y buenas prácticas docentes

Resumen del proyecto realizado: Objetivos, metodología, logros alcanzados, aplicación práctica a la docencia habitual, etc.

Objetivos del proyecto

- Dotar al profesorado de competencias y recursos en cuanto a la fabricación de dispositivos electrónicos esenciales y su posterior caracterización con ejemplos reales desarrollados gracias a las instalaciones disponibles en la Universidad de Granada para mejorar la comprensión del alumnado.
- Desarrollar y optimizar técnicas y métodos de fabricación de cara a su posible implementación en futuros proyectos o actividades docentes o de investigación.

Dispositivo seleccionado

El dispositivo base de estudio para esta proyecto piloto ha sido el dispositivo semiconductor fundamental, la unión PN o diodo rectificador. Se ha desarrollado empleando silicio como material principal puesto que este elemento es el utilizado en la inmensa mayoría de ocasiones para la fabricación de dispositivos electrónicos.

Metodología

La metodología para la fabricación de los dispositivos semiconductores con los que poder ilustrar el proceso para el alumnado ha seguido ciclos de prueba-error para calibrar los distintos pasos y etapas así como los diferentes parámetros en cada una de ellas. Tras cada fabricación se ha verificado si el dispositivo mostraba las características eléctricas esperadas y, en caso de no hacerlo, se ha procedido a discutir entre los diferentes miembros participantes del proyecto los posibles fallos y/o las mejoras con las que lograr resolver el problema y alcanzar el objetivo.

Una vez que la fabricación ha concluido de forma satisfactoria se ha verificado que el dispositivo opera como diodo rectificador, siendo altamente selectivo con el paso de la corriente dependiendo de su sentido. Para lograr demostrar esto de forma inequívoca, dentro de la caracterización eléctrica se han corregido distintos fenómenos no deseados, principalmente la acción de las resistencias parásitas en la muestra debido a su tamaño y estructura.

El resultado final es un dispositivo que muestra selectividad en el sentido de la corriente y un crecimiento exponencial de la corriente para tensiones positivas, huellas claras de la presencia de un diodo rectificador.

Logros alcanzados

El hito más importante que se ha logrado a lo largo de este proyecto es la obtención de diodos rectificadores en silicio funcionales "made in UGR". Este proceso se ha documentado y se ha preparado un video con animaciones para que pueda ser comprendido más fácilmente. Asimismo se ha preparado material complementario como un test con preguntas acerca del video y una presentación con la receta seguida para la obtención de la unión PN.

Aplicación práctica a la docencia habitual

Se puede sacar provecho de este proyecto en la docencia habitual para reforzar conceptos de dispositivos electrónicos en circuitos o tecnologías de fabricación de dispositivos. El material generado puede ser utilizado como introducción a la materia, material complementario accesible en alguna plataforma como Prado o actividades para su entrega y evaluación. Respecto a este último punto, la evaluación de la comprensión de los conceptos y técnicas empleadas en el proyecto puede llevarse a cabo haciendo uso del cuestionario ya generado a lo largo del proyecto.

Aplicaciones futuras

Una vez verificada la viabilidad de fabricar dispositivos por parte de las instalaciones disponibles en el Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CITIC-UGR), se abre un gran abanico de posibilidades de cara a futuras aplicaciones del proyecto y procesos para complementarlo. Por ejemplo, se abre la posibilidad a fabricar otros dispositivos electrónicos (transistores MOS, BJT, diodos Schottky...) en sustratos de silicio o silicio sobre aislante (SoI). Todo esto pudiendo formar parte de proyectos de innovación docente, trabajos fin de máster, proyectos fin de carrera o incluso tesis doctorales.

Summary of the Project (In English):**Objectives**

- Provide teachers with skills and resources regarding the manufacture of essential electronic devices and their subsequent characterization. Use of real examples developed thanks to the facilities available at the University of Granada to improve student understanding.
- Develop and optimize fabrication techniques and methods to be used in future teaching or research activities.

Selected device

The studied device for this pilot project has been the fundamental semiconductor device, the PN junction or rectifier diode. It has been developed using Silicon since this element is the most commonly employed for the manufacture of electronic devices.

Project methodology

A trial-error cycle has been followed along the fabrication to achieve a functional device and illustrate students with the process. Parameters from each different fabrication stage, such as temperature or time to mention a few, have been calibrated until the device shows the expected operation.

Once the manufacture was satisfactorily completed, the device operation as a rectifier diode, being highly selective with the current sense, was verified. To do so, a detailed electrical characterization was performed to correct different parasitic elements induced mainly by unwanted resistances in the sample due to its size and structure.

The end result is a device that conducts electricity primarily in one direction with an exponential growth for positive voltages, clear traces of the presence of a rectifier diode.

Achieved goals and milestones

The most important milestone that has been achieved throughout this project is obtaining a functional silicon rectifier diode. This process has been documented and an animated video has been edited so that it can be more easily understood by students. Besides, other complementary material has also been prepared such as a test with questions about the video and a presentation with the recipe employed in the project to obtain the PN junction.

Application to regular teaching

In regular teaching, it is possible to take advantage of this project and reinforce concepts of electronic devices or device manufacturing technologies. The provided material can be used as an introduction to the subject, complementary material accessible on a platform such as Prado or activities for delivery and evaluation. Regarding this last point, the evaluation of the can be carried out using the test already generated throughout the project.

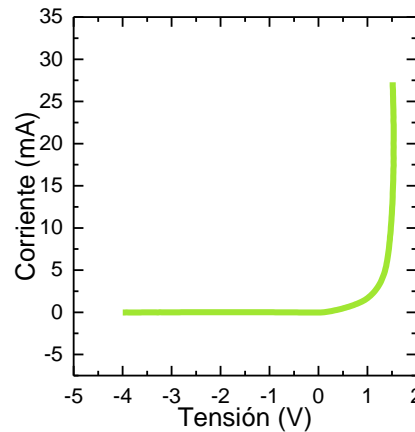
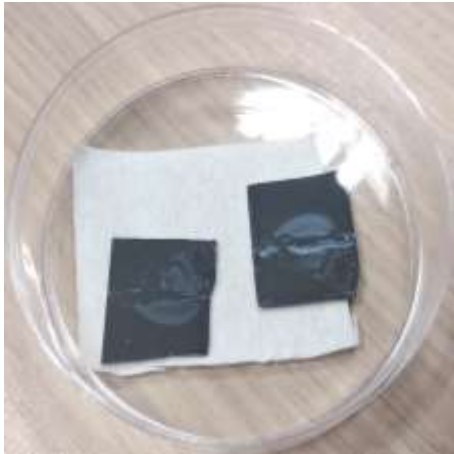
Future steps and applications

Once the feasibility of developing custom devices has been verified by the facilities available at the Information and Communication Technologies Research Center (CITIC-UGR), a wide range of possibilities opens up for future projects and applications. For example, fabricating other electronic devices (MOS transistors, BJTs, Schottky diodes ...); using the same Silicon or a different Silicon on insulator (SoI) substrates or the use of additional materials or doping species. All of this can be part of teaching innovation projects, master's final projects, final degree projects or even doctoral theses.

D. Resultados obtenidos

El resultado más destacable del proyecto es la obtención de dispositivos electrónicos funcionales.

La muestra fabricada como unión PN presenta en la corriente medida una clara asimetría atendiendo al sentido de esta. Este comportamiento es compatible con el dispositivo objeto del proyecto, el diodo rectificador. Además, una vez corregidos algunos efectos de resistencias parásitas debido a la estructura de la muestra, la corriente tiene un comportamiento exponencial propio de un diodo validando el resultado del proyecto.



Material docente generado

En este proyecto, además de los dispositivos generados, se ha desarrollado material adicional disponible para la docencia en caso de ser requerido. Además de la presente memoria final, este material incluye:

- Vídeo con imágenes reales del proceso de fabricación explicado de forma detallada (.mp4).
- Presentación esquemática de la fabricación y caracterización eléctrica de las muestras como diodo rectificador (.pdf).
- Cuestionario breve para la evaluación de conocimientos por parte del alumnado acerca de la fabricación y caracterización de uniones PN en silicio (.docx).

Results obtained (In English)

The most remarkable result of the project is the obtaining of functional electronic devices.

The fabricated sample shows an asymmetry in the measured current according to the flowing sense. This behavior is compatible with the goal of the project, the rectifier diode. In addition, once some parasitic resistance effects have been corrected due to the structure of the sample, the current has an exponential behavior typical of a diode, validating the project's result.

Generated teaching material

In this project, in addition to the devices generated, additional material available for teaching has been developed if required. In addition to this final report, this material includes:

- Video with real images of the manufacturing process (.mp4).
- Schematic presentation of the manufacture and electrical characterization of the samples as a rectifier diode (.pdf).
- Brief evaluation test about the manufacture and characterization of PN junctions in silicon (.docx).

E. Difusión y aplicación del proyecto a otras áreas de conocimiento y universidades

Aunque el proyecto tiene claramente una orientación hacia la electrónica y la tecnología de dispositivos electrónicos, las tareas llevadas a cabo pueden ser de interés o complementar materias en otras áreas de docencia o especialidades como por ejemplo la ingeniería química, química, ingeniería de materiales, informática o biotecnología entre otros.

El carácter multidisciplinar del proyecto y, especialmente la tecnología y el equipamiento del que hace uso, abre la puerta a realizar colaboraciones interdepartamentales dentro de la propia universidad o entre universidades y/o empresas para el desarrollo de proyectos de innovación docente/investigación en multitud de áreas.

Dissemination and application of the project to other areas of knowledge and universities (In English)

Although the project has a clear orientation towards electronics and electronic device technology, the tasks carried out may be of interest or complement subjects in other teaching areas or specialties such as chemical engineering, chemistry, materials engineering, computer science or biotechnology among others.

The multidisciplinary nature of the project and, especially the technology and the equipment it uses, opens the door to carry out interdepartmental collaborations within the university itself or between universities and/or companies for the development of teaching/research innovation projects in a multitude of areas.

F. Estudio de las necesidades para incorporación a la docencia habitual

Los requisitos para la incorporación del material generado en este proyecto a la docencia habitual son que el alumnado tenga nociones básicas de dispositivos y tecnología electrónica.

El material está orientado a ser empleado como actividad complementaria a la teoría/práctica y puede ser concebida como actividad optativa a desarrollar de forma independiente. Con esto se busca promover:

- Capacidad para el aprendizaje autónomo así como iniciativa.
- Capacidad para adaptarse a las tecnologías y a los futuros entornos actualizando las competencias profesionales.
- Capacidad de organización y planificación así como capacidad de gestión de la información.
- Capacidad para el uso y aplicación de las TIC en el ámbito académico y profesional.

G. Puntos fuertes, las dificultades y posibles opciones de mejora**Puntos fuertes**

Este proyecto ha contado desde el inicio con el apoyo y soporte de un equipo e infraestructura privilegiada. La sala blanca disponible en el CITIC-UGR y el laboratorio de materiales bidimensionales permiten contar con equipos de última generación para el desarrollo de este proyecto de innovación docente.

El punto fuerte del proyecto es presentar al alumnado un ejemplo de fabricación real de dispositivos electrónicos básicos de una forma sencilla y cercana resaltando aquellos pasos más importantes y optando, siempre que ha sido posible, por pasos de fabricación simplificados.

Dificultades

Las dificultades más importantes que se han encontrado en el proyecto se corresponden con las etapas de fabricación y están relacionadas con la calibración de los parámetros en cada etapa de fabricación. En particular, se puede resaltar la eliminación del óxido sin recurrir al ácido fluorhídrico y el ajuste de los parámetros de temperatura y tiempo durante la difusión de los dopantes.

Opciones de mejora

Entre las posibles mejoras o avances que se pueden llevar a cabo con respecto al proyecto, la más evidente es ampliar el abanico de dispositivos fabricados y las posibilidades que esto abre. Por ejemplo, fabricando transistores MOS se podría mostrar la influencia que tiene la geometría o las diferencias entre transistores tipo N o P. Relacionado con esta mejora se podrían emplear otros materiales o sustratos semiconductores.

Otra vía de optimización posible consiste en emplear métodos de fabricación alternativos y comparar resultados entre ellos.