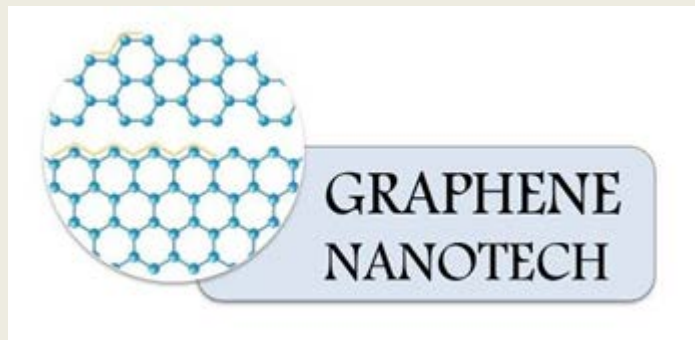


# Utilización de grafeno epitaxial para ahorro de energía



**ALEJANDRO RODRÍGUEZ**

[info@graphenenanotech.eu](mailto:info@graphenenanotech.eu)

<http://www.graphenenanotech.eu/>



**JOSE MARIA DE TERESA**

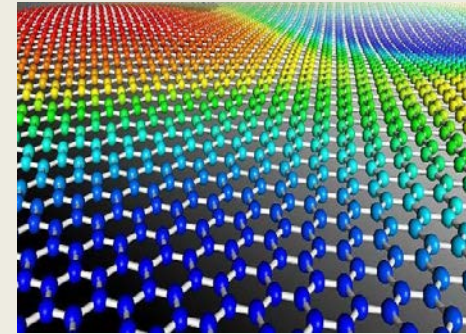
[deteresa@unizar.es](mailto:deteresa@unizar.es)

*Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón,  
CSIC-Universidad de Zaragoza, Spain*

*Laboratorio de Microscopías Avanzadas  
(LMA), Instituto de Nanociencia de Aragón  
(INA), Universidad de Zaragoza, Zaragoza,  
50018, Spain*

**Encuentro de Eco-Innovación empresarial, CIRCE,  
Zaragoza, 24 de junio de 2014**

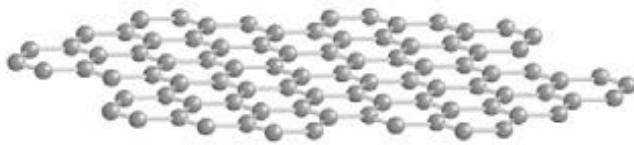
# ¿Qué es el grafeno ?



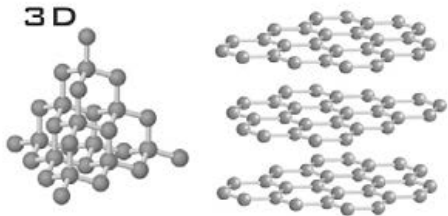
**Material bidimensional  
basado en carbono**

2D

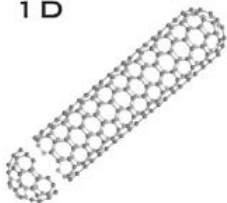
**grafeno**



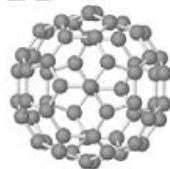
3D



1D



0D



**Publicación clave: 2004**

## Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films

K. S. Novoselov,<sup>1</sup> A. K. Geim,<sup>1\*</sup> S. V. Morozov,<sup>2</sup> D. Jiang,<sup>1</sup>  
Y. Zhang,<sup>1</sup> S. V. Dubonos,<sup>2</sup> I. V. Grigorieva,<sup>1</sup> A. A. Firsov<sup>2</sup>

**Science 306, 666 (2004)**

Graphene may be the best possible metal for metallic transistor applications. In addition to the scalability to true nanometer sizes envisaged for metallic transistors, graphene also offers ballistic transport, linear current-voltage ( $I$ - $V$ ) characteristics, and huge sustainable currents ( $>10^8$  A/cm<sup>2</sup>) (15). Graphene tran-

# Propiedades del grafeno y potenciales aplicaciones

## Properties:

- It is the thinnest material (one-atom thick material)
- It is highly metallic (high electron mobility)
- It is the stiffest known material
- It is a superb heat conductor
- It is chemically almost inert but it can be functionalised and mixed with other materials
- It is highly transparent (4% light absorption)
- It shows the QHE @ RT
- Covered with F: insulating (2D teflon)
- Covered with H: magnetic
- Long spin diffusion length: spintronics
- Bilayer graphene, nanoribbons: tunable semiconductor

## Applications:

### a) In thin film form:

- Touch screens
- Electrodes for solar panels and solar cells
- High-frequency transistors, electronic mixers for telecommunications
- Thin metal connections in electronic circuits
- Metrology (via the QHE @ RT)
- Batteries and supercapacitors
- Sensors, biosensors

### b) In composite form:

- composites with plastics, rubber, etc.
- mechanical reinforcements
- conductive inks
- antistatic properties
- sensing, biosensing

# Aplicaciones del grafeno en el mercado en 2014...



**Raqueta Head YOUTEK,  
Head Graphene (Precio: 159,95 €)**

*La Head Graphene es perfecta para el juego agresivo desde la línea de fondo.*



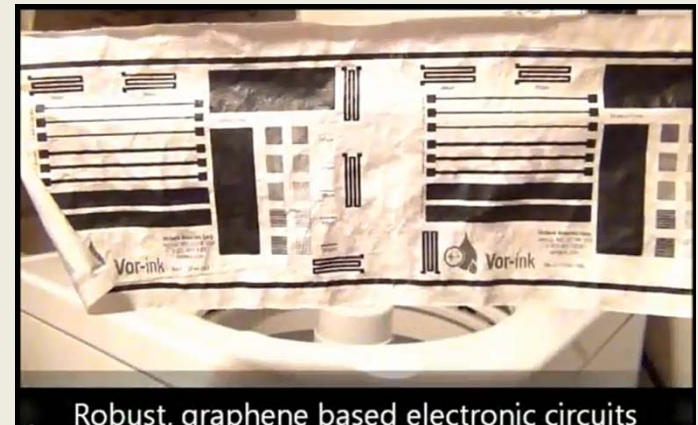
**Novak Djokovic**



**Maria Sharapova**

**VorbeckMaterials**

*Circuitos basados en tinta de grafeno que resisten lavados con detergente*



**...todavía baja penetración del grafeno en el mercado  
(21 M\$ en 2014)**

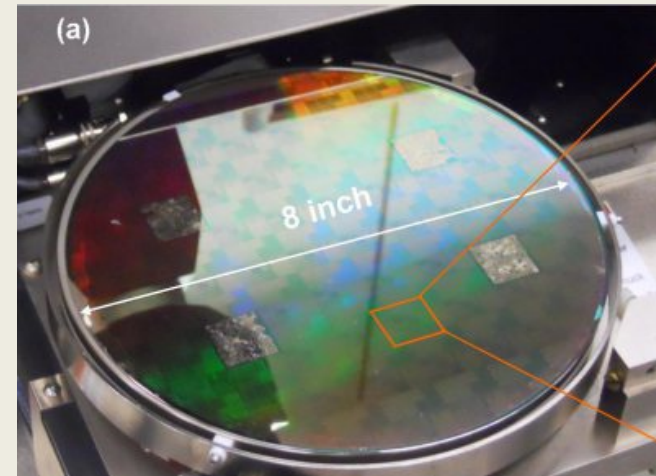
# Unas aplicaciones no tienen nada que ver con otras ni en términos de fabricación del grafeno ni en términos de la propiedad físico-química del grafeno utilizada

GRAFENO  
MONOCAPA  
SOBRE SUSTRATO



**ALTA MOVILIDAD  
ELECTRONICA, RELAJACION  
LENTA DEL ESPIN**

Aplicaciones en nanoelectrónica



COMPOSITES



**RESISTENCIA MECANICA Y  
FLEXIBILIDAD**

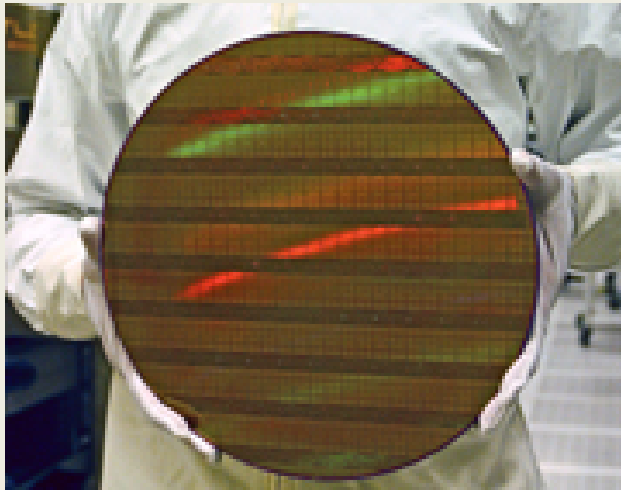
Desarrollo de una nueva generación de condones  
financiado por la Fundación Gates



# Métodos de fabricación de grafeno epitaxial sobre SiC

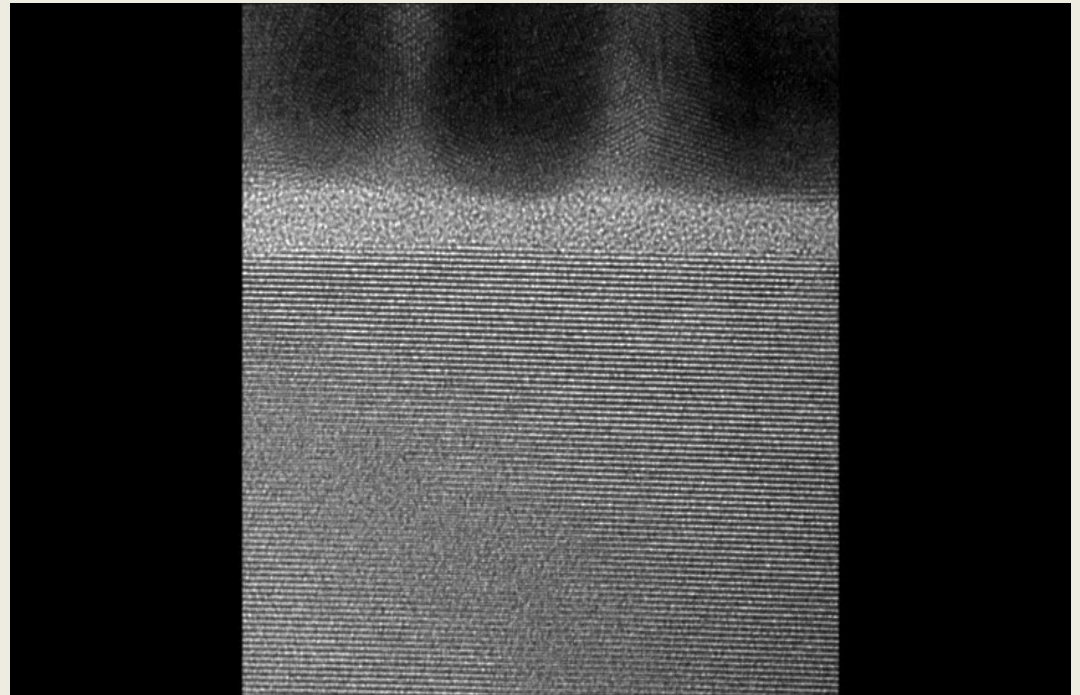
Las aplicaciones en nanoelectrónica estarán basadas en los mismos conceptos que la industria del silicio: trabajo a nivel de oblea y nanofabricación con litografía óptica

Segregación de carbono a alta temperatura (1500-2000°C) en la superficie de obleas de SiC (carburo de silicio). Se llama epitaxial por la conmensurabilidad de la red cristalina hexagonal del grafeno y la del SiC



Resolución hoy ~ 32 nm (NSR-S621D de Nikon)

\*Producción: 200 obleas/hora con obleas de 300 mm de diámetro



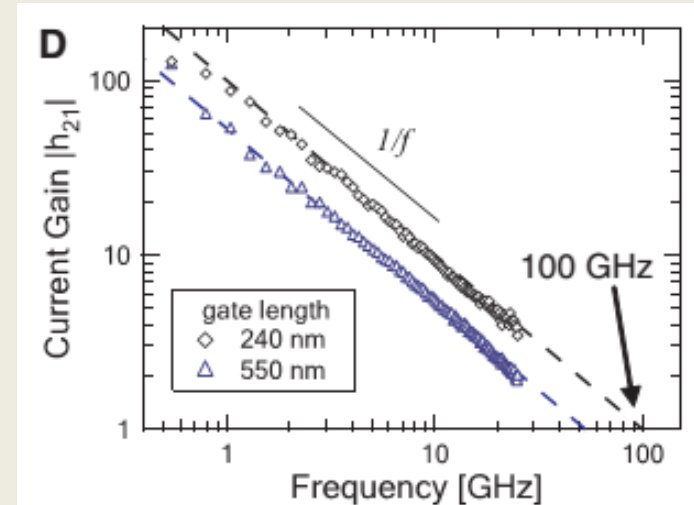
Video de SiC obtenido en Titan, Zaragoza (R. Arenal)

# Aplicaciones de grafeno crecido sobre SiC en el ámbito de la de energía

## CIRCUITOS INTEGRADOS

### PROPIEDADES A EXPLOTAR:

- Alta movilidad electrónica y velocidad de saturación
- Elevada densidad de corriente posible
- Elevada frecuencia de trabajo posible
- Excelente conductividad térmica del grafeno y del SiC



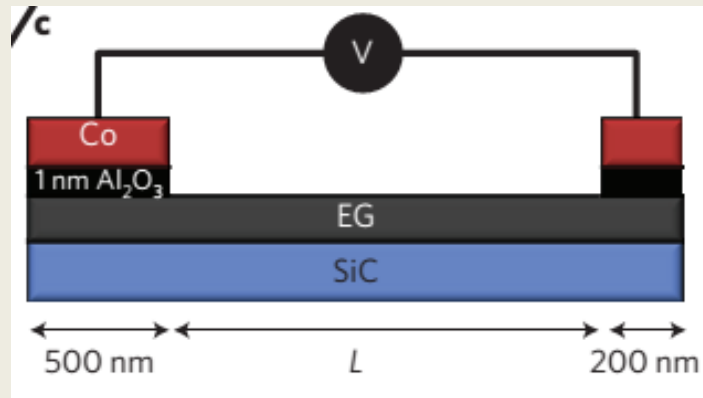
Lin *et al.*, Science (2010) 327, 662

### APLICACIONES POSIBLES:

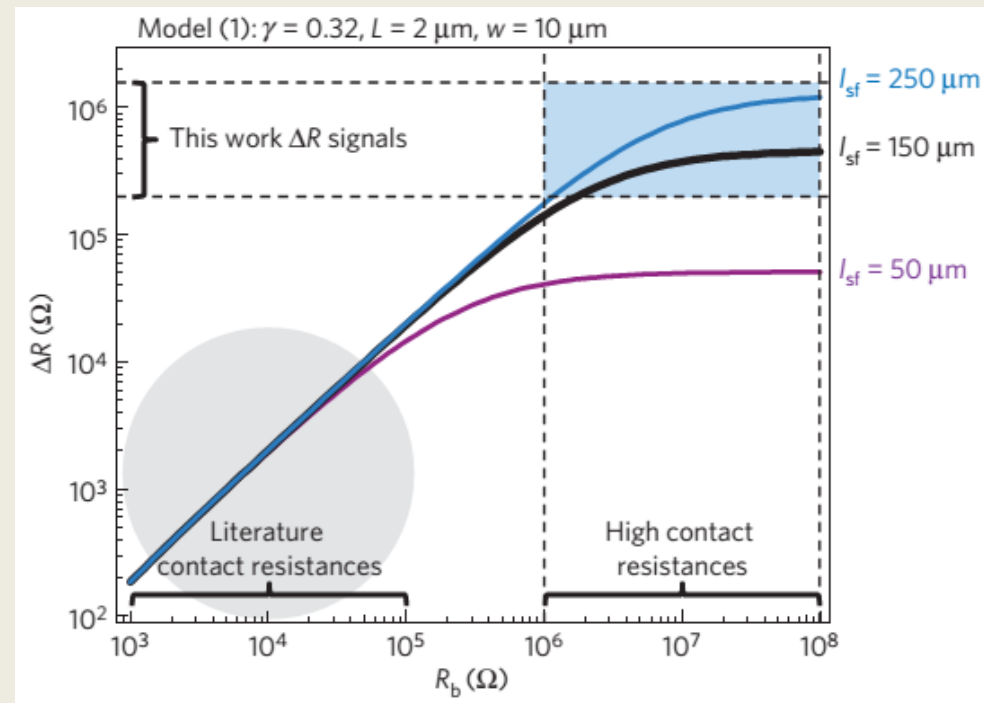
- Mayor eficiencia (operaciones/segundo) en el funcionamiento del dispositivo
- Evacuación más efectiva del calor generado por el dispositivo
- Nueva funcionalidad: dispositivos de alta frecuencia

# Aplicaciones de grafeno crecido sobre SiC en el ámbito de la de energía

## DISPOSITIVOS ESPINTRÓNICOS PARA ELECTRONICA DE BAJO CONSUMO



La longitud de difusión de espín podría ser de más de 100 micras (interacciones spin-órbita e hiperfina pequeñas), permitiendo la propagación de corrientes de espín y habilitando la integración memoria/lógica on-chip

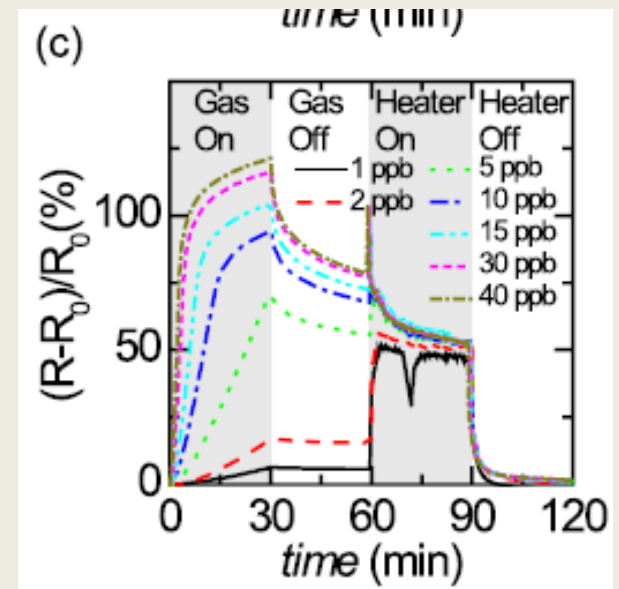
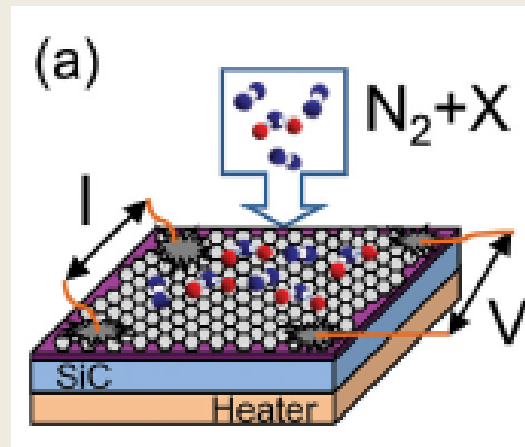




# Aplicaciones de grafeno crecido sobre SiC en el ámbito de la de energía

## SENSORES DE BAJO CONSUMO

Ejemplo: sensor de gases sin necesidad de calentar el sensor (se ha observado un cambio intenso de resistencia en presencia de  $\text{NO}_2$ )



Iezhokin *et al.*, APL 103 (2013) 053514

**-Fuerte potencial para su uso en biosensores, dada la experiencia previa en la funcionalización de nanotubos de carbono**

# Iniciativa industrial de grafeno epitaxial sobre SiC



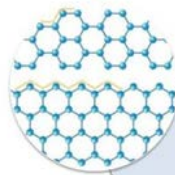
CSIC



+

*capital inversor  
aragonés*

[www.graphenenanotech.eu](http://www.graphenenanotech.eu)



GRAPHENE  
NANOTECH

[info@graphenenanotech.eu](mailto:info@graphenenanotech.eu)

**GRACIAS POR SU ATENCION!**