

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SILICIO POROSO MEDIANTE ATAQUE
ELECTROQUÍMICO**

HAROLD ROLANDO ROSAS DÍAZ

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por título de
Magíster en Ciencias Física**

Director

ALEX ENRIQUE FLORIDO CUELLAR

Doctor en Tecnología Avanzada

**UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS - FÍSICA
IBAGUÉ - TOLIMA**

2013

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. SILICIO POROSO	17
1.1 TIPOS DE CELDAS	19
1.1.1 Celda Sencilla	19
1.1.2 Celda O-ring	20
1.1.3 Celda Doble	21
1.2 DISOLUCION DEL SILICIO	21
1.3 ELABORACION DE SILICIO POROSO	25
2. EFECTOS FOTOTÉRMICOS	29
2.1 ELEMENTOS DE ESPECTROSCOPIA FOTOACÚSTICA	30
2.1.1 Historia.	31
2.2 ONDAS TERMICAS	31
2.2.1 Expresiones Para La Transferencia de Calor.	32
2.2.2 Generación y Propagación de Ondas Térmicas.	35
2.2.3 Mecanismos de Generación de la Señal Fotoacústica	39
2.2.3.1 Difusión térmica.	39
2.2.3.2 Expansión Térmica.	40
2.2.3.3 Mecanismo de Flexión Termoelástica.	40
2.2.3.4 Efecto Fotobárico	41
2.3 MODELO DE DIFUSION TERMICA ROSENCWAIG Y GERSHO (modelo RG)	42
2.3.1 Distribución de Temperaturas en la Celda	45
2.3.2 Importancia Física de los Parámetros que Gobiernan el Comportamiento de las Ondas Térmicas.	54
2.3.3 Producción de la Señal Acústica	54

	Pág.
2.3.4 Casos Especiales	56
2.3.5 Reflexión y transmisión de ondas térmicas	62
3. CARACTERIZACIÓN DE SILICIO POROSO	65
3.1 CARACTERÍSTICAS CORRIENTE CONTRA VOLTAJE	65
3.2 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA	66
3.3 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	68
3.4 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA	70
3.5 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE LUMINISCENCIA	71
3.6 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE RAYOS-X	74
3.7 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESPECTROSCOPIA RAMAN	76
3.8 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA	78
3.8.1 Análisis de la Amplitud y Fase de la Señal Fotoacústica para Medición de la Difusividad Térmica	78
3.8.2 Análisis de la Diferencia de Fase	79
3.8.3 Modelo para Determinar la Efusividad Térmica	79
3.8.4 Análisis de la Amplitud y la Fase de la Señal Fotoacústica en Configuración de Difusión de Calor Para la Medición de la Efusividad Térmica.	81
3.8.5 Determinación de la Difusividad Térmica Efectiva	88
3.8.6 Caracterización Térmica de la Capa Porosa	94
4. CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Celda Sencilla	19
Figura 2. Celda O-ring	20
Figura 3. Celda Doble	21
Figura 4. Arreglo experimental para la formación del silicio poroso	22
Figura 5. Disolución del silicio tipo-N	23
Figura 6. Disolución del silicio	24
Figura 7. Celda Propuesta	25
Figura 8. Celda Propuesta	26
Figura 9. Celda Propuesta.	26
Figura 10. Celda Propuesta	27
Figura 11. Celda Propuesta	27
Figura 12. Celda Propuesta	28
Figura 13. Distribución de los elementos de espectroscopia fotoacústica, a) celda cerrada b) celda abierta	30
Figura 14. Distribución Espacial de Temperaturas	33
Figura 15. Generación y Propagación de Ondas Térmicas	36
Figura 16. Difusión Térmica	40
Figura 17. Expansión Térmica	40
Figura 18. Flexión Termoelástica	41
Figura 19. Efecto Fotobárico	42
Figura 20. Celda Fotoacústica	43
Figura 21. Reflexión y transmisión de ondas térmicas	62
Figura 22. Zonas de formación en el silicio poroso en una curva I-V típica.	65
Figura 23. Curva V-t para el silicio con una concentración de 40% de HF, en la cual se representa un proceso de carga interfacial real.	66
Figura 24. 15 minutos de ataque	67

	Pág.
Figura 25. 30 minutos de ataque	67
Figura 26. 60 minutos de ataque	67
Figura 27. 90 minutos de ataque	67
Figura 28. Caracterización mediante microscopia electrónica de barrido x 400	68
Figura 29. Caracterización mediante microscopia electrónica de barrido x 4.500	69
Figura 30. EDS: espectrómetro de energía dispersada	69
Figura 31. Microscopia de fuerza atómica	70
Figura 32. Zonas de evaluación	71
Figura 33. Silicio Tipo n	73
Figura 34. Silicio Tipo p	73
Figura 35. 30 minutos de ataque	75
Figura 36. 60 minutos de ataque	75
Figura 37. 90 minutos de ataque	76
Figura 38. Caracterización Mediante Raman	77
Figura 39. Sección transversal de la celda foto-acústica de la configuración experimental empleada para medir la efusividad térmica de un material sólido.	80
Figura 40. Amplitud en función de la frecuencia. SP-n, para un tiempo de ataque de 30 minutos	86
Figura 41. Amplitud en función de la frecuencia. SP-n, para un tiempo de ataque de 60 minutos	86
Figura 42. Amplitud en función de la frecuencia. SP-n, para un tiempo de ataque de 80 minutos	87
Figura 43. Amplitud en función de la frecuencia. SP-n, para un tiempo de ataque de 120 minutos	87
Figura 44. Figura del logaritmo del producto de la amplitud de la señal FA y la frecuencia de modulación f , como una función de $F^{\frac{1}{2}}$ para la muestra de 30 min de ataque.	93
Figura 45. Ajuste de la amplitud de la señal FA vs frecuencia de modulación para la muestra de 30 minutos.	93

	Pág.
Figura 46. Ajuste de la fase de la señal FA vs frecuencia de modulación para la muestra de 30 minutos de ataque.	94
Figura 47. Caracterización Térmica de la Capa Porosa	95
Figura 48. Difusividad termica efectiva	97