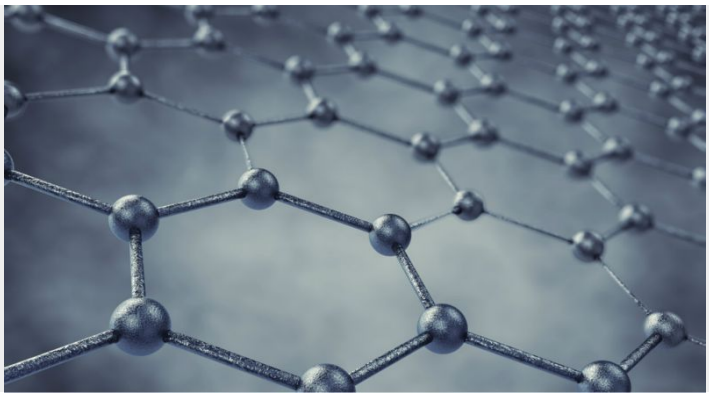
GRAFENO DEFORMADO

Posted on 15 agosto, 2017 by Maurice Oliva Leyva



Hace ya más de una década que el grafeno, un material compuesto por una monocapa de átomos de carbono en una estructura hexagonal, apareció en escena y aún mantiene su protagonismo.

Category: Ciencia

Tag: Ciencias Exactas

Hace ya más de una década que el grafeno, un material compuesto por una monocapa de átomos de carbono en una estructura hexagonal, apareció en escena y aún mantiene su protagonismo.

> *Desde su obtención experimental en 2004, este material ha sido objeto de estudio generando una verdadera avalancha de trabajos científicos.*

Desde su obtención experimental en 2004, a partir de exfoliar el grafito con cinta adhesiva, este material ha sido objeto de estudio generando una verdadera avalancha de trabajos científicos. La razón de tanta actividad es debida a sus propiedades inusuales: mejor conductor eléctrico que la

plata, más fuerte que el acero, impermeable a los gases, mejor disipador térmico que el diamante, casi transparente, entre otras tantas. La combinación única de éstas y otras propiedades en un mismo material ha convertido al grafeno en un paradigma para nuevas tecnologías. Sin embargo, el verdadero carácter revolucionario del grafeno radica en que con su estudio los científicos han aprendido a crear nuevos materiales bidimensionales, desatándose así una nueva era en la ciencia de materiales. Quizá el ejemplo más elocuente resulta el megaproyecto europeo Graphene Flagship. Sin precedente histórico, por contar con un presupuesto de mil millones de euros para diez años contados desde 2013, Graphene Flagship tiene la misión de trasladar el grafeno, y al resto de la familia de materiales bidimensionales, de los laboratorios al beneficio de la sociedad.

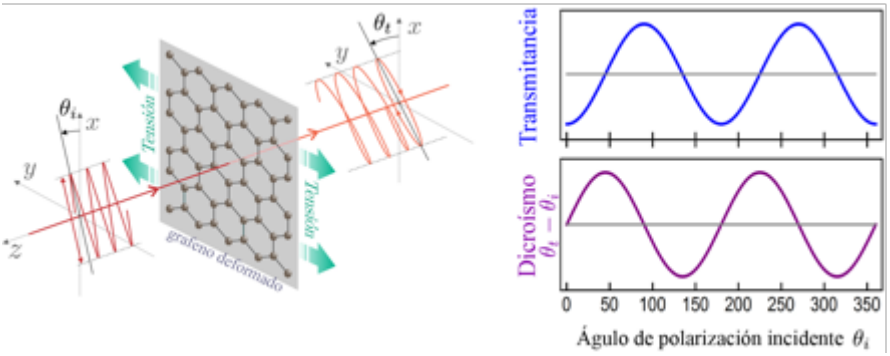
> *El grafeno ofrece un escenario muy barato para explorar fenómenos cuánticos relativistas.*

Más allá del interés tecnológico, el grafeno tiene garantizado su encanto desde un punto de vista de ciencia básica, pues los electrones en el grafeno se comportan de forma muy diferente a como lo hacen en los materiales tridimensionales. En estos últimos la energía de los electrones es proporcional al cuadrado de su velocidad, en cambio, en el grafeno la energía de los portadores de carga es directamente proporcional a la velocidad, como tempranamente anunció P. R. Wallace en un trabajo teórico en 1947. Dicha relación lineal entre energía y velocidad es característica de las partículas relativistas, de aquí el comportamiento "relativista" de los electrones en el grafeno. En consecuencia, el grafeno ofrece un escenario muy barato para explorar fenómenos cuánticos relativistas que sólo se podrían pensar a altas energías, que necesitan costosos y colosales aceleradores de partículas.

Al mismo tiempo, el grafeno resulta también un material con excepcionales propiedades mecánicas. Se ha demostrado que puede ser estirado más que cualquier otro material cristalino. Mientras la mayoría de los sólidos cristalinos dejan de ser estables para elongaciones más allá de un tres por ciento de su longitud, el grafeno puede ser estirado hasta por encima de un diez por ciento y aún sigue respondiendo elásticamente. Una vez que las tensiones que provocan su deformación son retiradas, este regresa a su forma inicial (como cualquier resorte). Basado en esta propiedad, el grafeno ha sido objeto de la ingeniería de deformaciones (en inglés *strain-enginneering*), un concepto que ya tenía una historia exitosa en la tecnología del silicio deformado. La idea central es deformar al material por medio de tensiones externas para alterar, de manera controlada, la disposición de los átomos en el cristal y con ello modificar convenientemente sus propiedades físicas.

Actualmente han sido reportados un gran número de efectos inducidos por deformaciones estructurales en el grafeno. Por ejemplo, los transistores basados en grafeno, comparados con los actuales hechos de silicio (un material semiconductor), tienen la desventaja de que no son fáciles de apagar y encender. Sin embargo, aún en un marco teórico, se ha discutido la posibilidad de sortear esta dificultad tecnológica usando grafeno deformado en los transistores, pues un estiramiento del

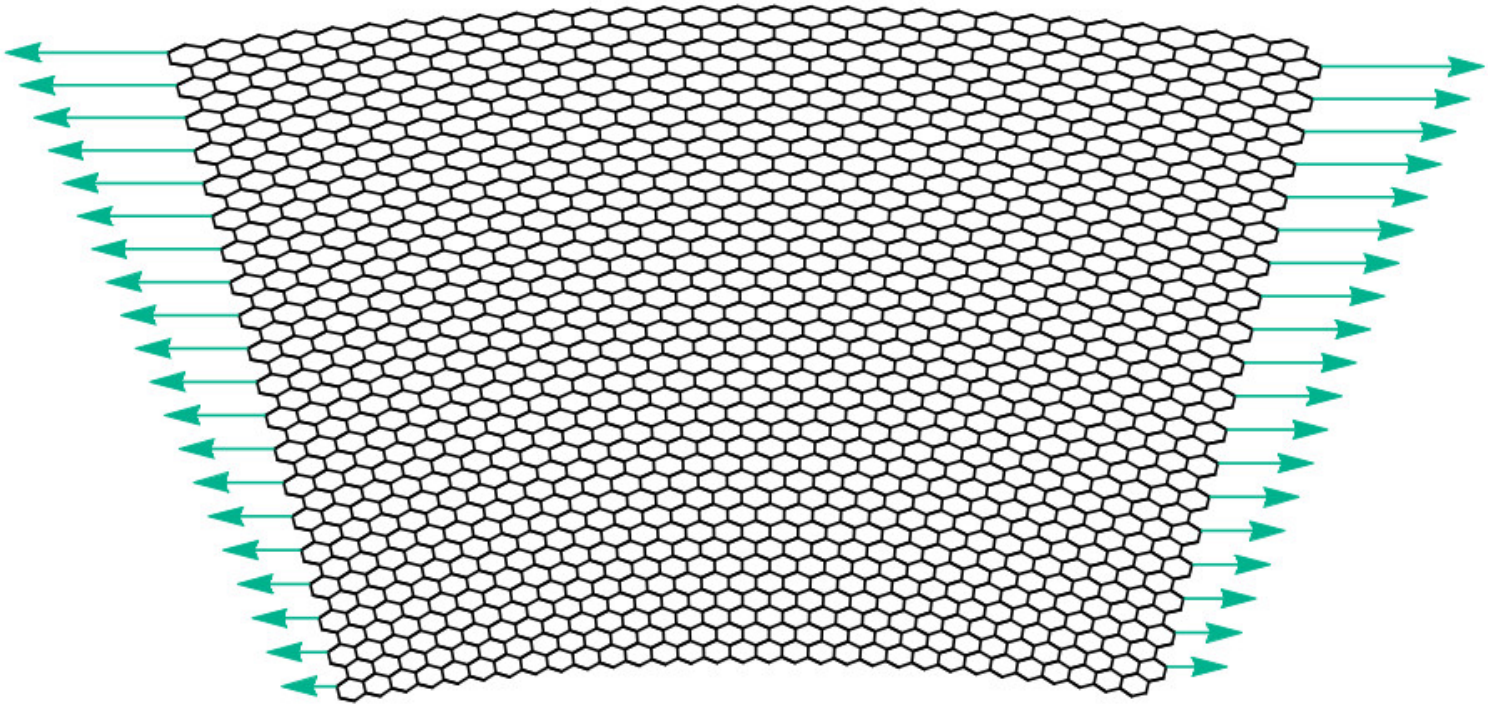
grafeno puede cambiar su carácter metálico (sin deformación) a semiconductor. *Strain-enginneering* también ha sido extendido al contexto óptico. Cuando el grafeno es estirado en una dirección provoca una disminución de su conductividad óptica en esa misma dirección, mientras en la dirección perpendicular, aumenta ligeramente. Esta anisotropía en la respuesta óptica del grafeno deformado es traducida en un cambio en la forma en que la luz es absorbida, respecto al estado no deformado. Tal hecho ha conducido a los investigadores a proponer un método para conocer el estado de deformación del grafeno, a partir de medir la intensidad de la luz que lo atraviesa.



Representación esquemática del cambio en las propiedades ópticas del grafeno debido a tensiones mecánicas externas.

Las deformaciones no uniformes, para las cuales la cercanía entre átomos de carbono cambia de un punto del material a otro, constituyen herramientas aún más útiles para modificar el comportamiento electrónico del grafeno. Resulta que bajo ciertos patrones de deformaciones no uniformes, se ha observado experimentalmente que los electrones en el grafeno se comportan como si estuvieran en un campo magnético uniforme, pero de intensidad un orden mayor que los campos magnéticos más fuertes de los que disponemos en los laboratorios actuales. Posiblemente, este efecto inducido por la alteración de la disposición de los átomos de carbono en el grafeno, es el ejemplo más exitoso de la ingeniería de deformaciones gracias a la posibilidad de cuantizar las energías de los electrones (niveles de Landau) en ausencia de campos magnéticos reales.

grafeno deformado



Esquema de una deformación no uniforme del grafeno cuyos electrones sienten como si estuvieran en un "campo magnético". Las fechas representan las tensiones necesarias para producir esta deformación tipo arco.

Más recientemente, el comportamiento de los electrones en el grafeno bajo deformaciones no uniformes y variables en el tiempo ha llamado la atención de los investigadores. Si la dependencia espacial de la deformación es sentida por los electrones como un campo magnético, la dependencia temporal es experimentada como un campo eléctrico. Partiendo de esta idea, en un reciente estudio se analiza el comportamiento electrónico en el grafeno cuando en éste se propaga una onda de sonido, y los resultados son interpretados como si el grafeno estuviera bajo una onda electromagnética, situación más entendida por los físicos. Los autores del mencionado estudio (Maurice Oliva y Gerardo Naumis) encontraron que los electrones se mueven preferentemente en la dirección de propagación del sonido. Dicha predicción ofrece la posibilidad de manipular los electrones en el grafeno por medio de ondas mecánicas, pero estas ideas apenas están en su fase embrionaria. C^2