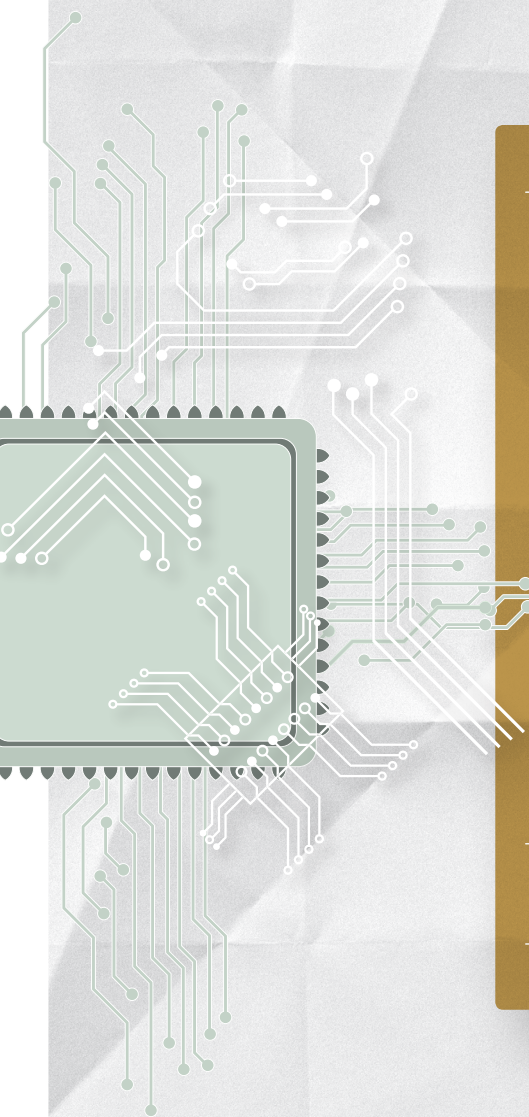




Fundamentos de física para semiconductores

Jairo Alejandro Rodríguez Martínez



Fundamentos de física para semiconductores

Fundamentos de física para semiconductores

Jairo Alejandro Rodríguez Martínez



Rodríguez Martínez, Jairo Alejandro

Fundamentos de física para semiconductores/Jairo Alejandro Rodríguez
Martínez, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2018.

198 páginas, ilustraciones, gráficos, tablas

Incluye referencias bibliográficas (páginas 197-198)

ISBN 978-958-782-045-4

E-ISBN: 978-958-782-046-1

1. Física 2. Física-investigaciones 3. Física-Problemas-ejercicios 4. Ecuación
de Schrodinger. 5. Semiconductores

I. Universidad Santo Tomás (Colombia).

CDD 530

CO-BoUST



© Jairo Alejandro Rodríguez Martínez

© Universidad Santo Tomás, 2018

Ediciones USTA

Carrera 9 n.º 51-11

Edificio Luis J. Torres, sótano 1

Bogotá, D. C., Colombia

Teléfonos: (+571) 5878797, ext. 2991

editorial@usantotomas.edu.co

<http://ediciones.usta.edu.co>

Coordinación de libros: Karen Grisales Velosa

Corrección de estilo: Jorge Tulio Galindo Rodríguez

Diagramación: Juanita Giraldo

Diseño de cubierta: Kilka Diseño Gráfico

Hecho el depósito que establece la ley

ISBN: 978-958-782-045-4

E-ISBN: 978-958-782-046-1

Impreso en Colombia • Printed in Colombia

Impreso por: Panamericana Formas e Impresos S. A.

Primera edición: 2018

Todos los derechos reservados

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio, sin
la autorización previa por escrito de Ediciones USTA.

*A mi querida esposa, Diana Lolita,
por apoyarme y creer en la ciencia.*

Tabla de contenido

PREFACIO	II
I. LA LUZ, UN ÁTOMO Y GRUPOS DE ÁTOMOS	13
Radiación de cuerpo negro	13
El modelo atómico de Bohr	16
Enlaces	24
Aplicaciones	33
II. CRISTALES, RAYOS X Y FERROELECTRICIDAD	37
Tópicos de cristalografía	37
Rayos X	44
Vibraciones cristalinas	48
Piezoelectricidad y piroelectricidad	56
Conclusiones	61
Aplicaciones	62
Problemas	64
III. ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER	67
Efecto fotoeléctrico	67
El electrón como onda	72
Ecuación de Schrödinger	77
Aplicaciones de la ecuación de Schrödinger	84
El átomo de hidrógeno y la ecuación de Schrödinger	96
Tópicos de mecánica cuántica	108
Conclusiones	112
Aplicaciones	114
Problemas	115

IV. GRUPOS DE PARTÍCULAS	117
Partículas idénticas	117
Mecánica estadística	125
Electrones en cristales	134
Espectro de energía de electrones en un cristal	138
Conclusiones	148
Aplicaciones	148
Problemas	150
V. SEMICONDUCTORES	151
Bandas de energía en un material semiconductor	151
Acción de portadores	164
Conclusiones	177
Aplicaciones	177
Problemas	177
VI. FÍSICA DE JUNTURAS P-N	181
Juntura abrupta	181
Conclusiones	189
Aplicaciones	189
Problemas	189
APÉNDICE A	193
Obtención de la energía de fermiones en función del número de onda	193
APÉNDICE B	195
Calibración de un sensor de efecto Hall	195
REFERENCIAS	199
SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS CON NUMERACIÓN IMPAR	201

Prefacio

La mayoría de las realizaciones de la ingeniería electrónica han sido posibles con el estudio de las leyes de la física; ejemplo de ello, son los lectores de código de barras con láser, los sensores capaces de detectar calor diseñados con base al efecto piroeléctrico; dispositivos para la localización de vibraciones, como los sensores de efecto Hall; los piezoeléctricos, que permiten efectuar pequeñísimos desplazamientos, o los filtros ópticos, que hacen posible seleccionar bandas del espectro electromagnético; los detectores de luz, como fotodiodos, fotorresistencias, CMOS, FETS, y los dispositivos acoplados por carga, CCD, entre muchos otros. En este orden, una amplia variedad de productos para uso doméstico, equipo industrial y científico como cámaras de vídeo, televisores, hornos de microondas, impresoras, portátiles, máquinas de facsímil, telefonía móvil, equipos de laboratorio, telescopios, microscopios, sistemas de control y telecomunicaciones, etc., utilizan algunos de los dispositivos antes mencionados.

Se puede afirmar que las leyes de la física, a través de la tecnología del semiconductor de estado sólido, han hecho posible que sistemas eléctricos y electrónicos complejos estén al alcance de distintos ámbitos de la industria y de la ciencia, pero también para el resto de las personas. Por ejemplo, mediante la radiofonía con base a transistores, la telefonía móvil o la facilidad para acceder a la Internet, grupos humanos en

diversos lugares del planeta pueden conectarse con lugares lejanos con tan solo manipular algunas teclas. Dicho lo anterior, el propósito de las presentes notas de clase, es ofrecer a los estudiantes de ingeniería electrónica una serie de conocimientos básicos en los que convergen tres grandes disciplinas de la ciencia y la tecnología contemporáneas: la *crystalografía*, la *mecánica cuántica* y los *semiconductores*. Estas notas de clase también tienen como propósito servir de puente, a modo de transición, entre la microelectrónica y las tecnologías emergentes basadas en la nanotecnología y la computación cuántica.

El texto se organiza de manera tal que en los primeros capítulos se exponen los fundamentos físicos que facilitan la comprensión de la técnica que permite identificar los elementos que conforman una sustancia compleja; esto es, la espectroscopia óptica.

Posteriormente, se explican las leyes físicas que hacen posible las técnicas utilizadas para explorar la forma como, los constituyentes primarios de la materia, se agrupan en el espacio, es decir, la difracción de Rayos X. Más adelante, se introducen los fundamentos de Mecánica Cuántica necesarios para el estudio del comportamiento de un único electrón. Luego se presentan tópicos de *mecánica estadística*, con los cuales se exploran conceptos que hacen accesible la comprensión de fenómenos asociados a grandes conglomerados de electrones. Finalmente, se estudian conceptos fundamentales de semiconductores, tales como el de sustrato, el de dopaje, los de concentración y dinámica de portadores, así como el estudio de juntas metalúrgicas.