

MATERIAL DE VIDRIO A PARTIR DE ZNO, GRAFENO, TIO₂ Y TEOS, Y
METODO DE FABRICACION DEL MISMO

CAMPO TÉCNICO

5

La presente invención se ubica dentro del campo técnico de la obtención de nuevos materiales con propiedades mejoradas, más específicamente en la fabricación de nuevos materiales de vidrio a partir de materiales que suministran mejores propiedades mecánicas.

10

Así, la presente invención está dirigida a una nueva tecnología de material de vidrio crudo creado a partir de nuevos materiales y nuevos procesos, donde dicho nuevo material es amigable con el medio ambiente, no lleva a cabo procesos de explotación de tierras, no son nocivos para la salud humana y no

15

producen desechos tóxicos. Al trabajar con nuevos materiales, se realizan procesos químicos y físicos, por lo cual no se utilizan procesos de altas energía que dejan una gran huella de carbono en el ambiente. Finalmente, los materiales base pueden ser obtenidos a partir de residuos que se presentan en la naturaleza, por lo tanto, se aporta un gran proceso innovador y se ayuda a

20

disminuir de manera considerable el impacto ambiental, brindando un producto más amigable y con propiedades ópticas y mecánicas mejoradas. Así, la presente invención utiliza una combinación de óxido de zinc (ZnO), grafeno, dióxido de titanio (TiO₂), y tetraetilortosilicato (TEOS) para obtener el vidrio con propiedades altamente mejoradas con respecto al estado del arte.

25

Adicionalmente, la presente invención está dirigida a un método para la obtención o fabricación del nuevo material de vidrio a base de los componentes anteriormente definidos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

30

El vidrio es uno de los materiales más empleados en el campo de las construcciones en los últimos años, debido a su aspecto agradable, sus

propiedades ópticas y traslúcidas, al tiempo que permite que una edificación tenga un aspecto agradable tanto interna como externamente. Sin embargo, uno de los grandes inconvenientes de este material son las materias primas necesarias para su proceso de fabricación, donde dicha materia base primaria para la producción de este material es la sílice, y para obtener este recurso es necesario realizar explotación de tierras o procesos de minería para extraer la sílice pura de los cristales de cuarzo. Por otro lado, las materias primas secundarias son altamente contaminantes, al tiempo que son peligrosas para el medio ambiente, producen desechos tóxicos y son nocivos para la salud humana.

De este modo, para la obtención de la arena sílice, es necesario realizar procesos de extracción de minerías, lo que expone gravemente la salud humana. Los residuos generados en las diferentes etapas de la actividad minera, desde la extracción del mineral hasta el procesamiento del mismo, involucran considerables problemas ambientales como son la contaminación visual, debido al gran volumen de los desechos generados, y química, por la emisión al medio ambiente de elementos peligrosos, como son los metales pesados, como Pb y As.

Así las cosas, en el estado del arte existe una pluralidad de divulgaciones relacionadas con nuevos materiales para la fabricación de vidrio crudo, dentro de las que se encuentra el documento CN 108993470 relacionado con la preparación de un material fotocatalítico con una estructura de matriz doble de $\text{TiO}_2/\text{RGO}/\text{ZnO}$ y una aplicación del material fotocatalítico en la degradación fotocatalítica de un colorante orgánico rodamina B. Las matrices de nanotubos de TiO_2 se preparan mediante un método de anodización de dos pasos y RGO capas delgadas, como sitios de crecimiento de nanovarillas de ZnO , se depositan en las superficies de los nanotubos de TiO_2 , luego la estructura de matriz doble de $\text{TiO}_2/\text{RGO}/\text{ZnO}$ se construye mediante crecimientos verticales de matrices de nanovarillas de ZnO en una condición de condensación de reflujo. Bajo la irradiación de luz ultravioleta-visible, el catalizador exhibe una excelente

actividad y estabilidad de la degradación fotocatalítica del colorante orgánico rodamina B. El método de preparación es simple y fácil de operar, las condiciones de reacción son suaves y el catalizador se puede separar, recuperar y reutilizar de manera eficiente. El material fotocatalítico compuesto tiene importantes valores de aplicación práctica en los campos de la tecnología de preparación de materiales y la degradación de contaminantes ambientales, y es beneficioso para el desarrollo sostenible del medio ambiente y la energía.

Sin embargo, la invención definida en esta anterioridad menciona un material que no puede ser usado para obtener un nuevo vidrio con propiedades mejoradas, por lo que no permite solucionar el problema existente en el estado del vidrio, al tiempo que no puede ser considerado como amigable con el medio ambiente.

De otra parte, se encuentra el documento CN 108948711 que describe un plástico de ingeniería PC/ABS de alta compatibilidad y respetuoso con el medio ambiente que incluye, en peso, 30-40 partes de policarbonato aromático, 20-40 partes de un terpolímero de estireno, 5-12 partes de micropolvo de nanosilicio, 4-10 partes de nano TiO_2 , 3-9 partes de nano carbonato de calcio, 2-6 partes de nano ZnO , 2-4 partes de un agente endurecedor, 2-5 partes de un retardante de llama respetuoso con el medio ambiente nanocompuesto a base de antimonio, 2-6 partes de fibra de vidrio y 4-10 partes de nanomaterial de grafeno recubierto. El plástico de ingeniería tiene un método de preparación simple, es bueno en compatibilidad y tiene excelentes propiedades mecánicas, y se puede aplicar para el moldeo por inyección de carcasas de baterías y partes de paredes delgadas de aparatos electrónicos, como carcasas de computadoras portátiles y terminales móviles de mano.

No obstante, a partir de la anterior divulgación, queda claro que dicha anterioridad está enfocada en la obtención final de un plástico no un vidrio con propiedades ópticas y de resistencia mejoradas con respecto a lo existente.

Ahora bien, el documento CN 105709714 describe un método de preparación de nanomateriales compuestos de doble capa de TiO_2/CaO cargados con grafeno que se caracteriza por incluir específicamente los siguientes pasos: (1) preparar una fase acuosa de grafeno; (2) pretratar un material de metal de titanio; (3) preparación de nanotubos de titania; (4) preparar un compuesto de TiO_2/CaO ; y (5) preparación de un material de TiO_2/CaO cargado con grafeno. De acuerdo con el método, mediante la fusión de la fase acuosa de grafeno y la anilina, en el proceso de impregnación del compuesto de TiO_2/CaO , las matrices de nanovarillas ordenadas con grafeno se cultivan verticalmente en la superficie del compuesto, de modo que se obtiene una excelente propiedad electroquímica, es decir, alta potencia eléctrica. Se le da conductividad al material compuesto, después de la irradiación con rayos UV, la tasa de degradación se mejora en un 22-45%, una estructura de doble nanotubo preparada por la reacción hidrotermal ayuda a aumentar el área de contacto de TiO_2 y ZnO , se proporciona una gran área de superficie para la reacción fotoelectroquímica, se mejora la eficiencia de la separación de carga, se mejora la eficiencia fotocatalítica y un catalizador tiene forma de matriz de nanotubos y se puede recuperar fácilmente del tratamiento de aguas residuales.

Sin embargo, esta anterioridad presenta el inconveniente que no se especifica que los materiales permitan la obtención de un material de vidrio con propiedades mejoradas, por lo que no permite plantear una solución al problema ambiental que existe en la actualidad relacionado con la fabricación del vidrio crudo convencional.

Finalmente, se tiene el documento CN 111620565 que enseña el sellado de vidrio microcristalino con un alto coeficiente de expansión y un método de procesamiento de bajo punto de fusión, donde el vidrio microcristalino de sellado de alto coeficiente de expansión se caracteriza por estar preparado a partir de las siguientes materias primas en partes en peso: 35 a 45 partes de SiO_2 , 2,5 a 12 partes de ZnO , 5,0 a 15,0 partes de Bi_2O_3 , 5,5 a 7,5 partes de Al_2O_3 , 7,0-15,0 partes de B_2O_3 , 2,0 a 3,5 partes de Na_2CO_3 , 0,5 a 5,5 partes de CuO , 0,5

a 2,5 partes de TiO_2 , 1,0 a 3,0 partes de P_2O_5 y grafeno. La temperatura de crecimiento de un cristal de un procedimiento de cristalización del método de procesamiento de bajo punto de fusión es de 450-480°C. La invención tiene los siguientes efectos beneficiosos: se usa una cantidad adecuada de B_2O_3 , ZnO y Bi_2O_3 para reemplazar una parte de los componentes en el vidrio microcristalino, por lo que la temperatura de fusión y la temperatura de cristalización del vidrio microcristalino se reducen sustancialmente; y el grafeno se agrega creativamente en el procedimiento de cristalización, por lo que el óxido de boro en estado molecular amorfo se puede convertir en óxido de boro en estado cristalino, y dicha estructura tiene un efecto positivo en el coeficiente de expansión.

No obstante, la invención definida en esta anterioridad, aunque está dirigida a la obtención de un material de vidrio, no especifica que el método o los materiales utilizados para dicho vidrio sean amigables con el medio ambiente.

A partir de la información anterior, es claro que los documentos existentes en el estado del arte corresponden a una serie de procesos y materias primas para obtener un material con unas características determinadas, donde dicho material final puede ser un plástico o en un caso concreto, puede ser un vidrio microcristalino, en donde en todos los documentos encontrados se menciona el uso de grafeno, TiO_2 y ZnO como punto de partida para obtener un material deseado, en donde en algunos casos se manejan unas temperaturas indeseadas, y en otros casos se definen procesos que pueden ser considerados como amigables o respetuosos con el medio ambiente.

De acuerdo con lo definido previamente, es claro para el experto en la materia que en el estado del arte existe una necesidad por diseñar e implementar un nuevo material de vidrio a partir de materiales diferentes al sílice que presenta problemas para su obtención, donde se requiere que dicho material tenga propiedades mecánicas y de resistencia mejoradas, al tiempo que suministra propiedades ópticas deseadas, y el cual es considerado como amigable con el

medio ambiente, tanto en sus componentes como en su proceso de fabricación u obtención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

5

Considerando los problemas y/o necesidades anteriores mencionadas, los presentes inventores han propuesto una nueva tecnología de vidrio crudo creado a partir de nuevos materiales y nuevos procesos que es amigable con el medio ambiente, no llevan a cabo procesos de explotación de tierras, no son nocivos para la salud humana y no producen desechos tóxicos. Al trabajar con nuevos materiales, se realizan procesos químicos y físicos, por lo cual no se utilizan procesos de altas energías que dejan una gran huella de carbono en el ambiente. Finalmente, los materiales base pueden ser obtenidos a partir de residuos que se presentan en la naturaleza, por lo tanto, se aporta un gran proceso innovador y se ayuda a disminuir de manera considerable el impacto ambiental, brindando un producto más amigable y con propiedades ópticas y mecánicas mejoradas.

De este modo, el material de vidrio de la presente invención se basa en el uso de óxido de zinc (ZnO), grafeno, óxido de titanio (TiO₂) y tetraetilortosilicato (TEOS).

20

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención está dirigida a un nuevo material de vidrio crudo creado a partir de nuevos materiales, el cual es amigable con el medio ambiente, no lleva a cabo procesos de explotación de tierras, no es nocivo para la salud humana y no produce desechos tóxicos, donde dicho material de vidrio está compuesto, comprende o consiste esencialmente, en general, sin limitaciones, de óxido de zinc (ZnO), grafeno, dióxido de titanio (TiO₂), y tetraetilortosilicato (TEOS), donde dichos componentes están presentes en las siguientes partes en peso de las materias primas utilizadas: ZnO de 45 a 50 partes, TiO₂ de 35 a 45 partes, y TEOS de 20 a 25 partes.

25

30

Adicionalmente, el nuevo material de vidrio de la presente invención comprende una serie de materias secundarias adicionales que son utilizadas en los procesos químicos y físicos previos para la obtención del mismo, en donde dichas materias secundarias adicionales en los procesos son ácido de Te(VI), acetato de Zn dihidratado disueltos en etilenglicol ($C_2H_6O_2$) al 99%.

Adicionalmente, la presente invención también está dirigida a un método para la fabricación u obtención del material de vidrio anteriormente definido, en donde dicho método o proceso está compuesto o comprende, o consiste esencialmente de las siguientes etapas o pasos que lo difieren del estado del arte:

a) Primero, se utiliza una combinación de ácido de Te(VI) junto con butóxido de Ti, acetato de Zn dihidratado disueltos en etilenglicol ($C_2H_2O_6$) al 99%.

Teniendo en cuenta la elevada tasa de hidrólisis del alcóxido de telurio (VI) se selecciona ácido telúrico (H_6TeO_6) para superar ese problema;

b) Luego, las soluciones de los precursores son sometidas a una agitación intensiva de 5 a 30 minutos a temperatura ambiente para lograr una disolución completa. Además, no se realiza ninguna adición directa de agua a las soluciones de los precursores. Así, la reacción de hidrólisis del sol-gel será adquirida por la humedad atmosférica absorbida;

c) Después, el pH es ajustado durante los procesos sol-gel. En general, este influye en la velocidad de los procesos de hidrólisis y condensación. Así, en valores fuertemente ácidos (pH hasta 5) se producirá una gelificación lenta que favorece la formación de una red extendida, mientras que los valores básicos de pH (hasta 9) inducen una gelificación rápida que es necesaria para la formación de nanopartículas;

d) Luego, se realiza envejecimiento de los geles en el aire para lograr la integridad de los procesos, donde estos geles son sometidos a un calentamiento escalonado de 200 – 700°C durante una hora de exposición en al aire. Dicho tratamiento térmico a 200°C se lleva a cabo en el aire para hidrolizar cualquier grupo OR que no hubiera reaccionado

y también para disminuir su contenido. Finalmente, los aumentos de temperatura de 300 – 700°C se utilizan para verificar las transformaciones estructurales y de fase de los geles;

5 e) Posteriormente, se utilizan métodos de fusión y enfriamiento para fabricar vidrios binarios de zinc-telurita con una fórmula empírica dada por $(ZnO)_y (TeO_2)_{1-y}$ donde y es 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 y 0.30. El ZnO y el TeO_2 serán seleccionados con una cantidad adecuada que puede estar entre aproximadamente 35 g y se mezclan de forma homogénea;

10 f) Luego, la mezcla de vidrio zinc-telurita se traslada a un recipiente con alúmina y es precalentado a una temperatura de 350 a 450°C, preferiblemente 400°C, durante 25 a 35 minutos, preferiblemente 30 minutos, en un horno. Para el proceso de fusión, el horno eléctrico se eleva a una temperatura de 950°C a una velocidad de 10°C/min y la mezcla se mantiene a esta temperatura durante 120 min;

15 g) La muestra de vidrio resultante luego es recocida durante 50 a 70 minutos, preferiblemente 60 minutos, a una temperatura de 350 a 450°C, preferiblemente 400°C, para reducir cualquier tensión térmica causada por el rápido proceso de enfriamiento rápido no uniforme;

20 h) Luego de obtener la muestra de vidrio, se dopan diferentes cantidades de ZnO con TiO_2 a una temperatura de 450 a 550°C, preferiblemente 500°C, para hallar la mejor proporción de las muestras de TiO_2 -ZnO;

25 i) Posteriormente, se prepara una solución de grafeno de 3 a 9%, preferiblemente 6%, en peso en 5 a 15 mg/ml, preferiblemente 10 mg/ml de agua desionizada utilizando el método de Hummers, donde dicha solución de dispersión de grafeno se añadirá entonces a la solución de TiO_2 - ZnO bajo agitación constante a una temperatura de 35 a 45°C, preferiblemente 40°C, durante 1.5 a 2.5 h, preferiblemente 2 h, seguida por un proceso de sonificación de 15 a 25 min, preferiblemente 20 min; y

30 j) Finalmente, se transfiere toda la solución homogénea obtenida a un recipiente para su secado a una temperatura de 90 a 110°C, preferiblemente 100°C, durante 2.5 a 3.5 h, preferiblemente 3 h, donde el vidrio sólido resultante es finalmente recogido y lavado varias veces con

agua desionizada y etanol, y se mantendrá en agitación a una temperatura de 60 a 80°C, preferiblemente 70°C por un periodo de 24 h.

Esta nueva tecnología de vidrios a base de nuevos materiales, presenta ciertas ventajas con respecto a la cristalería convencional que está hecha a base de arena de sílice. Una gran ventaja que posee esta nueva tecnología de vidrios, es su gran resistencia mecánica. Los vidrios convencionales a base de sílice tienen una resistencia a la tracción y compresión de 1000 kg/cm² y 10.000 kg/cm² respectivamente. Este valor varía dependiendo del tratamiento al cual haya sido sometido. Esta nueva tecnología de vidrios proyecta a presentar unos valores de resistencia a la tracción y la compresión de aproximadamente 70.000 kg/cm², lo que equivale a una resistencia mecánica 5 veces mayor a la presentada por el acero. Este gran aumento en la resistencia mecánica de nuestro material se debe al uso del grafeno. La gran resistencia mecánica del grafeno amplía grandemente la resistencia a tracción y la capacidad de deformación de nuestro vidrio. Por otro lado, controla la aparición de nano grietas antes de que se conviertan en microgrietas.

Además de una mayor resistencia mecánica, esta nueva tecnología de vidrios también posee la ventaja de que cuenta con protección ultravioleta. Los vidrios crudos fabricados arena se sílice requieren de un tratamiento especial y adicional para modificar sus propiedades ópticas. Nuestro vidrio al estar fabricado con TiO₂ y grafeno, presenta mejores propiedades ópticas y cuenta con un alto factor de protección contra la radiación ultravioleta, por lo tanto, no se requiere de procesos adicionales, ahorrando una cantidad de procesos y materias primas. Por otro lado, nuestro vidrio al estar fabricado con un alto contenido de grafeno presenta una alta transparencia, lo cual permite un fácil acceso de luz a través de él.

Esta nueva tecnología de vidrios además de presentar ventajas ópticas y mecánicas, también presenta ventajas ambientales y para la salud humana. Nuestros materiales no producen desechos tóxicos en su proceso de fabricación,

y son amigables con el medio ambiente, por lo tanto, además de producir un mejor vidrio que el convencional, este vidrio ayuda a disminuir el impacto ambiental. Por otro lado, nuestra producción de este nuevo material no lleva a cabo proceso de altas energías y los procesos de obtención de materiales se pueden hacer con procesos químicos y físicos.

Finalmente, esta nueva tecnología de materiales presenta ventaja en sus procesos de fabricación y en los costos de producción. Debido a que nuestra tecnología de materiales no requiere explotación de tierras, procesos mineros ni tecnologías altamente sofisticadas para su proceso de fabricación y producción, proyectamos una disminución de costos de producción de al rededor del 30%, por lo tanto, además de crear un vidrio con propiedades mejoradas, nuestro material será más económico y presentará mayor rentabilidad.

Aunque la presente invención ha sido definida en términos de las modalidades y/o configuraciones preferidas que permiten obtener el resultado deseado, se entiende entonces que dentro de la presente divulgación se contemplan las múltiples modificaciones y/o alternativas que se puedan derivar de forma evidente para un experto en la materia, razón por la cual el alcance de la presente invención no está definido únicamente por las implementaciones preferidas definidas acá, sino que, por el contrario, el mismo está enteramente definido por las reivindicaciones adjuntas.

DEFINICIONES

Finalmente, a continuación, se hará una explicación de las propiedades que presentan algunos de los materiales que forman parte del vidrio de la presente invención, esto con el fin de entender de mejor manera la invención y la forma como se soluciona el problema existente en el estado del arte, así como las propiedades mecánicas que estos materiales o componentes brindan al nuevo material de vidrio que se desea proteger.

Óxido de Zinc

El óxido zinc (ZnO) es un semiconductor multifuncional del tipo (II-VI) con un amplio band gap (3.4 eV), buena absorbancia en el ultravioleta y una buena estabilidad química. El ZnO no es tóxico y es eco-amigable con el medio ambiente, haciéndolo útil para bio-aplicaciones. También ha sido considerado como un material prometedor para dispositivos de aplicaciones optoelectrónicas. El ZnO es un material de uso común en muchas aplicaciones debido a su abundancia natural y bajos costos en su proceso de fabricación.

Este material presenta experimentalmente un band gap directo y una alta estabilidad. Por otro lado, una ventaja de usar ZnO como nuevo material para un nuevo proceso de producción y fabricación del vidrio, es que la nanoestructura puede ser preparada usando técnicas de baja temperatura y su tamaño y densidad pueden ser manipulados usando diferentes concentraciones. El ZnO no solo se sintetiza mediante métodos de solución simples, sino que además de esto, este material es más estable contra la humedad/oxígeno y calor. El ZnO permite que el dispositivo fabricado sobreviva a condiciones ambientales adversas por un largo tiempo.

Algunas de estas propiedades (en especial su alto gap a temperatura ambiente) convierten a este óxido metálico en un excelente candidato para aplicaciones como dispositivos optoelectrónicos, transductores acústicos, varistores, sensores de gas, electrodos transparentes, ventanas ópticas, dispositivos emisores de campo, conductores transparentes.

La alta conductividad térmica, alto punto de fusión y bajo coeficiente de dilatación, han sido propiedades que le han permitido a este material tener uso en aplicaciones industriales. Este material es muy usado en la industria de la cerámica, concretamente en la fabricación del vidrio, en esmaltes vítreos, esmaltes de porcelana y en cristales especiales. En estos productos, sus propiedades térmicas proporcionan una buena conductividad calorífica, reduciendo las roturas gracias a su bajo coeficiente de dilatación.

Así mismo, el ZnO es blanco a la luz visible pero negro a la luz ultra violeta. Por otro lado, este material proporciona un mayor poder de recubrimiento que cualquier otro pigmento blanco, debido a su alto índice de refracción (2,00) y a su disponibilidad en tamaños de partículas pequeños: El óptimo poder de recubrimiento se obtiene para partículas de 0.25 micras.

Una de las mayores aplicaciones industriales del ZnO, es la industria cerámica a la que proporciona muchas propiedades convenientes a la gran variedad de artículos que fabrican, tales como vidrios, vidriados y esmaltes. El ZnO en los vidrios, disminuye la temperatura de fusión y la temperatura de reblandecimiento, rebaja la viscosidad, eleva la resistencia química y el índice de refracción proporcionando elasticidad y bajo coeficiente de dilatación. Estas dos últimas propiedades son de particular importancia al reducir las causas de rotura precedentes de los choques mecánicos y de cambios de temperatura.

Para obtener propiedades especiales, algunos vidrios llevan óxido de zinc en grandes cantidades. Hasta un 30% de ZnO puede incorporarse en vidrios que permiten la soldadura y en aquellos proyectados para resistencia al ataque por ácido fluorhídrico. Para ciertos fines, tales como cristales ópticos, este compuesto puede ser el mayor componente y comprende hasta 70% del peso total. En los vetrificantes, el ZnO contribuye a disminuir la dilatación, evita las grietas, produciendo además brillo y blancura. Posee un efecto favorable sobre la elasticidad y endurecimiento, permitiendo acabados con gran cantidad de detalles.

Adicionalmente, se combina con la alúmina, para producir opacidad y blancura en los vidrios Bristol. Mejora la opacidad en las semiporcelanas mejorando su acabado y disminuye las pérdidas por vaporización durante la cocción. Con los vetrificantes cristalinos, el ZnO forma silicatos de zinc, que producen cristales para enfriamiento. En la terracota, aumenta el brillo y en algunos tipos, desarrolla la opacidad.

Grafeno

El grafeno es un nanomaterial bidimensional, el cual consiste en una simple capa de átomos. Este material posee una alta movilidad a temperatura ambiente, excelente conductividad térmica, y propiedades mecánicas.

Su alta transparencia y su alta conductividad lo hace el candidato perfecto para su uso para aplicaciones cerámicas o fabricación de pantallas planas. El grafeno posee una buena transparencia en ambas regiones de infrarrojo y visible, una superficie ultrasuave y es química y térmicamente estable.

El grafeno presenta una red hexagonal compuesta por orbitales híbridos. La estructura del grafeno determina sus extraordinarias propiedades. Este material cuenta con unas excelentes propiedades térmicas y una alta transmitancia óptica. En los últimos años, se ha estado investigando el uso del grafeno en el nano-refuerzo para los materiales cerámicos. Los nano-refuerzos para este tipo de materiales son más eficaces que las barras o fibras de acero ya que pueden controlar la aparición de nano grietas (en la etapa de iniciación) antes de que aumenten y se conviertan en micro grietas.

El nano-sílice tiene una forma esférica, donde el rendimiento mecánico mejorado se atribuye generalmente a dos mecanismos: En primer lugar, como núcleos para la fase de creación del vidrio, el nano-sílice puede favorecer la hidratación del vidrio debido a su alta superficie específica.

En segundo lugar, como relleno, el nano-sílice puede densificar altamente la microestructura porque su tamaño es comparable al del poro del gel en la matriz del vidrio. Sin embargo, debido a su baja relación de proporción (relación longitud – espesor), el nano-sílice carece de capacidad para detener micro fisuras derivadas de grietas de nano-tamaño. El grafeno es mucho más eficiente para potenciar la resistencia mecánica debido a que presenta una relación de proporción de más de 2000 y un área superficial mucho mayor que la alcanzada

por la nano-sílice. Por lo tanto, sólo se necesita el 0.1% del peso (del compuesto) de grafeno para mejorar las propiedades mecánicas del material.

Óxido de Titanio (TiO₂)

- 5 El óxido de titanio (TiO₂) es un semiconductor tipo n de gran interés por sus propiedades fotocatalíticas y fotoconductoras. El TiO₂ es de gran interés tecnológico, este óxido, alotrópico, se encuentra en diversas fases cristalinas: rutilo (tetragonal), anatasa (tetragonal), brookita (romboédrica).
- 10 Este material se produce naturalmente en varios tipos de roca y arenas minerales. El titanio es el noveno elemento más común en la corteza terrestre, por lo tanto, es un material el cual se puede tener un fácil acceso. Este óxido se suele considerar como un producto mineral químicamente inerte.
- 15 El TiO₂ se ha utilizado durante muchos años (aproximadamente 90 años) en una amplia gama de bienes industriales y de consumo, incluyendo pinturas, recubrimientos, adhesivos, papel y cartón, plástico y caucho, tintas de impresión, tejidos recubiertos y textiles, sistemas catalizadores, cerámicas, revestimientos de suelos, materiales para techos, cosméticos y productos farmacéuticos,
- 20 agentes de tratamiento de agua, colorantes alimentarios y en la automoción, etc. Este material también minimiza la degradación del sistema (por fragilización, decoloración y agrietamiento).
- 25 El TiO₂ cuenta con excelentes propiedades de bloqueo contra la radiación ultravioleta tipo A (UVA) y tipo B (UVB). Las propiedades de protección contra los rayos UV del TiO₂ se atribuyen tanto a sus propiedades químicas como físicas. De hecho, se ha descubierto que el TiO₂ absorbe la radiación UV independientemente del tamaño de las partículas debido a sus propiedades semiconductoras, las cuales pueden ser explicadas por la teoría de banda de los
- 30 sólidos. Por otro lado, las propiedades de bloqueo de los rayos UV, del TiO₂, se consiguen por reflexión y/o dispersión de la radiación UV debido a su alto índice de refracción.

Las propiedades protectoras de los rayos UV del TiO_2 son influenciadas por su morfología y concentración. Se encontró que la anatasa altamente cristalina proporciona un factor de protección de rayos UV de 47.5 que es dos veces mayor
5 que el factor de protección del TiO_2 amorfo (22.8). Otra propiedad interesante de este material es que es capaz de absorber una porción de rayos ultravioleta UV y convertirlos en luz infrarroja inofensiva.