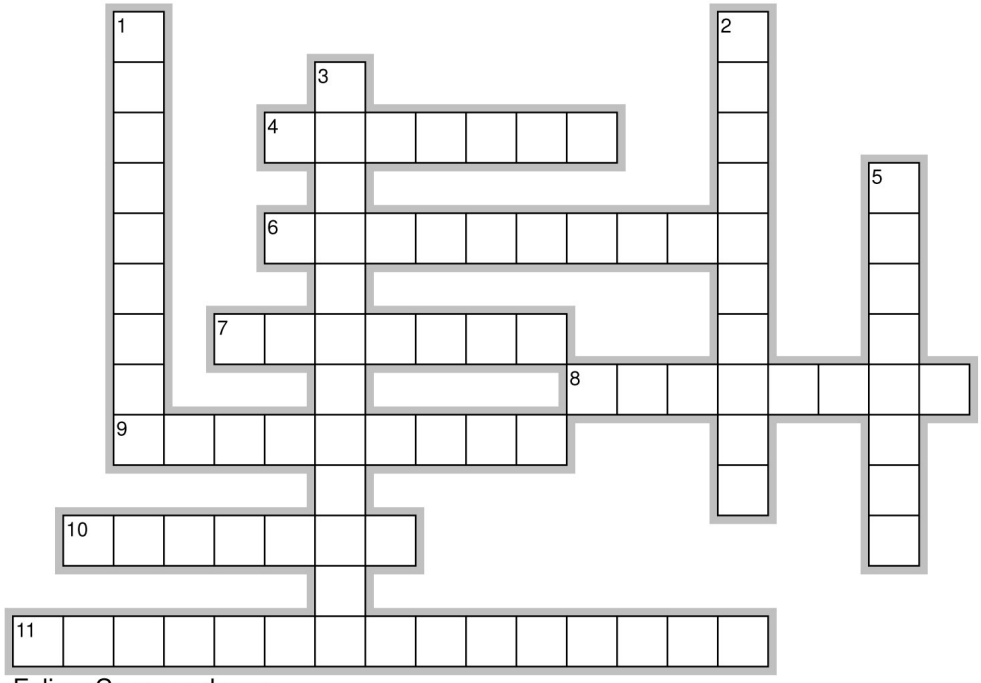
Alternativas al silicio

25/07/2024

ALTERNATIVAS AL SILICIO

A. REQUENA & VALLE DE ELDA © 2024



EclipseCrossword.com

HORIZONTALES

4. Ha sido el pilar de la industria de semiconductores durante más de medio siglo.
6. La existencia de alótropos demuestra cómo la organización de los átomos en diferentes arreglos puede resultar en materiales con propiedades radicalmente así, a pesar de estar compuestos por el mismo tipo de átomos.
7. Este compuesto presenta una única capa de átomos de carbono dispuestos en una estructura de panal y es notable por su fuerza, ligereza y conductividad eléctrica.
8. La sustitución con éxito del silicio por materiales alternativos podría tener un impacto profundo en la tecnología y en ésta.
9. El grafeno, un alótropo de carbono de una sola capa atómica con excepcionales propiedades eléctricas y mecánicas, se ha propuesto como tal, potencial del silicio.
10. Un ejemplo clásico de alotropía se encuentra en el carbono: el grafito, el diamante y el grafeno son alótropos de este elemento.
11. La actual de la industria de semiconductores está profundamente arraigada en el silicio, lo que significa que cualquier transición requeriría inversiones significativas en nuevas tecnologías de fabricación y diseño.

VERTICALES

1. El silicio no es óptimo para aplicaciones emergentes como la electrónica flexible, la optoelectrónica y la espintrónica. Una potencial solución radica en el empleo de éstos.
2. Ésta, hacia materiales semiconductores más allá del silicio no solo es una necesidad tecnológica sino también una oportunidad para abordar los crecientes desafíos energéticos y ambientales de nuestro tiempo.
3. A medida que nos acercamos a los límites físicos de miniaturización de los dispositivos de silicio, se hacen evidentes varias de ellas.
5. Una alternativa prometedora es la que la industria electrónica buscó en este elemento como posible sucesor del silicio.

El silicio ha sido el pilar de la industria de semiconductores durante más de medio siglo, gracias a su abundancia, coste relativamente bajo y las extensas propiedades semiconductoras que permiten su uso en una amplia gama de dispositivos electrónicos. Sin embargo, a medida que nos acercamos a los límites físicos de miniaturización de los dispositivos de silicio, se hacen evidentes varias limitaciones. Estas incluyen el efecto túnel cuántico en estructuras extremadamente pequeñas, la disipación de calor en dispositivos de alta densidad y la dificultad de integrar el silicio con otros materiales para aplicaciones específicas. Además, el silicio no es óptimo para aplicaciones emergentes como la electrónica flexible, la optoelectrónica y la espintrónica.

Una potencial solución radica en el empleo de alótropos. Un ejemplo clásico de alotropía se encuentra en el carbono: el grafito, el diamante y el grafeno son alótropos del carbono. El grafito es blando y opaco, con una estructura en capas que facilita su uso como lubricante o en lápices. El diamante, por otro lado, es extremadamente duro y transparente, con cada átomo de carbono enlazado tetraédricamente a otros cuatro átomos de carbono, lo que le confiere su impresionante dureza y claridad. El grafeno presenta una única capa de átomos de carbono dispuestos en una estructura de panal y es notable por su fuerza, ligereza y conductividad eléctrica. La existencia de alótropos demuestra cómo la organización de los átomos en diferentes arreglos puede resultar en materiales con propiedades radicalmente diferentes, a pesar de estar compuestos por el mismo tipo de átomos. Esta diversidad estructural es fundamental en muchos campos de la Ciencia y la tecnología, permitiendo el desarrollo de materiales con propiedades a medida para aplicaciones específicas.

El grafeno, un alótropo de carbono de una sola capa atómica con excepcionales propiedades eléctricas y mecánicas, se ha propuesto como un sustituto potencial del silicio. Su alta movilidad de electrones lo hace atractivo para aplicaciones en transistores de alta frecuencia y dispositivos optoelectrónicos. Además del grafeno, otros materiales bidimensionales como el disulfuro de molibdeno (MoS2) y el fosforeno ofrecen bandas de energía ajustables, lo que es crucial para la fabricación de semiconductores.

El nitruro de galio (GaN) y el carbono de silicio (carborundo) (SiC) son semiconductores de banda ancha que soportan altas temperaturas y voltajes, siendo ideales para aplicaciones en electrónica de potencia. Estos materiales pueden mejorar significativamente la eficiencia energética de los dispositivos electrónicos y están siendo investigados activamente para su uso en la próxima generación de dispositivos de potencia.

A pesar de las prometedoras propiedades de estos materiales alternativos, existen varios desafíos en el camino hacia su implementación generalizada. La síntesis de materiales de alta calidad, la fabricación de dispositivos a gran escala y la integración de estos materiales en sistemas electrónicos existentes, son tareas complejas. Además, la infraestructura actual de la industria de semiconductores está profundamente arraigada en el silicio, lo que significa que cualquier transición requeriría inversiones significativas en nuevas tecnologías de fabricación y diseño.

La sustitución con éxito del silicio por materiales alternativos podría tener un impacto profundo en la tecnología y la sociedad. La implementación de dispositivos electrónicos más eficientes energéticamente, podría contribuir a la sostenibilidad ambiental al reducir el consumo de energía global. Además, la electrónica flexible y los dispositivos optoelectrónicos avanzados abrirían nuevas aplicaciones en campos como la medicina, la energía renovable y las comunicaciones.



Imagen creada con ayuda de ChatGPT con DALL-E.

La búsqueda de alternativas al silicio en los dispositivos electrónicos es un área de investigación activa que promete superar las limitaciones de la tecnología actual y abrir nuevas posibilidades para aplicaciones futuras. Aunque los desafíos son significativos, los avances en la síntesis de materiales y las tecnologías de fabricación están acercando estos materiales alternativos a la viabilidad comercial. La transición hacia materiales

semiconductores más allá del silicio no solo es una necesidad tecnológica sino también una oportunidad para abordar los crecientes desafíos energéticos y ambientales de nuestro tiempo.

Una alternativa prometedora es la que la industria electrónica buscó en el germanio como posible sucesor del silicio. El silicio (Si) y el germanio (Ge) se encuentran en el grupo 14 (antiguo grupo IV) de la tabla periódica, con el germanio situado justo debajo del silicio, lo que significa que el germanio tiene un radio atómico mayor debido a que tiene una capa electrónica más. En términos de valores aproximados, el radio covalente del silicio es de aproximadamente 111 picómetros (pm), mientras que el radio covalente del germanio es de aproximadamente 122 picómetros (pm). Esto significa que el germanio es aproximadamente 11 picómetros mayor en radio que el silicio. Esta diferencia en tamaño tiene implicaciones en sus propiedades físicas y químicas, incluyendo la capacidad de integración en estructuras cristalinas y la movilidad de los portadores de carga en dispositivos semiconductores. Aunque esta diferencia puede parecer pequeña, es significativa a escala atómica y afecta a cómo estos elementos se utilizan en aplicaciones tecnológicas, especialmente en la industria de semiconductores.

La movilidad de los portadores de carga, que pueden ser electrones o huecos (las posiciones vacías que dejan los electrones cuando se mueven), es una medida de con qué rapidez pueden moverse estos portadores a través de un material bajo la influencia de un campo eléctrico. La movilidad es fundamental para la eficiencia de los dispositivos semiconductores, como los transistores, ya que afecta directamente la velocidad y el rendimiento del dispositivo. En el caso del germanio tiene una alta movilidad de electrones, aproximadamente 3900 $cm^2/V{\cdot}s$ para electrones y 1900 $cm^2/V{\cdot}s$ para huecos a temperatura ambiente, mientras que, en comparación, el silicio tiene una movilidad de electrones de aproximadamente 1400 $cm^2/V{\cdot}s$ para electrones y 450 $cm^2/V{\cdot}s$ para huecos, a temperatura ambiente. Estos valores muestran que tanto la movilidad de electrones como la de huecos son significativamente más altas en germanio que en silicio, lo que teóricamente hace al germanio un material más eficiente para ciertas aplicaciones en el ámbito de los semiconductores. Por otro lado, la conductividad eléctrica de un material semiconductor depende no solo de la movilidad de sus portadores de carga, sino también de la concentración de dichos portadores. Aunque el germanio tiene una mayor movilidad de portadores de carga, la conductividad eléctrica también depende de cómo se dope el material (la adición de impurezas para alterar sus propiedades eléctricas) y de las condiciones operativas específicas, como la temperatura. En todo caso, a pesar de la superior movilidad de portadores de carga del germanio, el silicio domina la industria de la electrónica por varias razones, incluyendo su abundancia, coste más bajo y una muy estable capa de óxido (dióxido de silicio, SiO_2) que es esencial para la fabricación de dispositivos semiconductores. El germanio, sin embargo, ha encontrado aplicaciones en áreas donde sus propiedades particulares, como una mejor movilidad de portadores de carga y un menor "gap" energético (salto o diferencia energética entre la capa de valencia y la de conducción) comparado con el silicio, ofrecen ventajas específicas, como en ciertos tipos de transistores y en la fotónica de infrarrojos. En suma, aunque el germanio es un mejor conductor de electrones que el silicio debido a su mayor movilidad de portadores de carga, la elección entre estos dos materiales depende de una variedad de factores técnicos y económicos, dependiendo de la aplicación específica.

El material basado en germanio puede conducir electrones a escalas aún más pequeñas, lo que permitiría que el germanio se convirtiera en transistores aún más pequeños, para dispositivos más rápidos, más pequeños y más potentes. Pero no había una manera fiable para que el germanio fuera "dopado", lo que controla cómo los electrones fluyen a través del material. Una regla fundamental es reemplazar un átomo con otro y eso funciona bien si ambos átomos son de tamaño similar. El germanio podría ser dopado con una combinación de dos átomos diferentes con un tamaño atómico promedio que similar a los de germanio. El investigador Jeheewan Kim e IBM demostraron que funcionaba. Tanto esta empresa, como el MIT, han abordado fabricación de materiales y dispositivos electrónicos ultradelgados, apilables y de alto rendimiento, que podrían utilizarse para construir sistemas electrónicos híbridos tan pequeños como una uña y tan potentes como una superordenador. La investigación puede ser un arte, dice Kim, que afirma que "los estudiantes especialmente, espero que vean que, si disfrutan de lo que hacen, entonces pueden ser lo que quieran ser".

La fabricación de materiales y dispositivos electrónicos ultradelgados, apilables y de alto rendimiento, es un tema fascinante y avanzado que se encuentra en la interfase de la nanotecnología, la ingeniería de materiales y la ciencia de semiconductores. Estos avances prometen revolucionar la industria electrónica de los sistemas híbridos de un tamaño minúsculo, con capacidades comparables a los superordenadores actuales. La investigación en el campo de los materiales ultradelgados ha experimentado un avance significativo con el descubrimiento del grafeno, un material bidimensional compuesto por una sola capa de átomos

de carbono dispuestos en una estructura de panal. El grafeno es conocido por su extraordinaria conductividad eléctrica, resistencia mecánica y flexibilidad. Sin embargo, el potencial de los materiales ultradelgados no se limita al grafeno, como hemos visto. Otros materiales bidimensionales, como los dicalcogenuros de metal (TMDs), fósforo negro y siliceno, ofrecen propiedades que única pueden ser explotadas para crear dispositivos electrónicos.

La tecnología de apilamiento de estos materiales a nivel atómico, permite la creación de heteroestructuras con propiedades electrónicas, ópticas y mecánicas a medida. Esta técnica, conocida como ingeniería de van der Waals, es crucial para el desarrollo de dispositivos ultradelgados de alto rendimiento, ya que permite la integración de diferentes materiales bidimensionales sin estar limitados en la compatibilidad de sus cristales estructuras cristalinas. Los dispositivos ultradelgados y apilables tienen una amplia gama de aplicaciones potenciales, desde la electrónica flexible y dispositivos portátiles hasta sensores avanzados y sistemas de comunicación de alta frecuencia. En medicina, podría emplearse para desarrollar implantes médicos, pequeños, flexibles y eficientes. En el ámbito de la computación, la reducción del tamaño de los componentes electrónicos a escalas pequeñas podría llevar a la creación de ordenadores cuánticos y superordenadores de alta eficiencia energética que quepan en la palma de la mano.

El desarrollo de los sistemas electrónicos presenta retos significativos. Uno de los principales retos es el control preciso del apilamiento de materiales bidimensionales a escala atómica, necesario para obtener las propiedades deseadas. Además, la integración de estos dispositivos en sistemas electrónicos más grandes y su producción a gran escala son obstáculos que deben superarse. Otro desafío importante es el desarrollo de métodos de fabricación que sean ambientalmente sostenibles y no empleen recursos costosos o raros. La superación de estos desafíos y el desarrollo exitoso de dispositivos electrónicos ultradelgados y apilables de alto rendimiento tendrán un impacto revolucionario en muchos sectores. En el campo de la electrónica de consumo, podría conducir a la creación de dispositivos más potentes, eficientes y compactos; en Ciencia e ingeniería, facilitar avances significativos en investigación y desarrollo, permitiendo experimentos y simulaciones previamente imposibles. A nivel social, estos avances mejoran la accesibilidad y la funcionalidad de la tecnología, contribuyendo a cerrar la brecha digital y fomentar un acceso social.

Los sistemas electrónicos híbridos ultradelgados y de alto rendimiento representan un emocionante horizonte en el campo de la nanotecnología y la electrónica avanzada. Aunque el camino hacia la realización de esta visión es desafiante, los beneficios potenciales justifican los esfuerzos continuados en investigación y desarrollo. La colaboración interdisciplinar entre científicos de materiales, ingenieros electrónicos y expertos en nanotecnología será crucial para superar los obstáculos técnicos y lograr avances significativos en esta prometedora área.

ALTERNATIVAS AL SILICIO

A. REQUENA & VALLE DE ELDA © 2024



EclipseCrossword.com