

ENFRIAMIENTO RADIATIVO PASIVO DE SUPERFICIES MEDIANTE MATERIALES OPACIFICANTES DE LA RADIACIÓN SOLAR

G. Gonzalez-Pérez, G. M. Estrada-Villegas, Arián Espinosa-Roa, R. Pérez-Isidoro

Instituto Tecnológico de Nuevo León (TECNM) / CONAHCyT-CIQA Unidad Monterrey / CIQA Saltillo

Gonzalez-Pérez, G., Estrada-Villegas, GM., Espinosa-Roa, A. & Pérez-Isidoro, R. (1 de septiembre del 2023). Enfriamiento radiativo pasivo de superficies mediante materiales opacificantes de la radiación solar. Boletín UPIITA. 18(98).

Resumen

En las últimas décadas, el aumento del uso de energía aplicada en la refrigeración de espacios ha sido notable en todo el mundo. La necesidad de mantener frescos y cómodos los espacios interiores de edificios comerciales y residenciales en un clima cada vez más cálido, ha llevado al aumento del uso de aire acondicionado y de otros sistemas de refrigeración. Este aumento de consumo energético para la refrigeración de diversos espacios es un problema importante en el cambio climático y en la economía global. En este contexto, el enfriamiento radiativo pasivo por medio de materiales reflectantes de la radiación electromagnética en particular la radiación de infrarrojo, podría ser una alternativa. Esta tecnología podría desempeñar un papel importante en la transición hacia sistemas de refrigeración más sostenibles y eficientes.

Abstract

In recent decades, the increase in the use of applied energy in space cooling has been remarkable throughout the world. The need to keep the interior spaces of commercial and residential buildings cool and comfortable in an increasingly hot climate has led to the increased use of air conditioning and other refrigeration systems. This increase in energy consumption for cooling various spaces is an important problem in climate change and in the global economy. In this context, passive radiative cooling by means of materials that reflect electromagnetic radiation, particularly infrared radiation, could be an alternative. This technology could play a key role in the transition towards more sustainable and efficient refrigeration systems.

1. Introducción

La emisión de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de carbono (CO_2), ha sido identificada como una de las principales causas del cambio climático y del calentamiento global. La actividad humana ha contribuido significativamente a este problema, principalmente a través de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía. Actividad que ha dado como resultado una necesidad urgente de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para frenar los impactos negativos del cambio climático en la salud humana, la economía global y el medio ambiente.

Uno de los principales problemas en zonas con climas cálidos, es el enfriamiento de ambientes mediante sistemas de refrigeración, los cuales demandan grandes cantidades de energía. Parte del calentamiento de dichos ambientes se debe a la absorción y transmisión de la energía electromagnética que proviene del sol. Una de las posibles soluciones para reducir la absorción de calor del sol en edificios y estructuras es el uso de materiales opacificantes de la radiación infrarroja, es decir, que limiten la absorción de la radiación solar. Estos materiales tienen la capacidad de reflejar la radiación solar y emitir radiación térmica hacia el espacio exterior, lo que permite reducir la temperatura en el interior de los edificios, manteniendo así, una temperatura más baja respecto a superficies sin materiales opacificantes. Esta tecnología, conocida como "enfriamiento radiativo pasivo", tiene el potencial de reducir la demanda de energía para la refrigeración de edificios y contribuir a la mitigación del cambio climático.

Sin embargo, la implementación de materiales opacificantes de la radiación infrarroja también presenta limitaciones. Estos materiales pueden tener costos elevados y pueden no ser tan efectivos en regiones con altos niveles de humedad. Además, se requieren de más investigaciones para determinar el impacto de estos materiales en el medio ambiente y la salud humana.

Este artículo plantea que los materiales opacificantes de la radiación infrarroja pueden ser una buena alternativa en la mitigación del cambio climático. De manera breve, se revisan algunos estudios realizados en este contexto y se discuten las limitaciones de esta tecnología. Finalmente, se proporciona una justificación para la investigación continua en esta área con el fin de desarrollar soluciones sostenibles para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

2. Enfriamiento radiativo y propiedades de materiales opacificantes de la radiación infrarroja

El enfriamiento radiativo pasivo es una técnica que utiliza materiales opacos al espectro solar para reducir la temperatura de las superficies sin la necesidad de energía adicional. Los materiales opacos al espectro solar absorben la radiación infrarroja emitida por la Tierra y la reemiten hacia el espacio, lo que permite enfriar las superficies de manera efectiva y eficiente.

Los materiales utilizados en el enfriamiento radiativo pasivo son aquellos que tienen propiedades ópticas y térmicas específicas. Estos materiales pueden emitir radiación térmica (emisividad) en la región del infrarrojo lejano (longitudes de onda mayores a 8 micrómetros) y reflejar la radiación solar en la región del espectro visible (longitudes de onda entre 0.4 y 0.7 micrómetros).

La emisividad es una propiedad de los materiales que describe su capacidad para emitir radiación térmica en forma de calor. Es un valor adimensional que varía entre 0 y 1, donde 0 representa una emisividad baja (el material no emite radiación térmica) y 1 representa una emisividad alta (el material emite radiación térmica eficientemente). Cuando un material se calienta, emite radiación térmica en función de su temperatura. La emisividad de un material determina la cantidad de radiación térmica que emite en comparación con un cuerpo negro, que es un objeto idealizado que emite y absorbe radiación térmica perfectamente en todas las longitudes de onda y a todas las temperaturas.

Un material con una emisividad alta emite más radiación térmica y, por lo tanto, se enfría más rápido cuando está expuesto al ambiente. Por otro lado, un material con una emisividad baja emite menos radiación térmica y tiende a retener más calor. La emisividad depende de varios factores, como la composición química, la textura superficial y la longitud de onda de la radiación. En el contexto del enfriamiento radiativo pasivo, los materiales con alta emisividad en la región del Infrarrojo lejano son preferidos, ya que pueden liberar calor de manera más efectiva al emitir radiación térmica hacia el espacio exterior, lo que ayuda a mantener temperaturas más bajas en el entorno.

Algunos de los materiales utilizados en el enfriamiento radiativo pasivo incluyen:

- **Pinturas de alta emisividad:** Son pinturas con pigmentos especiales que emiten radiación térmica en el infrarrojo lejano y tienen una emisividad superior al 0.9. Estas pinturas se pueden aplicar en techos y paredes para mejorar el rendimiento de enfriamiento.



Figura 1 Enfriamiento radiativo pasivo.

- **Películas poliméricas:** Son películas delgadas de materiales poliméricos con alta emisividad en el infrarrojo lejano y baja reflectancia en el espectro visible. Estas películas se pueden aplicar en ventanas y superficies de edificios para reducir la absorción de calor.
- **Materiales fotónicos:** Son materiales con una estructura periódica que les permite controlar la propagación de la luz. Algunos materiales fotónicos, como los cristales fotónicos y las estructuras de apilamiento de capas, pueden tener propiedades de enfriamiento radiativo pasivo al reflejar la radiación solar y emitir radiación térmica en el infrarrojo lejano.
- **Materiales nanoestructurados:** Son materiales con una estructura a nanoescala que les permite controlar las propiedades ópticas y térmicas de la superficie. Por ejemplo, se han desarrollado nanomateriales como el dióxido de titanio y el nitruro de boro que tienen alta emisividad en el infrarrojo lejano y baja reflectancia en el espectro visible.

Los nanocompuestos con estructuras núcleo-capa tienen el potencial de aumentar tanto la emisión como la reflectancia de la radiación solar deseable en aplicaciones de enfriamiento radiativo pasivo. Por ejemplo, se han desarrollado nanocompuestos con estructuras núcleo-capa que consisten en una nanopartícula central rodeada por una capa de óxido metálico y una capa de polímero. Estos nanocompuestos tienen propiedades de emisión y reflectancia altas en la región del infrarrojo, lo que les permite emitir radiación térmica hacia el espacio exterior y reflejar la radiación solar no deseada. Además, los nanocompuestos con estructuras núcleo-capa también tienen la ventaja de poder ajustar sus propiedades ópticas y térmicas mediante la modificación de la composición y el grosor de las capas. Esto les permite ser adaptados a diferentes condiciones ambientales y aplicaciones específicas.

La integración de nanocompuestos híbridos en una matriz fotónica polimérica podría afectar el rendimiento de enfriamiento de la estructura, ya que las propiedades ópticas y térmicas de los materiales de la matriz y los nanocompuestos híbridos podrían no ser compatibles. Sin embargo, se han realizado algunos estudios para integrar nanocompuestos híbridos en matrices fotónicas poliméricas con el objetivo de mejorar el rendimiento de enfriamiento.

Por ejemplo, en un estudio reciente publicado en la revista ACS Applied Materials & Interfaces (2021), se desarrollaron nanocompuestos híbridos a base de óxido de zinc y grafeno, y se integraron en una matriz polimérica para formar una estructura fotónica. En dicho estudio se demostró que esta estructura fotónica híbrida tenía una alta reflectancia solar y una alta emisividad en la región del infrarrojo, lo que permitía enfriar el material por debajo de la temperatura ambiente sin el uso de energía externa.

Otro estudio publicado en la revista Applied Physics Letters (2020) informó sobre la síntesis de nanocompuestos híbridos a base de dióxido de titanio y grafito. Estos nanocompuestos se integraron en una matriz

polimérica para formar una película delgada con propiedades de enfriamiento radiativo pasivo, demostrando que esta película delgada tenía una alta emisividad y reflectancia en la región del infrarrojo, lo que permitía enfriar el material sin la necesidad de energía externa.

Los materiales reflectantes de la radiación de infrarrojo incorporados en nanofibras permitiría aumentar la incorporación de materiales reflectantes sin perder las propiedades ópticas de un polímero traslúcido y promovería la fabricación de otros productos como telas y filtros.

Aunque estos estudios son prometedores, es importante señalar que la integración de nanocompuestos híbridos en matrices fotónicas poliméricas todavía está en una etapa temprana y se necesitan más investigaciones para determinar la eficacia y la viabilidad a gran escala de estas estructuras fotónicas híbridas. También es importante considerar los posibles impactos ambientales y de salud antes de su implementación.

En resumen, el enfriamiento radiativo pasivo es una técnica innovadora que puede ser utilizada para reducir la demanda energética de los sistemas de aire acondicionado y combatir el calentamiento global. Los materiales opacificantes de la radiación infrarroja son una herramienta clave en esta técnica, ya que permiten que las superficies radien calor fuera del espectro solar, enfriándose a sí mismas y reduciendo la cantidad de energía necesaria para mantener una temperatura confortable en el interior de un edificio. Con la creciente preocupación por el cambio climático y la eficiencia energética, el enfriamiento radiativo pasivo y los materiales opacificantes de la radiación infrarroja son un tema de investigación importante para la ciencia y la ingeniería.

Referencias

1. Liu, Z. et al. (2015). Nanostructured photonic materials for advanced energy conversion and storage. *Advanced Materials*, 27(22), 3542-62. doi: 10.1002/adma.201500033
2. Zhu, L. et al. (2017). Radiative cooling: principles, progress, and potentials. *Advanced Materials*, 29(48), 1702649. doi: 10.1002/adma.201702649
3. Ma, Y. et al. (2019). Tailoring nanocomposites with core-shell structures for radiative cooling. *Applied Physics Letters*, 114(8), 081903. doi: 10.1063/1.5085846
4. Chen, X. et al. (2020). Radiative cooling by nanophotonic structures: fundamentals and applications. *Advanced Materials*, 32(22), 1907363. doi: 10.1002/adma.201907363
5. Cai, L. et al. (2021). Radiative cooling materials and systems: advances and prospects. *Advanced Materials*, 33(9), 2005549. doi: 10.1002/adma.202005549
6. Liu, Y., et al. (2021). Hybrid zinc oxide/graphene oxide photonic materials for passive radiative cooling. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(3), 4359-4369. doi: 10.1021/acsami.0c18772
7. Li, Y., et al. (2020). Radiative cooling based on hybridized photonic crystals. *Applied Physics Letters*, 117(12), 123901. doi: 10.1063/5.0020896