



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

*Departament d'Enginyeria Electrònica, Elèctrica i Automàtica.,
Group of Nanoelectronic and Photonic Systems NePHoS*

***FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE
DISPOSITIVOS BASADOS EN SILICIO POROSO
SOBRE c-Si:***

Aplicaciones Eléctricas y Ópticas.

***Tesis presentada para optar por el título de:
Doctor en Ingeniería Electrónica (Ph.D)***

por

Faruk Fonthal Rico

Director: Dr. Josep Pallarès Marzal

Tarragona, España 2006

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DISPOSITIVOS BASADOS EN SILICIO POROSO SOBRE c.SI. APLICACIONES ELÉCTRICAS,
ÓPTICAS Y TÉRMICAS.
Faruk Fonthal Rico
ISBN: 978-84-690-7607-1 / DL: T.1388-2007

Tabla de Contenido.

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
1. Introducción	7
1.1. Objetivos	11
2. Proceso de fabricación y caracterización de las capas porosas	19
2.1. Antecedentes del PS	21
2.1.1. Formación del silicio poroso	22
2.1.1.1. Disolución Química	22
2.1.1.2. Cubeta de Anodización	29
2.1.1.3. Condiciones de Anodización	34
2.1.1.4. Morfología del poro	42
2.1.2. Caracterización Morfológica	49
2.1.2.1. Crecimiento y estructuras de PS	49
2.2. Técnicas experimentales	53
2.2.1. Fabricación de capas de silicio poroso	53
2.2.1.1. Silicio macroporoso sobre obleas n-Si	53
2.2.1.2. Silicio meso y macroporoso sobre obleas p-Si	58
2.2.1.3. Silicio microporoso sobre obleas p-Si	61
2.2.2. Tabla resumen de las muestras fabricadas	64
3. Caracterización eléctrica de silicio poroso sobre silicio cristalino	69
3.1. Antecedentes de las características eléctricas DC y AC	69
3.2. Métodos de metalización para dispositivos basados en silicio poroso	73
3.2.1. Tecnología de capa gruesa	75

Contenido

3.2.2. Tecnología de capa delgada	78
3.3. Contactos metálicos en las capas de silicio poroso	80
3.3.1. Clasificación de las propiedades eléctricas del PS	80
3.3.2. Fenómeno del contacto en la estructura con silicio poroso	84
3.4. Técnicas experimentales	86
3.4.1. Fabricación de contactos por screen printing	87
3.4.1.1. Caracterización eléctrica DC en resistores Metal/PS/Metal	89
3.4.1.2. Caracterización eléctrica DC en diodos Metal/PS/c-Si	93
3.4.2. Fabricación de contactos por evaporación	98
3.4.2.1. Caracterización eléctrica DC en resistores Au/PS/Au	100
3.4.2.2. Caracterización eléctrica DC en diodos Au/PS/p-Si/Al	103
3.4.2.3. Análisis AC de impedancia para Au/PS/Au	105
3.4.3. Dispositivos sensores de temperatura basado en silicio poroso	118
4. Caracterización óptica de silicio poroso sobre silicio cristalino	125
4.1. Antecedentes de las características ópticas	125
4.1.1. Capas antireflectivas basadas en silicio poroso	126
4.1.2. Fotodetectores basados en silicio poroso	128
4.2. Técnicas experimentales	130
4.2.1. Caracterización óptica en superficies antirreflejantes	130
4.2.1.1. Capas antireflectivas ma-PS ARC	134
4.2.2. Caracterización óptica de fotodetectores	139

4.2.2.1. Fotoconductores	140
4.2.2.2. Fotodiodos	142
5. Conclusiones	149
6. Publicaciones	153
7. Referencias	157

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DISPOSITIVOS BASADOS EN SILICIO POROSO SOBRE c.SI. APLICACIONES ELÉCTRICAS,
ÓPTICAS Y TÉRMICAS.
Faruk Fonthal Rico
ISBN: 978-84-690-7607-1 / DL: T.1388-2007

Agradecimientos

Gracias al apoyo que he recibido por parte del grupo de dispositivos semiconductores (NePHoS) del departament d'Enginyeria Electrònica, Elèctrica i Automàtica de la Universitat Rovira i Virgili (URV), y en especial al Dr. Josep Pallarès por la confianza que ha tenido en mi y por la beca de estudios predoctorales que me otorgaron que me permitió continuar con este proyecto, a la comisión española de ciencia y tecnología (CICYT) bajo el cual hace parte del proyecto No. TEC2002-4184-C02.

He de agradecer también la colaboración que he recibido por parte del grupo de dispositivos semiconductores de la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC) por permitirme realizar la parte del proyecto de fabricación de las capas porosas para los dispositivos en el laboratorio de sala blanca del departamento de electrónica.

De todo corazón por la entrega y ayuda a mi familia Gloria Eugenia, Gerardo, Andrei, Danny, Cristina y Andrea, a mis amigos y seres queridos Maria Isabel, Camilo, Irama, Kelly, Alfredo, Mauricio, Edwin, y a Hamdy e Ivaldo amigos y compañeros de trabajo por el apoyo a seguir adelante durante el tiempo de estudio. A los doctores Trifon Tirfonov, Angel Rodríguez y Joaquim Puigdollers de la UPC, y a los doctores Roger Cabré, Xavier Vilanova, Lluís Marsal y Josep Ferré-Borrull de la URV por su colaboración prestada en el desarrollo de esta tesis

*“Dedico esta tesis a mis abuelos doña mercedita y a don ángel
maría cuales siempre están desde el cielo cuidándome, a mis
padres y hermanos por apoyarme a seguir adelante”*

Resumen de la Tesis

Debido a las propiedades eléctricas y ópticas del Silicio Poroso (PS), este es un material ampliamente utilizado para el desarrollo de los dispositivos electrónicos. Por su compatibilidad con la tecnología de fabricación del Silicio, el Silicio Poroso es estudiado hoy en día en diferentes aplicaciones como: elementos activos en circuitos integrados, estructuras electro luminiscentes, dispositivos fotodetectores, dispositivos térmicos y muchas más.

El trabajo que se ha desarrollado como tesis doctoral consiste en estudiar, fabricar y caracterizar estructuras basadas en PS en diferentes medios como el luminoso y el térmico, para 1) establecer sus diferentes comportamientos y 2) desarrollo de dispositivos basados en Silicio Poroso sobre silicio cristalino (PS/c-Si).

La fabricación del Silicio Poroso se ha realizado mediante el método de ataque electroquímico del silicio en soluciones de ácido fluorhídrico. Primero se ha analizado la influencia de los diferentes parámetros del proceso sobre la uniformidad y las dimensiones de las estructuras con el fin de optimizar el proceso de fabricación. En un segundo lugar se ha desarrollado procedimientos de metalización para los diferentes dispositivos a estudiar, por medio de las tecnologías como la de screen printing para contactos de capa gruesa y evaporación para capa delgada.

Para cada grupo de muestras fabricadas se analizaron las propiedades eléctricas y ópticas en dos tipos de estructuras, Metal/PS/c-Si/Metal (diodo) y Metal/PS/Metal (resistor). Las propiedades eléctricas se han estudiado a partir de modelos DC, AC y térmicos. Las propiedades ópticas se han estudiado a partir de modelos de reflectividad normalizada para un rango espectral desde longitudes de onda cercanos al UV hasta longitudes cercanas al IR y modelos como fotodetectores bajos diferentes fuentes luminosas en el rango visible, cercano al UV y al IR. También se ha analizado el comportamiento de los dispositivos fabricados como sensores capaces de detectar cambios de luz o de temperatura mediante la variación de la resistencia o diodo de los dispositivos fabricados.