Plasma and surface diagnostics of silicon nitride thin film coatings generated by SiH_4+NH_3 RF discharges

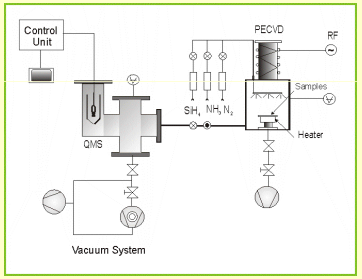
M. F. Romero[1], M. M. Sanz[1], E. Muñoz[1], A. Jiménez[1,2] and I. Tanarro[3]

[1]I.S.O.M. E.T.S.I.Telecomunicación, Univ. Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, Spain; [2]Departamento de Electrónica, Escuela Politécnica, Universidad de Alcalá, 28805, Alcalá de Henares, Madrid, Spain; [3]Inst. Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, Spain

MOTIVACIÓN

- A pesar de que los procesos de plasma en reactores de descarga eléctrica a baja presión son actualmente un paso crítico y esencial en la fabricación de dispositivos microelectrónicos, su desarrollo ha sido hasta ahora fundamentalmente empírico, variando los parámentros externos del reactor para obtener los objetivos deseados, mientras que el estado intrínseco del plasma era en gran parte desconocido [1, 2].
- En este trabajo se ha realizado un estudio de películas de nitruro de silicio (SiN) depositado por la técnica de depósito químico en fase vapor enriquecido por plasma (PE-CVD), analizando tanto el índice de refracción y la velocidad de depósito de las películas depositadas sobre silicio, como las especies químicas generadas durante la descarga, en función de la potencia y la relación de flujos aplicados.
- Además, el efecto de la potencia durante la descarga se ha estudiado también en películas de SiN sobre transistores de alta movilidad electrónica (HEMT) de AlGaN/GaN en su aplicación como capa pasivante para mitigar los efectos indeseados de colapso de corriente en este tipo de dispositivos.

EXPERIMENTAL

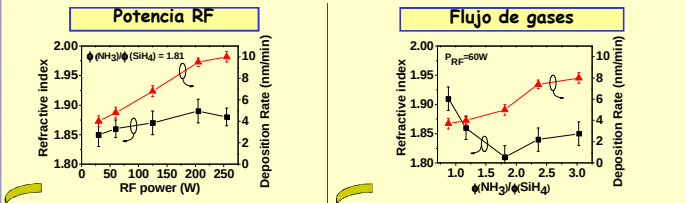


Película de SiN:
- Depósitos por técnica: PE-CVD
- Descarga eléctrica de RF a 13.56 MHz
- Gases precursores: SiH_4 + NH_3
- Temperatura = 300ºC
- Presión total = 0.7 mbar, t_{dep} ≈ 15 min

Las especies químicas durante la descarga se han analizado por medio de un espectrómetro de masas cuadrupolar (QMS) instalado en una cámara de vacío y conectado a la salida de los gases de la campana donde se genera el plasma a través de una válvula de regulación

CARACTERIZACIÓN DEL PASIVANTE

• Elipsometría:



El índice de refracción apenas varía

La velocidad de depósito aumenta linealmente con la potencia hasta alcanzar cierta saturación entre 200-250W

El índice de refracción tiende a aumentar cuando el flujo de NH_3 se reduce respecto al de SiH_4

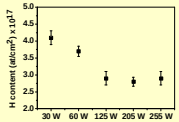
La velocidad de depósito crece progresivamente al aumentar el contenido de NH_3, hasta saturar

(Estos resultados siguen tendencias similares a otras publicadas en la literatura [3])

• FT-IR:

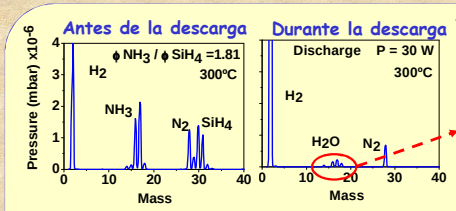
Contenido de hidrógeno[4]:

$[H] = 1.36 \times 10^{17} (A_{Si\text{-}H\ stretching} + 1.4 * A_{N\text{-}H\ stretching})$

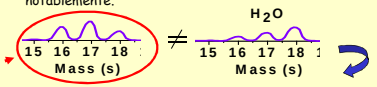


Las películas de SiN depositadas a potencias más altas presentan menor contenido de hidrógeno

ESPECTROS DE MASAS

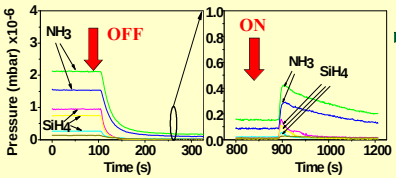


★ Durante las descargas, los picos asociados al SiH_4 y NH_3 se consumen prácticamente por completo, excepto para 30W, en que la disociación no es tan efectiva. En todos los casos, la concentración de H_2 aumenta notablemente.



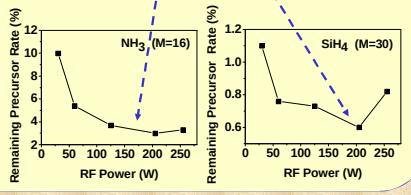
Quedan restos de NH_3 sin disociarse cuando la descarga es a 30 W

Evolución temporal durante la descarga



Precursor restante: cociente Señal On/Señal Off

Alrededor de 200 W el consumo de NH_3 y SiH_4 es máximo



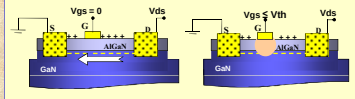
★ Comparando los "precursores restantes" de SiH_4 y NH_3 (tomando como referencia las masas 16 y 30, respectivamente), se observa que para una potencia alrededor de 200W hay un mínimo de concentración tanto para el silano como para el amoniaco.

(Estos resultados están en consonancia con la literatura [5])

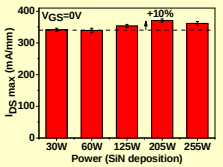
CARACTERIZACIÓN DEL TRANSISTOR

Transistor de alta movilidad electrónica (HEMT) de AlGaN/GaN

Dispositivo eléctrónico capaz de permitir o impedir el paso de corriente entre sus terminales de drenador (D) y fuente (S) en función del voltaje aplicado en su terminal de puerta (G).



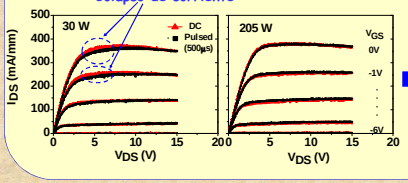
Dependencia de las características de salida con la capa pasivante de SiN



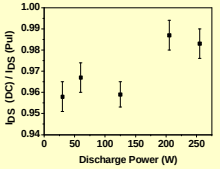
★ Se obtiene alrededor de un 10% más de corriente cuando la potencia aplicada en la descarga para la formación de la capa de SiN es alrededor de 200W.

Características de salida

Colapso de corriente



La relación Ids (DC) /Ids (Pulsado) más próximo a 1, indica menor grado de colapso.



Alrededor de 200 W el grado de colapso de corriente es menor

CONCLUSIONES

1. Se han encontrado relaciones entre los resultados obtenidos a través de espectroscopía de masas durante el depósito de SiN mediante PE-CVD y los resultados eléctricos obtenidos en la caracterización de HEMTs de AlGaN/GaN pasivados con dicha película de SiN.
2. Se ha observado que la incorporación de SiH_4 y NH_3 a la película de SiN es más favorable a una potencia de ~200W.
3. A partir de medidas de FT-IR, se ha obtenido que a potencias elevadas (~200W) el contenido de H en el SiN depositado es menor que a potencias bajas (~30W).
4. Los resultados de la caracterización eléctrica en HEMT de AlGaN/GaN muestran que aquellos dispositivos pasivados con películas de SiN depositadas a ~200W, presentan mejores caterísticas de salida y menor grado de colapso que las depositadas a otras potencias, especialmente a potencias bajas (~30W), donde el grado de colapso es mayor.

➡ Todo parece indicar que el consumo de especies precursoras durante el depósito de SiN puede estar relacionado con el contenido de hidrógeno de las películas y a su vez con sus propiedades pasivantes en HEMTs de AlGaN/GaN.

REFERENCIAS

[1] M. M. Sanz, I. Tanarro "Plasmas basic concepts and nitrogen containing plasmas" in "Nitrides and dilute nitrides: Growth, physics and devices". Recent Res. Dev. Phys. Ser. India (en prensa) ISBN: 81-7895-250-5
[2] F. J. Gordillo-Vázquez , V. J. Herrero, I. Tanarro, "From carbon nanostructures to new photoluminescence sources: an overview of new perspectives and emerging applications of low pressure PECVD". Chem. Vapor Dep.13,2679 (2007)
[3] M.C.J.C.M. Krämer, "Gallium nitride-based microwave high-power heterostructure field-effect transistors design, technology and characterization". Eindhoven: PhD thesis, Technische Universiteit Eindhoven (2006). ISBN: 13-978-90-386-1893-7
[4] W.A. Lanford, M. J. Rand, Journ. Appl. Phys. 49, 2473 (1978)
[5] D. L. Smith, A.S. Alimonda, C.C. Chen, S.E. Ready, B. Wacker, "Mechanism of SiN$_x$H$_y$ Deposition from NH_3-SiH_4 Plasma." J. Electrochem. Soc., Vol. 137 (2), 614 (1990)

AGRADECIMIENTOS

❖ Este trabajo ha sido financiado en parte por la beca-contrato FPU de investigación predoctoral otorgada por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) de España, y en parte por el proyecto Europeo KORRIGAN (EDA—04/102.052/032 CA 2157v7).

Plasma and surface diagnostics of silicon nitride thin film coatings generated by SiH_4+NH_3 RF discharges.

M. F. Romero[1], M. M. Sanz[1], E. Muñoz[1], A. Jiménez[1] and I. Tanarro[2]
[1]ISOM-Univ. Politécnica Madrid (UPM). ETSIT, Madrid, Spain.
[2]Inst. Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, Spain
e-mail: itanarro@iem.cfmac.csic.es

Although plasma processing in low pressure electric discharge reactors has become an extensive and critical step in the fabrication of microelectronic devices, its development has been carried out mostly empirically so far, by changing external reactor parameters in order to develop the best achievable film properties, whereas the intrinsic state of the plasma has been largely unknown [1, 2].

In this work, silicon nitride (SiN) thin films have been grown on silicon samples and on AlGaN/GaN High Electron Mobility Transistors (HEMT) by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PE-CVD). The SiN coatings have been produced in a RF discharge reactor, employing SiH_4 and NH_3 as precursors, at different electric powers and gas flow ratios. During depositions, the plasmas have been characterized by mass and time resolved quadrupole mass spectrometry, and the depletion ratios of parent gases have been observed. Afterwards, the refractive indexes and growth rates of the films have been analysed by ellipsometry, and their composition, by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. The electrical characteristics and frequency responses of these films when deposited on HEMT (where they are just usually employed to passivate these devices against current collapses) have been studied too by means of DC, pulsed currents, and small signal RF measurements.

The plasma characteristics for the different deposition conditions have been correlated with the subsequent changes in the properties of the films. A comparison with the results previously reported in the literature is addressed.

[1] M. M. Sanz, I. Tanarro “Plasmas basic concepts and nitrogen containing plasmas” in “Nitrides and dilute nitrides: Growth, physics and devices”. Recent Res. Dev. Phys. Ser. India (en prensa) ISBN: 81-7895-250-5
[2] F. J. Gordillo-Vázquez , V. J. Herrero, I. Tanarro, “From carbon nanostructures to new photoluminescence sources: an overview of new perspectives and emerging applications of low pressure PECVD”. Chem. Vapor Dep. 13, 2679 (2007)
[3] E. Sillero, “Desarrollo de tecnologías de procesado asistido por plasma para nitruros III-V. RIE y PECVD. Proyecto Fin de Carrera. (2005).
[4] M.C.J.C.M. Krämer, Gallium nitride-based microwave high-power heterostructure field-effect transistors design, technology and characterization. PhD Thesis, Eindhoven Technische Universiteit, ISBN-13: 978-90-386-1893-7 (2006).