



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA  
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO TECNOLÓGICO

INFORME DE SEGUIMIENTO DE SEGUNDO AÑO

<b>Investigador Principal: STEFANO CHIUSI</b>
<b>Título del Proyecto: PROCESAMIENTO LASER PARA NANOTECNOLOGIA: CAPAS DELGADAS DE SILICIO-GERMANIO-CARBONO SOBRE DIELECTRICOS DE ALTO-K</b>
<b>Organismo: UNIVERSIDAD DE VIGO</b>
<b>Centro: ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES</b>
<b>Departamento: FISICA APLICADA</b>
<b>Fecha de inicio del proyecto: 01/12/2003</b>
<b>Fecha de finalización del proyecto: 30/11/2006</b>

Fecha:

Conforme el  
Representante Legal  
Del Organismo

El Investigador  
Principal

Fdo.:

Fdo.: Stefano Chiussi

**A. ACTIVIDADES REALIZADAS Y GRADO DE CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS**

**ILMO. SR. SUBDIRECTOR GENERAL DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**  
Paseo de la Castellana, 160. 28071 MADRID

1. *Describa las actividades realizadas durante el último año. Indique la producción científica y tecnológica (publicaciones y trabajos enviados, patentes solicitadas, etc.) a que haya dado lugar el proyecto hasta este momento.*

### **Actividades realizadas**

En los primeros 18 meses del proyecto se han realizado, hasta la fecha, las siguientes actividades:

1. Optimización del sistema de alto vacío para procesamiento de obleas de 3" y ampliación con el fin de poder realizar el estudio "in situ" de los procesos inducidos por radiación láser. Mediante estos trabajos se ha conseguido:
  - a. Mejorar de la presión base a  $10^{-9}$  mbar.
  - b. Optimizar considerablemente el sistema de purga, evitando a largo plazo el depósito de películas en las ventanas de la cámara de vacío (problema típico en procesamientos CVD asistidos por fotones).
  - c. Control "in situ" de la reflectividad de las muestras durante el proceso de cristalización.
  - d. Control del umbral de ablación mediante videocámara y cámara CCD
2. Estudio de la posibilidad de limpieza de sustratos de Si y de dieléctricos de alto-k ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{HfO}_2$ ) mediante técnicas láser (Tarea 1.1). En concreto se ha intentado eliminar la capa de óxido nativo del Si y de activar la superficie de los dieléctricos mediante procesos fotolíticos inducidos por láser excímero. El laborioso análisis detallado mediante TOF-SIMS y Microscopía Electrónica de Transmisión se está todavía realizando y esperamos tener resultados definitivos a finales de julio 2005.
3. Producción de aleaciones de a-SiGeC:H (Tarea 1.2, 3.1 y 3.2) con alto contenido de carbono enlazado, mediante la técnica LCVD en configuración paralela. También se han determinado los parámetros experimentales necesarios para producir capas altamente uniformes con espesor y composición bien definida tanto sobre obleas de 3" como en zonas definidas por máscaras especiales. Queremos destacar:
  - a. La obtención de recubrimientos con una importante incorporación de carbono enlazado (hasta 10%) en las aleaciones del sistema ternario SiGeC.
  - b. El depósito extremadamente uniforme sobre toda la oblea de 3" de diámetro y
  - c. mediante máscaras especiales, en zonas pequeñas (hasta  $< 10 \mu\text{m}$  de resolución lateral) con
  - d. ajuste de espesor muy preciso (resolución  $< 1 \text{ nm}$ ).
4. En cuanto a la tarea 2.1. "Elección, adquisición y producción de sustratos", hemos decidido trabajar tanto con dieléctricos de alto-k "convencionales" ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) como con dieléctricos en fase más experimental como el  $\text{La}_2\text{O}_3$  y el  $\text{HfO}_2$ . Dicha elección se realizó por una parte en función de los intereses de la industria (Siemens, Infineon) con la cual tenemos contactos directos o indirectos y por otra en función de su accesibilidad (coste, proveedores fiables).
5. Se ha iniciado el estudio de los efectos de la radiación láser sobre los dieléctricos de alto-k (tarea 2.2.), realizando la parte experimental relativa al procesamiento láser. Los resultados y su caracterización detallada mediante XPS, TOF-SIMS y Microscopía Electrónica de Transmisión se esperan para finales de julio.
6. En cuanto a las tareas 4.1 y 4.2, se realizó un exhaustivo estudio de los parámetros experimentales correspondientes al proceso ELC de aleaciones de SiGeC que permitió producir, tal como indican los resultados de Microscopía Electrónica de Transmisión de alta resolución, material nanocristalino con tamaños de grano alrededor de decenas de nm y aleaciones epitaxiales sobre obleas de Si(100). Con el fin de minimizar costes se realizó un primer estudio de los efectos de la radiación láser sobre el sistema SiGeC / dieléctrico ultra-delgado utilizando capas de SiGe sobre capas delgadas de  $\text{SiO}_2$  en lugar de capas de dieléctricos de alto-k. Los primeros resultados indican que se puede efectivamente cristalizar el semiconductor amorfo sin modificar considerablemente la capa de dieléctrico.
7. Finalmente han iniciado los estudios sobre la simulación de los procesos de fusión y resolidificación mediante diferentes métodos analíticos y numéricos.

## Publicaciones

Los resultados obtenidos hasta la fecha dieron lugar a varias contribuciones en congresos internacionales y publicaciones en revistas de reconocido prestigio internacional. Para aumentar la divulgación de estos resultados se creó recientemente una página web <http://www.laser.uvigo.es/Investigacion/Materiales/materiales.es.htm> en la cual se pueden encontrar los enlaces tanto a las publicaciones como a las contribuciones a congresos derivadas de este proyecto. En concreto se presentaron

### 10 contribuciones a congresos internacionales

- S.Chiussi, E.López, J.Serra, P.González, B.León  
**UV Laser Assisted Processing of Thin Silicon-Germanium-Carbon alloys**  
4 th Int'l Conf. on Photo-Excited Processes and Applications (ICPEPA-4), Lecce (2004) Italia
  
- E.López, S.Chiussi, P.González, J.Serra, C.Serra, B.León  
**Influence of the Substrate Temperature on the ArF Laser induced Chemical Vapour Deposition of Ge Containing Thin Films**  
4 th Int'l Conf. on Photo-Excited Processes and Applications (ICPEPA-4), Lecce (2004) Italia
  
- E.López, S.Chiussi, U.Kosch, P.González, J.Serra, C.Serra, B.León  
**Compositional, Structural and Optical Properties of Si-Rich a-SiC:H Films Deposited by ArF-LCVD**  
4 th Int'l Conf. on Photo-Excited Processes and Applications (ICPEPA-4), Lecce (2004) Italia
  
- J.C.Conde, P.González, F.Lusquiños, S.Chiussi, J.Serra, B.León  
**Finite Elements Analysis of Heteroepitaxial SiGe Layers grown by Excimer Laser**  
4 th Int'l Conf. on Photo-Excited Processes and Applications (ICPEPA-4), Lecce (2004) Italia
  
- J.C.Conde, P.González, F.Lusquiños, S.Chiussi, J.Serra, B.León  
**Analytical and Numerical Calculations on the Temperature Distribution on Si and Ge induced by Excimer Lasers**  
4 th Int'l Conf. on Photo-Excited Processes and Applications (ICPEPA-4), Lecce (2004)
  
- E.López, U.Kosch, S.Chiussi, F.Quintero, P.González, J.Serra, C.Serra, B.León  
**Tailored film properties and surface morphology of Ge containing films through ArF-Excimer Laser assisted growth**  
European Materials Research Society Conference (EMRS), Strasbourg (2004) Francia
  
- S.Chiussi, E.López, J.Serra, P.González, B.León, M.Pérez-Amor  
**Growth and Modification of Thin Films at Low Substrate Temperatures through UV Laser Assisted Processing**  
1 st NanoSpain Workshop, Phantoms Foundation, San Sebastian (2004) España
  
- Ch.B.Lioutas, N.Frangis, S.Soumelidis, S.Chiussi, E.López, B.León  
**High resolution electron microscopy study of SiGeC thin films grown on Si(100) by laser assisted techniques**  
European Materials Research Society Conference (EMRS), Strasbourg (2005) Francia
  
- S.Chiussi, E.López, F.Gontad, J.Serra, P.González, B.León  
**Excimer Laser Assisted Processing of Silicon-Germanium-Carbon Films**  
1st Int'l WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai (2005) Japón
  
- S.Chiussi, E.López, J.Serra, P.González, B.León  
**UV Laser Assisted Processing of Thin Silicon-Germanium-Carbon Films**  
4th Int'l Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-4) Awaji, Hyogo (2005) Japón

### 5 publicaciones en revistas de reconocido prestigio internacional

- E.López, S.Chiussi, P.González, J.Serra, C.Serra, B.León  
***Influence of the Substrate Temperature on the ArF Laser induced Chemical Vapour Deposition of Ge Containing Thin Films***  
Applied Surface Science (2005) aceptado
- E.López, S.Chiussi, U.Kosch, P.González, J.Serra, C.Serra, B.León  
***Compositional, Structural and Optical Properties of Si-Rich a-SiC:H Films Deposited by ArF-LCVD***  
Applied Surface Science (2005) aceptado
- J.C.Conde, P.González, F.Lusquiños, S.Chiussi, J.Serra, B.León  
***Finite elements analysis of heteroepitaxial SiGe layers grown by excimer laser***  
Applied Surface Science (2005) aceptado
- J.C.Conde, P.González, F.Lusquiños, S.Chiussi, J.Serra, B.León  
***Analytical and numerical calculations of the temperature distribution on Si and Ge induced by excimer lasers***  
Applied Surface Science (2005) aceptado
- S.Chiussi, E.López, J.Serra, P.González, B.León  
***UV Laser Assisted Processing of Thin Silicon-Germanium-Carbon Films***  
Thin Solid Films (enviado)
- Ch.B.Lioutas, N.Frangis, S.Soumelidis, S.Chiussi, E.López, B.León  
***High resolution electron microscopy study of SiGeC thin films grown on Si(100) by laser assisted techniques***  
Applied Surface Science (enviado)

### 3 conferencias sobre temas estrechamente relacionados con el congreso

- S.Chiussi  
***El laser en la producción de aleaciones de SiGeC para nanoelectrónica en “La nanotecnología: un gran reto para este siglo”***  
Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Pontevedra (2004), España
- S.Chiussi  
***UV Laser Assisted Processing of Thin Silicon-Germanium-Carbon alloys***  
4 th Int'l Conf. on Photo-Excited Processes and Applications (ICPEPA-4), Lecce (2004) Italia
- S.Chiussi  
***Excimer Laser Assisted Processing of Silicon-Germanium-Carbon Films***  
1st Int'l WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai (2005) Japón

2. Si ha encontrado problemas en el desarrollo del proyecto, coméntelos, especificando su naturaleza (de carácter científico, de gestión, etc.), y, en su caso, describa las desviaciones causadas por ellos con respecto a las previsiones de la propuesta original, o que puedan causar a la finalización del proyecto.

La incorporación de la primera anualidad 3 meses después del inicio del proyecto retraso la compra de algunos componentes imprescindibles para la realización de los experimentos. Además se sufrió un considerable retraso por no conceder la beca FPI solicitada para el proyecto, con lo cual se dificultó la incorporación inmediata de un alumno de 3<sup>er</sup> ciclo, imprescindible para realizar gran parte de las tareas experimentales. En marzo del 2005 se consiguió finalmente una pequeña financiación adicional por parte de la Xunta de Galicia, la

cual permitió la incorporación de un doctorando tal como había sido previsto en la solicitud original.

Es evidente, que estos factores retrasaron la labor en las diferentes tareas propuestas en la solicitud original, especialmente las tareas relacionadas con el laborioso análisis mediante microscopía electrónica de transmisión. Los efectos de este retraso sobre las previsiones de la propuesta original se conocerán después de terminar los exhaustivos análisis de los experimentos realizados hasta la fecha. Estos resultados que se espera tener a mediados de verano nos indicarán el tiempo y el esfuerzo que se necesitará para optimizar los procesos con vista al prototipo propuesto en la solicitud original.

### *3. Actividades previstas hasta la finalización del proyecto.*

Además de realizar todas las actividades previstas en el plan de trabajo original, se pretende

1. Mejorar el sistema de vacío y el sistema de control de gases para minimizar los contaminantes que puedan afectar a la calidad del objetivo final (dispositivo MOSFET lateral con canal de SiGeC sobre dieléctrico de alto k)
2. Realizar un estudio en profundidad sobre el efecto de la radiación láser sobre el "interfacial layer" entre el dieléctrico y la oblea de silicio
3. Estudiar la utilidad de los nanocristales obtenidos hasta la fecha para aplicaciones en fotónica
4. Crear una página web específica con el fin de aumentar la divulgación de los objetivos y resultados del proyecto.
5. Solicitar colaboraciones a nivel internacional en el ámbito del proyecto

## **B. PERSONAL EN EL PROYECTO**

***Nota:*** Se recuerda que las altas y bajas deben tramitarse de acuerdo con las "Instrucciones para el desarrollo de los proyectos de I+D" remitidas desde esta Dirección General con la resolución de aprobación del proyecto. En el caso de altas, es necesario adjuntar aceptación del investigador que se da de alta y su CV.

1. En el caso de que la ayuda concedida incluyera una partida para la incorporación de personal con cargo al proyecto, informe sobre la/s incorporación/es realizada/s, especificando nombre, titulación, situación laboral (beca o contrato) y tareas realizadas en el proyecto (**adjunte la documentación acreditativa**)  
-----

2. Indique si se han producido altas y/o bajas en el equipo investigador desde el inicio del proyecto y, en su caso, si han sido ya comunicadas previamente y autorizadas por esta Subdirección General.

Incorporación de Francisco Gontad Fariña (DNI 35456840V) Licenciado en Ciencias Físicas. Esta incorporación no se comunicó todavía a la Subdirección General ya que el alumno terminó su tiempo de prueba a finales de mayo.

## **C. PROYECTOS COORDINADOS** (Cumplimentar sólo por el coordinador si se trata de un proyecto coordinado)

Describa el desarrollo de la coordinación entre subproyectos en este año, y los resultados de dicha coordinación con relación a los objetivos globales del proyecto.

#### **D. RELACIONES O COLABORACIONES CON DIVERSOS SECTORES**

1. *En caso de que estuviera prevista la participación o respaldo activo por parte de alguna Empresa o Agente socio-económico con interés en el proyecto, indique cómo se está realizando dicha participación, y si se ha producido o tienen prevista alguna transferencia concreta de resultados.*  
-----
2. *¿Se ha modificado la relación y/o el apoyo de empresa o agente socio-económico previstas a la aprobación del proyecto?. En caso afirmativo, describa las modificaciones concretas.*  
-----
3. *Si el proyecto ha dado lugar a otras colaboraciones o transferencias, descríbalas.*  
-----

#### **E. COLABORACIONES Y PARTICIPACIÓN EN PROGRAMAS INTERNACIONALES**

1. *Si el proyecto ha dado lugar a colaboraciones con otros grupos de investigación, coméntelas brevemente.*

En cuanto a las colaboraciones queremos destacar que a raíz de los resultados obtenidos hasta la fecha se han establecido varias colaboraciones a nivel nacional e internacional, las cuales muy probablemente darán lugar a solicitudes de proyecto en el marco de la Unión Europea.

En concreto se iniciaron colaboraciones con:

- Prof. Ignaz Eisele, Dr. Joerg Schulze y Dr. Torsten Sulima, Nano & Micro Systems UniBWMünchen, BW-Universität München (Alemania) en el campo de los dieléctricos de alto-k y el tratamiento de los sustratos
- Prof. Juergen Brugger y Dr. Lianne Doeswijk, LMIS1-Microsystems and Nanoengineering, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suiza) en el campo de manqueras para el procesamiento LCVD
- Prof. Nikos Frangis, Electron Microscopy Laboratory, Aristotle University (Grecia) en el campo de Microscopía TEM de alta resolución
- Dr. Lucilla Fornarini, ENEA-Frascati (Italia)

Además se prevén nuevas colaboraciones con grupos que, en el reciente congreso ICSI-4 y el 1st Int'l WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, demostraron un gran interés en los resultados obtenidos hasta la fecha.

2. *Si ha participado en proyectos del Programa Marco de I+D de la UE y/o en otros programas internacionales, en temáticas relacionadas con la de este proyecto, indique programa, tipo de participación y beneficios para el proyecto.*  
-----

## F. GASTOS REALIZADOS

1. Indique el total de gasto realizado en el proyecto hasta este momento:

	Total gasto de la anualidad (€)	Total gasto acumulado desde el inicio del proyecto (€)
Personal		
Otros costes de ejecución:		
<b>TOTAL GASTO REALIZADO</b>		

*Describir brevemente el material inventariable adquirido:*

- Software necesario para la adquisición y el procesamiento de datos de la cámara CCD que controla los procesos asistidos por láser
- Fuente de alimentación para el calefactor que calienta el portasubstratos
- Ordenador portátil necesario para realizar diferentes tareas imprescindibles para el rápido desarrollo del proyecto y la divulgación de sus resultados (Adquisición y tratamiento de datos durante el proceso; Control remoto del ordenador conectado directamente al sistema de procesamiento; Tratamiento de datos adquiridos por diferentes técnicas de caracterización (SEM, EDX, TEM, etc. etc.); Elaboración de publicaciones, presentaciones para conferencias, y cursos así como contribuciones a congresos; Creación de la página web, etc.)

2. *Comente brevemente si ha habido algún tipo de incidencia en este apartado, indicando si ha sido comunicada previamente y autorizada por esta Subdirección general.*

-----

3. *En caso de que exista algún remanente de consideración en alguno de los capítulos, indique las previsiones de gasto.*

En los próximos meses se prevé la compra de una bomba turbo-molecular que substituirá la existente que está a punto de averiarse, la renovación/mantenimiento de las líneas de gases tóxicos y del láser. Para poder efectuar estos cambios/, que conllevan gastos muy elevados con la mínima parada del sistema de procesamiento se decidió reducir los gastos de los primeros 18 meses y efectuar dichos cambios en el mes de agosto.

---

### CON ESTE INFORME DEBERÁ ADJUNTARSE:

Organismos sujetos al control del Tribunal de Cuentas y de la Intervención General de la Administración del Estado:

- **Certificado de la Gerencia o Servicio de Contabilidad** de la entidad participante (nombre, cargo, fecha, firma y sello) en el que se especifiquen los gastos efectuados, incluidos los costes indirectos, desglosados en: personal, costes de ejecución, costes indirectos y, en su caso, dotación adicional.

Entidades restantes:

- **Certificado de la Gerencia o Servicio de Contabilidad** de la entidad participante (nombre, cargo, fecha, firma y sello) en el que se especifiquen los gastos efectuados, desglosados en: personal, costes de ejecución, y, en su caso, costes indirectos y dotación adicional. Asimismo, se presentarán los justificantes originales de los gastos realizados.