

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
Estructura de la materia	Electrónica Física	4º	2º	6	Obligatoria
PROFESORES ⁽¹⁾			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS (Dirección postal, teléfono, correo electrónico, etc.)		
- Juan E. Carceller Beltrán (Grupo Grande y Pequeño) - Francisco M. Gómez Campos (Grupo Pequeño)			Dpto. de Electrónica y Tecnología de Computadores. 2ª planta, Facultad de Ciencias, Sección de Física. Despacho Prof. J. E. Carceller: nº 1 Despacho Prof. F. M. Gómez Campos: nº 11. Correo electrónico: jcarcell arroba ugr.es y fmgomez arroba ugr.es		
			HORARIO DE TUTORÍAS Y/O ENLACE A LA PÁGINA WEB DONDE PUEDAN CONSULTARSE LOS HORARIOS DE TUTORÍAS ⁽¹⁾		
			Prof. J. E. Carceller: L., Mi.: 09h a 13h. Prof. F.M. Gómez: http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/f55a9cf2a750b55ab6e5a24ac1182e92		
GRADO EN EL QUE SE IMPARTE			OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR		
Grado en Física			Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación. Grado en Ingeniería Electrónica Industrial.		

¹ Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente
(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada":
(<http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ncg7121/>!)



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR
grados.ugr.es

Firmado por: JUAN ANTONIO LOPEZ VILLANUEVA Director/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/05/2019 19:25:39 Página: 1 / 8



okuOi1IX5KS4uaR5liWmvn5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)

Se recomienda tener cursadas las asignaturas Electromagnetismo, Física Estadística, Física Cuántica y Física del Estado Sólido, así como tener los conocimientos correspondientes a las asignaturas de matemáticas propias de la titulación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)

En esta asignatura se explicarán los principios básicos de los Semiconductores, su estructura física y tipos, las propiedades de transporte de corriente eléctrica, los procesos de Generación y Recombinación de portadores, las ecuaciones de difusión deriva, la unión P-N, las heteroestructuras y capas bidimensionales de huecos y electrones. También se tratarán las células solares y fotodiodos, como aplicación de la interacción de la radiación luminosa con las uniones P-N.

COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS

CT1: Capacidad de análisis y síntesis.
CT2: Capacidad de organización y planificación.
CT5: Capacidad de gestión de la información.
CT6: Resolución de Problemas.
CT8: Razonamiento crítico.
CT9: Aprendizaje autónomo
CE1: Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.
CE2: Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.
CE4: Medir, interpretar y diseñar experiencias en el laboratorio o en el entorno
CE5: Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje matemático.
CE7: Transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.
CE9: Aplicar los conocimientos matemáticos en el contexto general de la física.

OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

El alumno sabrá/comprenderá:

- El concepto de hueco en un semiconductor y su utilización para evaluar el transporte de carga.
- Cómo obtener las concentraciones de huecos y electrones en un semiconductor y su concentración intrínseca.
- El uso de impurezas en los semiconductores para determinar su tipo y comportamiento.
- El cálculo y determinación de la densidad de huecos y electrones en un semiconductor extrínseco.
- El concepto de neutralidad eléctrica aplicado a semiconductores
- La movilidad de los electrones y su dependencia de la temperatura, de las concentraciones de impurezas y de los campos eléctricos.
- La física de los mecanismos de generación y recombinación de portadores en semiconductores, el concepto de bajo nivel de inyección y el de pseudo-nivel de Fermi para electrones y huecos, así como su uso para la determinación de concentraciones de portadores estáticas y transitorias.
- Las ecuaciones de Difusión-Deriva (o Arrastre) y las de continuidad en semiconductores. Su resolución en algunos casos simples.



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR
grados.ugr.es

Firmado por: JUAN ANTONIO LOPEZ VILLANUEVA Director/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/05/2019 19:25:39 Página: 2 / 8



okuOi1IX5KS4uaR5liWmvn5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

- El funcionamiento de la unión P-N en equilibrio y bajo polarización: Constitución real y modelos prácticos. Los modelos sencillos para resolución analítica. El campo y el potencial eléctrico "auto-constituido" (Built-in). El concepto de Zona de Carga Espacial. las relaciones de equilibrio entre las corrientes de difusión y de arrastre. la corriente inversa de saturación y su dependencia con la temperatura. El concepto de polarización en directo y en inverso. Ecuación y forma de la corriente I-V de un diodo. Una aplicación simple: la rectificación de señales alternas.
- Las nociones básicas de las heteroestructuras y gases de huecos y electrones bidimensionales (2D): Qué son los pozos cuánticos simples y múltiples, los hilos y puntos cuánticos
- Los principios básicos de la interacción luz (radiación electromagnética)-semiconductor. El efecto fotovoltaico. La estructura y los fundamentos de los dispositivos detectores de luz: Fotodiodos y Células Solares. La curva I-V de una célula solar. La potencia suministrada y el rendimiento energético.

TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

TEMARIO TEÓRICO:

- Tema 1. Revisión de los resultados de la teoría de bandas en los sólidos. Características de las bandas de los semiconductores. Corriente de los electrones en una banda. Modelo semiclásico. Modelo de la masa efectiva. Matriz de la masa efectiva. Concepto de hueco.
- Tema 2. Concentración de electrones y huecos en los semiconductores. Semiconductores intrínsecos. Densidad de estados. Función de ocupación. Concentración intrínseca n_i . Dopado de los semiconductores: impurezas aceptadoras y donantes. Factores de ocupación de los niveles de energía creados por las impurezas. Ecuación de neutralidad eléctrica.
- Tema 3. Transporte de carga en los semiconductores: Movilidad de los portadores. Dependencia con la Temperatura y con la concentración de impurezas. Efectos de campos eléctricos altos.
- Tema 4. Generación y Recombinación de portadores: Conceptos básicos. Tipos de recombinación: modelos elementales. Inyección de bajo nivel. Pseudo-niveles de Fermi.
- Tema 5. Procesos de difusión en semiconductores. Corrientes de difusión. Corrientes de Difusión y Deriva: Consecuencias en Equilibrio termodinámico. Ecuaciones de continuidad.
- Tema 6. La unión P-N: Esquema de fabricación de una unión P-N real. Esquema teórico. La unión P-N en equilibrio termodinámico: Descripción cualitativa. Modelo de la unión abrupta e hipótesis de vaciamiento: Cálculo del Campo y Potencial eléctrico en la estructura. Heterouniones y Heteroestructuras: Gases 2D.
- Tema 7: La unión P-N en régimen estático: Descripción cualitativa. Hipótesis de baja inyección. Curva I-V. Zona de deplexión: Capacidad de Transición. Una aplicación común: Rectificación de una señal alterna.
- Tema 8: Dispositivos Semiconductores Optoelectrónicos I: Fotodetectores y células solares. Principio de Funcionamiento. Similitudes y diferencias. Curva I-V. Potencia máxima suministrada por una célula solar. Eficiencia energética.

TEMARIO PRÁCTICO:

- Prácticas de Simulación de estructuras con semiconductores utilizando la plataforma Nanohub.

BIBLIOGRAFÍA



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR
grados.ugr.es

Firmado por: JUAN ANTONIO LOPEZ VILLANUEVA Director/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/05/2019 19:25:39 Página: 3 / 8



okuOi1IX5KS4uaR5liWmvn5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- "Física del Estado Sólido y de los semiconductores". J. P. McKelvey. Ed. Limusa, 1976.
- "Solid State Electronic Devices", 6th Edition. B. G. Streetman, S. K Banerjee Pearson Prentice Hall, 2006. USA. (ISBN: 0-13-149726-X)
- "Semiconductor Devices: Physics and Technology". 2nd Edition. S. M. Sze. John Wiley and Sons, 2002. (ISBN: 0-471-33372-7)

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- "Dispositivos Electrónicos. Problemas Resueltos". Juan B. Roldán, Fco. Jesús Gámiz. Editorial Ra_Ma, 2001.
- "Fundamentals of Solid State Electronics". C. T. Sah World Scientific, 1993 (ISBN: 9810206380)
- "Fundamentals of Semiconductor Theory and Device Physics". S. Wang. Prentice Hall, 1989. (ISBN: 0-13-344409-0)
- "Photonic Devices". J. M. Liu. Cambridge University Press, 2005. (ISBN: 978-0-521-55195-3)
- "Fundamentals of Photonics" B. E. A. Saleh, M. C. Teich. 2nd. Edition. John Wiley and Sons, Inc., 2007. (ISBN: 978-0-471-35832-9). Capítulos 16, 17 y 18)
- La bibliografía básica de las asignaturas "Física Estadística" y "Física del Estado Sólido".

ENLACES RECOMENDADOS

Algunos vídeos realizados por miembros del Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores sobre distintos aspectos de la física de los semiconductores y dispositivos electrónicos relacionados con el temario de la asignatura:

Densidad de Estados: <http://www.youtube.com/watch?v=cqUCYramcFA>

Unión P-N: http://www.youtube.com/watch?v=hsjGw_c-Nn4

MOSFET: <http://www.youtube.com/watch?v=9JKj-wIEPMY>

El siguiente enlace no trata sobre materia del temario de la asignatura propiamente, pero puede contribuir a la formación del alumno y ser un adecuado complemento para la comprensión del funcionamiento del osciloscopio:

<http://www.youtube.com/watch?v=wVXOIwtkFZk>

METODOLOGÍA DOCENTE

El profesor expondrá en clase los contenidos teóricos necesarios para afrontar con éxito las siguientes actividades que deberán realizar los estudiantes.

- Resolución de problemas al final de cada tema.
- Desarrollo y ampliación de contenidos teóricos.
- Prácticas de Simulación. Asistencia Obligatoria.

EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)

- Evaluación de los ejercicios de simulación y exámenes parciales tipo test. 40% de la calificación final.
- Examen final: 60% de la calificación final. Nota mínima de esta prueba para la compensación con las anteriores: 5 sobre 10. La superación de la asignatura requiere una nota final igual o superior a 5 sobre 10.
- A los alumnos que se presenten a la convocatoria extraordinaria se les conservará, par su evaluación final, la nota obtenida durante el curso en los ejercicios de simulación y



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR
grados.ugr.es

Firmado por: JUAN ANTONIO LOPEZ VILLANUEVA

Director/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/05/2019 19:25:39

Página: 4 / 8



okuOi1IX5KS4uaR5liWmvn5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

exámenes parciales, salvo que soliciten lo contrario, en cuyo caso el examen será el mismo que el que se explicita en el caso de la evaluación única final.
DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA "NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA"
El examen final único incluirá una parte práctica y otra escrita. La parte práctica consistirá en la realización de una práctica de simulación y explicación de sus resultados, excepto para quienes hayan realizado y superado las prácticas durante el curso, a los que se les mantendrá la nota que hayan obtenido, si así lo desean. La parte escrita constará de preguntas de teoría y problemas de la materia objeto del temario. Para aprobar la asignatura, se deberá sacar una puntuación de 5 sobre 10 en cada parte.
INFORMACIÓN ADICIONAL
Cumplimentar con el texto correspondiente en cada caso



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR
grados.ugr.es

Firmado por: JUAN ANTONIO LOPEZ VILLANUEVA	Director/a de Departamento
Sello de tiempo: 22/05/2019 19:25:39	Página: 5 / 8
 okuOi1IX5KS4uaR5liWmvn5CKCJ3NmbA	
La integridad de este documento se puede verificar en la dirección https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.	

MODULE	AREA	YEAR	SEMESTER	ECTS CREDITS	COURSE
Estructure of the mater	Physical Electronics	4º	8º	6	Required
PROFESORES ⁽²⁾			ADDRESS FOR TUTORIAL ASSISTANCE		
- Juan E. Carceller Beltrán (Theoretical lectures and problems) - Francisco M. Gómez Campos (Problems and simulation practices)			Dpto. de Electrónica y Tecnología de Computadores. 2ª floor, Facultad de Ciencias, Sección de Física.		
			Office Prof. J. E. Carceller: nº 1 Office Prof. F. M. Gómez Campos: nº 11.		
			e-mail: jcarcell at ugr.es y fmgomez at ugr.es		
			TUTORIAL ASSISTANCE		
			Prof. J. E. Carceller: L., Mi.: 09h a 12h. Prof. F.M. Gómez: http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/f55a9cf2a750b55ab6e5a24ac1182e92		
DEGREE					
Physics Grade					
RECOMENDATIONS					
Knowledge of Electromagnetism, Statistical Physics, Introductory Quantum Physics and Solid State Physics. It is also necessary to have a thorough comprehension and ability to use the mathematical concepts imparted in previous courses in this degree.					



SILLABUS:

THEORETICAL CONTENT:

- Unit 1. Revision of the main results of the energy band theory in solid crystalline materials. Characteristics of the semiconductor bands. Current transported by the electrons in one band. Semiclassical model. Effective mass model. Effective mass matrix. Hole concept.
- Unit 2. Electron and hole concentration in semiconductors. Density of states. Occupation function. Intrinsic semiconductors and intrinsic concentration of carriers n_i . Doping of semiconductors: acceptor and donor impurities. Occupation factors of the energy levels created by impurities. Electrical charge neutrality condition.
- Unit 3. Charge transport in semiconductors: Carrier mobility and its dependency with temperature and impurity concentration. High electrical fields effects.
- Unit 4. Generation and recombination of carriers in semiconductors: Basic concepts. Recombination modes: elemental models. Low-level injection condition. Pseudo-Fermi levels.
- Unit 5. Diffusion processes in semiconductors. Diffusion currents. Drift and diffusion currents. Consequences for the thermal equilibrium case: built-in electrical fields . Continuity equations.
- Unit 6. The P-N junction: The P-N junction in thermal equilibrium: Qualitative description of its behavior. Built-in (contact) potential. Abrupt junction model. Depletion approximation. Calculus of the electric field and potential in the junction. Heterojunctions and Heterostructures: 2D gases.
- Unit 7: The P-N junction in static conditions: Qualitative description. Low level injection hypothesis. I-V Characteristics. Low-level signal model. Transition capacitance. A common application: alternate signal rectifier.
- Unit 8: Some optoelectronic semiconductor devices. A very descriptive explanation: Fotodetectors and solar cells. Basic principles. Similitudes and differences. I-V characteristics. Maximum Power provided by a solar cell. Fill factor. Parasitic resistences.

PRACTICAL CONTENT:

- Simulation of semiconductor structures using the Nanohub platform.

BIBLIOGRAPHY

MAIN BIBLIOGRAPHY :

- "Física del Estado Sólido y de los semiconductores". J. P. McKelvey. Ed. Limusa, 1976. It exist an english version of this book: "Solid State and Semiconductor Physics", Harper and Row Pub, 1966.
- "Solid State Electronic Devices", 6th Edition. B. G. Streetman, S. K Banerjee Pearson Prentice Hall, 2006. USA. (ISBN: 0-13-149726-X)
- "Semiconductor Devices: Physics and Technology". 2nd Edition. S. M. Sze. John Wiley and Sons, 2002. (ISBN: 0-471-33372-7)

COMPLEMENTARY BIBLIOGRAPHY:

- "Dispositivos Electrónicos. Problemas Resueltos". Juan B. Roldán, Fco. Jesús Gámiz. Editorial Ra_MA, 2001.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR
grados.ugr.es

Firmado por: JUAN ANTONIO LOPEZ VILLANUEVA

Director/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/05/2019 19:25:39

Página: 7 / 8



okuOi1IX5KS4uaR5liWmvn5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

- "Fundamentals of Solid State Electronics". C. T. Sah World Scientific, 1993 (ISBN: 9810206380)
- "Fundamentals of Semiconductor Theory and Device Physics". S. Wang. Prentice Hall, 1989. (ISBN: 0-13-344409-0)
- "Photonic Devices". J. M. Liu. Cambridge University Press, 2005. (ISBN: 978-0-521-55195-3)
- "Fundamentals of Photonics" B. E. A. Saleh, M. C. Teich. 2nd. Edition. John Wiley and Sons, Inc., 2007. (ISBN: 978-0-471-35832-9). Chapters 16, 17 and 18)
- Main bibliography of the matters "Statistical Physics" and "Solid State Physics".

ENLACES RECOMENDADOS

Members of the Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores have prepared videos which cover different aspects of the semiconductor physics and electronic devices related with the subject of this matter:

Density of States: <http://www.youtube.com/watch?v=cqUCYramcFA>

P-N Junction: http://www.youtube.com/watch?v=hsJGw_c-Nn4

MOSFET: <http://www.youtube.com/watch?v=9JKj-wIEPMY>

The next link is not directly related to the subject of this matter, but can contributor to the student formation and it can be an adequate complement to gain knowledge in the use and operating of the oscilloscope:

<http://www.youtube.com/watch?v=wVXOIwtkFZk>



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR
grados.ugr.es

Firmado por: JUAN ANTONIO LOPEZ VILLANUEVA Director/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/05/2019 19:25:39 Página: 8 / 8



okuOi1IX5KS4uaR5liWmvn5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.