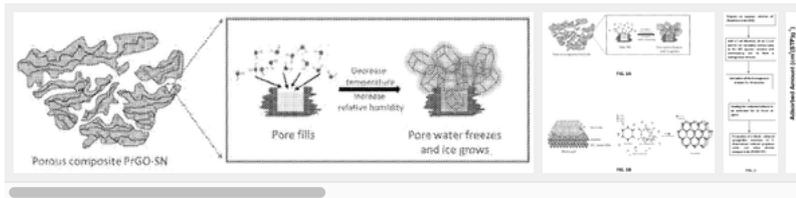


3D-Komposit aus reduziertem Graphenoxid/SiO₂ zur Eiskeimbildung

Abstrakt

Die vorliegende Erfindung stellt ein eisbildendes Teilchen für Wolkenbildung und andere Anwendungen bereit, das die Eiskeimbildung bei einer Temperatur von $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ einleiten kann. Darüber hinaus nahm die Anzahl der Eiskeimbildungspartikel mit der Verringerung der Temperatur kontinuierlich und schnell zu. Das eiskeimbildende Partikel in der vorliegenden Erfindung ist ein nanostrukturierter poröser Verbundstoff aus dreidimensionalen reduzierten Graphenoxid- und Siliciumdioxid-Nanopartikeln (PrGO-SN). Die vorliegende Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Synthese des PrGO-SN bereit.

Bilder (12)



Klassifizierungen

A01G15/00 Geräte oder Methoden zur Beeinflussung von Wetterbedingungen

Sehen Sie sich 13 weitere Klassifizierungen an

US20220002159A1

Vereinigte Staaten

PDF Herunterladen

Finden Sie Stand der Technik

Ähnlich

Erfinder: Linda ZOU, Haoran LIANG

Aktueller Beauftragter: Khalifa Universität für Wissenschaft, Technologie und Forschung (KUSTAR)

Weltweite Anwendungen

2020 • [EP](#) [CN](#) [WO](#) [UNS](#)

Anwendung US17/422.994 Ereignisse

- Priorität beansprucht von US201962791927P
- 14.01.2020** • Antrag eingereicht von der Khalifa University of Science, Technology and Research (KUSTAR)
- 14.01.2020** • Priorität für US17/422.994
- 06.01.2022** • Veröffentlichung von US20220002159A1
- 22.07.2022** • Zugewiesen an die Khalifa University of Science and Technology
- Status** • Ausstehend

Die Info: [Patentzitate \(5\)](#), [Zitiert von \(1\)](#), [Rechtliche Ereignisse](#), [Ähnliche Dokumente](#), [Priorität und verwandte Anwendungen](#)

Externe Links: [USPTO](#), [USPTO PatentCenter](#), [USPTO-Auftrag](#), [Espacenet](#), [Globales Dossier](#), [Diskutieren](#)

Ansprüche (20)

Abhängig ausblenden

1. Ein Eiskeimbildender Verbundstoff zur Herstellung einer Vielzahl von Eiskristallen, wobei der Verbundstoff die Eiskeimbildung bei einer Temperatur von $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ initiiert; Und wobei der Verbundstoff die Zahl der Eiskristalle vervielfacht, wenn die Temperatur auf oder unter $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ sinkt.
 2. Der eiskeimbildende Verbundstoff gemäß Anspruch 1, wobei der Verbundstoff ein poröses nanostrukturiertes Verbundmaterial aus Graphenmetalloxid ist.
 3. Der eiskeimbildende Verbundstoff aus Anspruch 1, wobei der Verbundstoff ein poröser Verbundstoff aus reduziertem Graphenoxid (rGO) und Siliziumdioxid-Nanopartikeln ist.
 4. Der eiskeimbildende Verbundstoff aus Anspruch 1, wobei der Verbundstoff ein dreidimensionaler (3D) poröser Verbundstoff aus reduzierten Graphenoxid- (rGO) und Siliziumdioxid-Nanopartikeln ist.
 5. Der eiskeimbildende Verbundstoff aus Anspruch 1, wobei die Siliziumdioxid-Nanopartikel gleichmäßig über eine hexagonale Gittermikrostruktur aus reduziertem Graphenoxid (rGO) verteilt sind.
 6. Der eiskeimbildende Verbundstoff aus Anspruch 1, wobei der Verbundwerkstoff unter Bedingungen niedriger Luftfeuchtigkeit eine hohe Wasseradsorptionskapazität von $118,86\text{ cm}^3/\text{g}$ aufweist.
 7. Der eiskeimbildende Verbundstoff aus Anspruch 1 wobei der Verbundstoff eine große Brunauer-Emmett-Teller-Oberfläche (BET) aufweist.
 8. Der eiskeimbildende Verbundstoff aus Anspruch 1, wobei der Verbundstoff einen niedrigen Wasserkontaktwinkel aufweist.
 9. Der eiskeimbildende Verbundstoff aus Anspruch 1, wobei der Verbundstoff eine Vielzahl von Poren mit einer Größe von etwa 10–100 nm umfasst.
 10. Der eiskeimbildende Verbundstoff aus Anspruch 1, wobei der Verbundstoff ein hohes Porenvolumen aufweist.
 11. Ein Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 1, wobei der Prozess die folgenden Schritte umfasst:
 - Herstellen einer wässrigen Lösung von dispergiertem Graphenoxid;
 - Zugabe der wässrigen Lösung von Graphenoxid zu Ethanol, Ammoniumhydroxid und Tetraethylorthosilicat, wodurch eine homogene Mischung entsteht;
 - Beschallen der homogenen Mischung, um eine beschallte Mischung zu erhalten;

Erhitzen der beschallten Mischung in einem Autoklaven zur hydrothermischen Synthese, um so den Eiskeim bildenden Verbundstoff zu erhalten; Spülen des eiskeimbildenden Verbundstoffs mit entionisiertem Wasser; Und

Gefriertrocknung des Verbundwerkstoffs, um die 3D-Mikrostruktur zu bewahren.

- 12 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei die Konzentration der Graphenoxidlösung 2 mg/ml betrug.
- 13 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei der wässrigen Lösung von Graphenoxid 20 ml Ethanol zugesetzt wurden.
- 14 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei der wässrigen Lösung von Graphenoxid 0,7 ml Ammoniumhydroxid zugesetzt wurden.
- 15 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei der wässrigen Lösung von Graphenoxid 0,7 ml Tetraethylorthosilikat zugesetzt wurden.
- 16 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei die homogene Mischung, die die wässrige Lösung von Graphenoxid, Ethanol, Ammoniumhydroxid und Tetraethylorthosilikat umfasst, bei Raumtemperatur für mindestens 30 Minuten mit Ultraschall behandelt wird.
- 17 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei die beschallte Mischung in einem mit Teflon ausgekleideten, versiegelten Autoklaven erhitzt wird.
- 18 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei die beschallte Mischung zur Hydrothermalsynthese mindestens 12 Stunden lang auf 180°C erhitzt wird.
- 19 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei der eiskeimbildende Verbundstoff mindestens dreimal mit entionisiertem Wasser gewaschen wird.
- 20 . Das Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs gemäß Anspruch 11, wobei der eiskeimbildende Verbundstoff in einem Gefriertrockner bei -100°C für mindestens 24 Stunden eingefroren wird.

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

- [0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Wolkensaat. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung die Synthese von nanostrukturierten 3D-Graphen/Metalloxid-Verbundmaterialien für die Eiskeimbildung bei der Wolkenbildung, künstlichen Schneeerzeugung und Gefriertrocknungstechnologien in der Biomedizin, der Lebensmittelindustrie und dergleichen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

- [0002] Das Gefrieren von flüssigem Wasser zu festem Eis ist eines der häufigsten Naturphänomene, bei dem Eis homogen durch reines Wasser oder heterogen in Gegenwart von Fremdmaterialien, sogenannten Ice Nucleating Particles (INPs), gebildet werden kann. Solche INPs können aus biologischen, mineralogischen und anthropogenen Quellen stammen, darunter Pollen und Bakterien, Vulkanasche und atmosphärischer Staub. Heterogene Eiskeimbildung spielt in verschiedenen Bereichen eine wichtige Rolle, beispielsweise in der Atmosphärenphysik, Kryokonservierungstechnologien und Gefriertrocknung in der biomedizinischen Forschung und der Lebensmittelindustrie. Obwohl das Ausmaß, in dem die genauen Eigenschaften von INPs für die Auslösung der Eiskeimbildung verantwortlich sind, und ihre molekulare Identität immer noch unklar ist, werden seit Jahrzehnten Oberflächeneigenschaften von INPs als die Hauptparameter angesehen, die die Eiskeimbildungsaktivitäten fördern. In der Literatur werden verschiedene Mechanismen vermutet, die versuchen, die Eiskeimbildungsaktivitäten von INPs zu beschreiben. Die meisten davon konzentrieren sich auf die Diskussionen über die Rolle der Oberflächeneigenschaften von INPs. Frühere experimentelle und numerische Studien zeigen beispielsweise, dass Oberflächendefekte (z. B. Risse und Hohlräume in Kalifeldspat) sowie Oberflächenfunktionalisierungen (z. B. Hydroxylgruppen an Randstellen von Alumosilikat-Tonmineralien) eine heterogene Eiskeimbildung induzieren können; Die Gitterübereinstimmung zwischen Eis und der kristallinen Struktur der Oberfläche kann auch die Eiskeimbildungsaktivitäten beeinflussen, wie dies bei Silberiodid (Agl) der Fall ist, einem bekannten Kaltwolkenkeimungsmittel, dessen Gitterkonstante der von Eiskristallen ähnelt.
- [0003] Bei den vorhandenen Eiskeimbildungspartikeln (INPs), die in Cloud-Seeding-Anwendungen verwendet werden, handelt es sich hauptsächlich um Silberiodid (Agl), wobei die Eiskeimbildung selektiv an bestimmten Stellen erfolgt, beispielsweise an Defektstellen und Gitterfehlpassungen. Es wurde festgestellt, dass Defektstellen eher günstige Orte für die Eiskeimbildung als perfekte Flächen von AgI-Kristallen sind. Darüber hinaus stimmen die Strukturen einiger der effizientesten Eiskeimbildner weitgehend mit dem hexagonalen Eisgitter überein. Trotz seiner guten Fähigkeit zur Bildung von Eiskeimen benötigt AgI jedoch eine viel niedrigere Temperatur (-25 °C), um eine gute Fähigkeit zur Bildung von Eiskeimen zu zeigen, außerdem ist es mit umstrittenen Umweltrisiken verbunden. Obwohl es andere Materialien gibt, die günstige Defektstellen und eine ähnliche Gitterstruktur wie Eis aufweisen, weisen die meisten von ihnen nur bei niedrigen Temperaturen eine hohe Eiskeimbildungsaktivität auf.
- [0004] Ein weiteres wirksames INP, über das in den letzten Jahren berichtet wurde, sind sogenannte eisaktive Bakterien, *Pseudomonas syringae*, die häufig zur Förderung der künstlichen Schneeproduktion in Wintersportgebieten auf der ganzen Welt eingesetzt werden. Ähnlich wie bei AgI beruht seine Fähigkeit zur Bildung von Eiskeimen auf der Eisnachahmung der Eiskeimbildungsstellen, die als Vorlage für die Ausrichtung von Wasser in einem Gitter dienen. Allerdings weisen sie nur anfänglich hohe Eiskeimbildungszahlen auf und können die Zahlen mit der reduzierten Temperatur nicht weiter steigern. Darüber hinaus erfordern solche auf Bakterien basierenden Materialien hohe Kosten für die Massenproduktion und werden derzeit nicht häufig für Cloud-Seeding-Anwendungen verwendet.
- [0005] Darüber hinaus wird angenommen, dass Oberflächenladung, Oberflächengeometrie, Wasserstoffbrückenbindungen und andere Oberflächeneigenschaften zur oberflächeninduzierten Eiskeimbildung beitragen. Studien zu Eiskeimbildungsaktivitäten von INPs beschränken sich jedoch meist auf theoretische Modellierung und Simulationen, hauptsächlich aufgrund der Herausforderungen bei der Bereitstellung des geeigneten Versuchsaufbaus, wie z. B. Beobachtungs- und Messtechniken, die bei Temperaturen unter Null funktionieren, die alle die Beobachtung erheblich einschränken der Wechselwirkung zwischen Wasserdampf und den Eiskeimbildungspartikeln und führte zu einem Mangel an Informationen über den Beginn der Eiskeimbildung und den Verlauf des Eiskristallwachstums.
- [0006] Zusätzlich zu den oben genannten INPs, die in der Literatur untersucht wurden, wurde auch festgestellt, dass verschiedene Materialien die Eiskeimbildung fördern, darunter Kohlenstoffnanomaterialien wie Graphen und seine Derivate aufgrund ihrer intrinsischen und funktionalisierten Oberflächeneigenschaften. Insbesondere passt das dreieckige Untergitter aus Graphit (2,46 Angström) zur natürlichen Eisstruktur, was das epitaktische Wachstum des stabilen hexagonalen Eises in auf atomarer Ebene begünstigen könnte.
- [0007] Graphenderivate wie Graphenoxid (GO) weisen ebenfalls die Fähigkeit zur Bildung von Eiskeimen auf, da Wassermoleküle durch verschiedene hydrophile, sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen, die auf GO vorhanden sind, effizient eingefangen werden können. Experimente zum Einfrieren von Immersionströpfchen wurden in der Literatur eingesetzt, um die Fähigkeit zur Bildung von Eiskeimen indirekt zu messen von Materialien durch Zählen der Anzahl gefrorener Tröpfchen im Mikromaßstab, aber die meisten Eiskeimbildungsaktivitäten von Kohlenstoffnanomaterialien wurden nur bei relativ niedrigen Temperaturen (normalerweise unter -20 °C) beobachtet, was weniger ideal ist als bei anderen Eiskeimbildungsmaterialien wie K-Feldspat und Silberjodid (Agl) mit höherer Keimbildungstemperatur, und der Echtzeitfortschritt des Eiswachstums wird nicht erfasst. Daher ist die In-situ-Beobachtung der Eiskeimbildung auf diesen Kohlenstoffnanomaterialien weniger bekannt.

- [0008] Es wurde berichtet, dass atmosphärische Eispartikel eine entscheidende Rolle bei der Wolkenbildung und dem Niederschlag spielen und dass die meisten Niederschläge in Wolken über die Eisphase entstehen. In jüngster Zeit haben Studien zum Cloud Seeding mehr Aufmerksamkeit auf sich gezogen, da es sich um eine wirksame Methode zur Nutzung solcher Wasserressourcen in Wolken handelt. Die meisten Studien konzentrieren sich auf hygroskopische Materialien mit hohem Wasserdampfadsorptionsvermögen als potenzielle Wolkenbildungsmaterialien, die nur bei Temperaturen über Null wirksam sind. Studien zur Wolkenaussaat bei Temperaturen unter Null (Kaltwolkenaussaat) haben jedoch keine großen Fortschritte gemacht, da Agl seit Jahrzehnten das am häufigsten verwendete Kaltwolkenaussaatmaterial ist, was häufig mit umstrittenen Umweltrisiken verbunden ist.
- [0009] Die Verwendung von Chemikalien wie Silberiodid stellt eine ökologische Bedrohung dar und schädigt die öffentliche Gesundheit, da Silberiodid bei intensiver oder chronischer Exposition zu vorübergehender Handlungsunfähigkeit oder möglichen bleibenden Verletzungen bei Menschen und Säugetieren führen kann. Derzeitige Silberiodid-Mikropartikel, die bei der Wolkenbildung verwendet werden, geben Anlass zu Bedenken hinsichtlich ihrer Toxizität in verschiedenen Umgebungen, insbesondere aquatische Umgebungen. Obwohl sich gezeigt hat, dass die herkömmliche Methode der Wolkenbildung die Form und das Verhalten von Wolken verändert, ist ihre Fähigkeit, Regen auszulösen, sehr ungewiss. Darüber hinaus ist die Struktur von Eis im Nanomaßstab nicht gut verstanden. Jüngste Studien haben gezeigt, dass Eis im Nanomaßstab eine fünfeckige statt sechseckige Kristallstruktur aufweist, was die Tür für neue und möglicherweise wirksamere Chemikalien zur Wolkenbildung öffnet.
- [0010] In den letzten Jahren wurden neue Formulierungen von Saatmaterial zur Freisetzung aus pyrotechnischen Fackeln entwickelt (National Research Council, 2003). Diese Materialien erfordern weniger Agl als ältere Formulierungen und sind bei der Eiskeimbildung bei Temperaturen unter etwa $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ viel aktiver. Zahlreiche Gruppen leisten erhebliche Arbeit zur Verbesserung der Effizienz von Impfmaterialeen und nutzen dabei komplexe chemische Zusammensetzungen und Nanotechnologien, verschiedene Arten von Nebelkammern und vollwertige Prüfstände für Säugeräte. Neue Arten von Wolkenbildungsmaterialien, die auf der Grundlage von Nanotechnologien synthetisiert wurden, haben als vielversprechende Technologie zur Wasseranreicherung Aufmerksamkeit erregt. Kürzlich wurde eine Art Kern/Hülle-NaCl/TiO₂ (CSNT)-Partikel mit kontrollierter Partikelgröße entworfen und synthetisiert. Das erfolgreich mehr Wasserdampf adsorbierte (ca. 295-mal bei niedriger relativer Luftfeuchtigkeit, 20 % RH) als reines NaCl, zerfließt bei einer niedrigeren RH der Umgebungsluft von 62–66 % als dem hygroskopischen Punkt (HG, 75 % RH) von NaCl und bildete größere Wassertröpfchen, die etwa das 6- bis 10-fache ihrer ursprünglich gemessenen Größenfläche betragen, wohingegen das reine NaCl unter den gleichen Bedingungen immer noch als Kristall verblieb. Es wurde festgestellt, dass die Titandioxidbeschichtung die Fähigkeit des Salzes, Wasserdampf zu adsorbieren und zu kondensieren, im Vergleich zu einem reinen Salzkristall um mehr als das Hundertfache verbesserte. Eine solche Steigerung der Kondensationseffizienz könnte die Fähigkeit einer Wolke verbessern, mehr Niederschlag zu produzieren, wodurch Regenverstärkungsmaßnahmen effizienter und effektiver werden. Dieses neuartige Material eignet sich für den Einsatz bei der Warmwolkenaussaat. zerfließt bei einer niedrigeren relativen Luftfeuchtigkeit in der Umgebung von 62–66 % als dem hygroskopischen Punkt (Hg.p., 75 % r.F.) von NaCl und bildet größere Wassertröpfchen, die etwa das 6–10-fache ihrer ursprünglich gemessenen Größenfläche betragen, während das reine NaCl immer noch übrig bleibt als Kristall unter den gleichen Bedingungen. Es wurde festgestellt, dass die Titandioxidbeschichtung die Fähigkeit des Salzes, Wasserdampf zu adsorbieren und zu kondensieren, im Vergleich zu einem reinen Salzkristall um mehr als das Hundertfache verbesserte. Eine solche Steigerung der Kondensationseffizienz könnte die Fähigkeit einer Wolke verbessern, mehr Niederschlag zu produzieren, wodurch Regenverstärkungsmaßnahmen effizienter und effektiver werden. Dieses neuartige Material eignet sich für den Einsatz bei der Warmwolkenaussaat. wohingegen das reine NaCl unter den gleichen Bedingungen immer noch als Kristall verblieb. Es wurde festgestellt, dass die Titandioxidbeschichtung die Fähigkeit des Salzes, Wasserdampf zu adsorbieren und zu kondensieren, im Vergleich zu einem reinen Salzkristall um mehr als das Hundertfache verbesserte. Eine solche Steigerung der Kondensationseffizienz könnte die Fähigkeit einer Wolke verbessern, mehr Niederschlag zu produzieren, wodurch Regenverstärkungsmaßnahmen effizienter und effektiver werden. Dieses neuartige Material eignet sich für den Einsatz bei der Warmwolkenaussaat. Dadurch werden Regenverbesserungsmaßnahmen effizienter und effektiver. Dieses neuartige Material eignet sich für den Einsatz bei der Warmwolkenaussaat.
- [0011] Aufgrund des zunehmenden Interesses an der Wolkenbildung und der Einschränkungen herkömmlicher Wolkenbildungsmaterialien besteht in der Technik ein Bedarf an der Synthese neuartiger alternativer Wolkenbildungsmaterialien, die die Niederschlagswahrscheinlichkeit erhöhen können, indem sie die Effizienz der Regentropfenbildung in der Kälte erhöhen und Cloud und minimieren Sie die negativen Auswirkungen auf die Umwelt. Darüber hinaus besteht auch Bedarf an der Entwicklung eisbildender Partikel, die bei höheren Temperaturen die Eiskeimbildung auslösen können.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

- [0012] Die vorliegende Erfindung führt nanostrukturierte Verbundmaterialien für die Eiskeimbildung in kalten Wolken ein, die eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit in der Ebene und außerhalb der Ebene bieten, was die Eiskeimbildung von unterkühltem Wasser begünstigt. Darüber hinaus stellt die vorliegende Erfindung ein eiskeimbildendes Teilchen bereit, das, wenn es einer kalten atmosphärischen Bedingung ausgesetzt wird, die Bildung und das Wachstum von Eiskristallen in Mischphasenwolken beschleunigt und verstärkt. Darüber hinaus stellt die vorliegende Erfindung auch ein eiskeimbildendes Teilchen bereit, das bei konstanter Temperaturabsenkung schnell und kontinuierlich wachsen kann.
- [0013] In einer Ausführungsform stellt die vorliegende Erfindung einen eiskeimbildenden Verbundwerkstoff bereit, der die Erzeugung einer Vielzahl von Eiskristallen umfasst, die in der Lage sind, die Eiskeimbildung bei einer höheren Temperatur von $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu initiieren, und wobei sich die Zahl der Eiskristalle vervielfacht, wenn die Temperatur auf oder darunter steigt $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- [0014] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der eiskeimbildende Verbundstoff ein dreidimensionaler (3D) poröser Verbundstoff aus reduzierten Graphenoxid-(rGO) und Siliziumdioxid-Nanopartikeln, wobei die Siliziumdioxid-Nanopartikel gleichmäßig über eine hexagonale reduzierte Graphenoxid-(rGO)-Gitterstruktur verteilt sind. Der Verbundwerkstoff der vorliegenden Erfindung weist eine überlegene Wärmeleitfähigkeit in der Ebene und außerhalb der Ebene auf, wodurch die Eiskeimbildung von unterkühltem Wasser begünstigt wird, wobei das Teilchen bei niedriger Luftfeuchtigkeit eine hohe Wasseradsorptionskapazität von 118,86 $\frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$ aufweist. Der Verbundwerkstoff hat eine hohe Brunauer-Emmett-Teller-Oberfläche (BET) von 178,84 $\frac{\text{m}^2}{\text{g}}$. Der höhere as,BET -Wert des Verbundwerkstoffs wurde auf die geringere Umschichtung der flexiblen rGO-Flächen während des Selbstorganisationsprozesses zurückgeführt, wobei SiO₂-Nanopartikel als Abstandshalter fungierten, die die rGO-Flächen durch Besetzung der Zwischenschichtlücken trennten, weniger Aggregation verursachten und Dadurch kam es zu einer Flächenvergrößerung. Darüber hinaus weist der Verbundwerkstoff einen geringen Wasserkontaktwinkel von $36,2^{\circ}$ auf, was zu einer höheren Hydrophilie führt. Darüber hinaus umfasst der Verbundstoff eine Vielzahl von Poren mit einer Größe von etwa 10–100 nm, was zu einem Porenvolumen von 1,23 $\frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$ führt.
- [0015] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung des eiskeimbildenden Verbundwerkstoffs bereit. Für die Synthese des Eiskeimbildungskomposits wurde eine einstufige hydrothermale Synthese durchgeführt, die die folgenden Schritte umfasste. Es wurde eine wässrige Dispersion von Graphenoxid (GO) hergestellt. Anschließend werden 20 ml Ethanol (C₂H₆O), 0,7 ml Ammoniumhydroxidlösung (NH₃·H₂O) zugegeben und 0,7 ml Tetraethylorthosilikat (TEOS) wurden zu den 15 ml Raphenoxidlösung gegeben, um eine homogene Mischung zu bilden. Die Mischung wurde 30 Minuten lang mit Ultraschall behandelt, dann in einen versiegelten, mit Teflon ausgekleideten Autoklaven überführt und 12 Stunden lang hydrothermisch auf 180 $^{\circ}\text{C}$ erhitzt. Unter Ultraschall wurden Silica-Nanopartikel über den Stöber-Prozess gebildet, bei dem TEOS in Alkohol in Gegenwart von NH₃·H₂O als Katalysator

hydrolysiert wurde. Das synthetisierte SiO_2 -Nanopartikel wurden in der Dispersion an die GO-Blätter gebunden, indem sie Wasserstoffbrückenbindungen mit

sauerstoffhaltigen Gruppen auf den GO-Blättern bildeten. Anschließend organisierte sich die Mischung in einem hydrothermischen Prozess selbst und bildete eine schwarz gefärbte schwammartige Struktur aus dreidimensionalen reduzierten Graphenoxid- und Siliciumdioxid-Nanopartikeln (PrGO-SN). Nach dem hydrothermischen Prozess wurde der gebildete PrGO-SN-Verbund dreimal mit entionisiertem Wasser (DI) gewaschen. Der gewaschene PrGO-SN-Verbundstoff wurde dann über Nacht bei etwa 20 °C in einen Gefrierschrank gestellt und anschließend wurde der PrGO-SN-Verbundstoff 24 Stunden lang bei etwa 100 °C in einen Gefriertrockner überführt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- [0016] Der als Erfindung anzusehende Gegenstand wird in den Ansprüchen am Ende der Beschreibung besonders hervorgehoben und deutlich beansprucht. Die vorstehenden und andere Aspekte, Merkmale und Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen deutlich, in denen:
- [0017] FEIGE. 1A stellt eine schematische Darstellung der porösen PrGO-SN-Verbundstruktur dar, die Wasser adsorbiert und kondensiert und dadurch Eiswachstum aus den Poren gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auslöst;
- [0018] FEIGE. 1B zeigt den Eiskeimbildungsmechanismus des PrGO-SN-Komposits gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0019] FEIGE. 2 veranschaulicht ein schematisches Flussdiagramm für die Synthese von PrGO-SN gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0020] FEIGE. 3 stellt grafisch einen Vergleich der Wasserdampfadsorptionskapazität verschiedener PrGO-SN-Verbundwerkstoffe gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar;
- [0021] FEIGE. 4A zeigt das REM-Bild des rGO-Blatts gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0022] FEIGE. 4B zeigt das REM-Bild des PrGO-SN-Komposits, in dem SiO_2 -Nanopartikel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in das 3D-rGO-Netzwerk eingehüllt waren;
- [0023] FEIGE. 4C zeigt das REM-Bild des PrGO-SN-Komposits, bei dem SiO_2 -Nanopartikel in das 3D-rGO-Netzwerk eingehüllt waren, wenn der Maßstabsbalken 200 nm beträgt, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0024] FEIGE. 4D zeigt das TEM-Bild des PrGO-SN-Komposits gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0025] FEIGE. 4E zeigt die Struktur von SiO_2 -Nanopartikeln gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0026] FEIGE. 4F zeigt die FTIR-Spektren von rGO, SiO_2 und dem PrGO-SN-Komposit gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0027] FEIGE. 5 stellt grafisch die simultane thermische Analyse (STA) des relativen Massenverhältnisses des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar;
- [0028] FEIGE. 6A zeigt die Porengrößenverteilung von PrGO-SN-Komposit und rGO basierend auf der Barrett-Joyner-Halenda-Methode gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0029] FEIGE. 6B zeigt die spezifische Oberfläche (a_s , BET) von rGO und dem PrGO-SN-Komposit basierend auf der Brunauer-Emmet-Teller-Methode unter Verwendung der N_2 -Adsorptions-/Desorptionsisotherme gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0030] FEIGE. 6C zeigt eine Wasserdampfadsorptionsisotherme von rGO und PrGO-SN bei relativer Luftfeuchtigkeit im Bereich von 60 % bis 75 % gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0031] FEIGE. 6D zeigt die Wasserkontaktwinkelmessung des PrGO-SN-Komposits bzw. der Agl-Partikel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- [0032] FEIGE. 7A stellt die Eiskeimbildungsaktivitäten des PrGO-SN-Komposits dar, die durch E-SEM-Experimente unter kontrollierten Temperatur- und Wasserdampfdruckbedingungen in Form von hexagonalen Eiskristallen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beobachtet wurden;
- [0033] FEIGE. 7B stellt die Eiskeimbildungsaktivitäten des PrGO-SN-Komposits dar, die durch E-SEM-Experimente unter kontrollierten Temperatur- und Wasserdampfdruckbedingungen in Form von Masseneis gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beobachtet wurden;
- [0034] FEIGE. 7C stellt die unterschiedlichen Eisbildungsmuster im rauen Bereich mit Hohlräumen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar;
- [0035] FEIGE. 7D stellt die unterschiedlichen Eisbildungsmuster im glatten Bereich gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar;
- [0036] FIG. 8A-8C zeigt zusätzliche E-SEM-Bilder, die unterschiedliche Eisbildungsmuster des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs im rauen Bereich mit Hohlräumen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen; Und
- [0037] FIG. 8D-8F zeigt zusätzliche E-SEM-Bilder, die unterschiedliche Eisbildungsmuster des PrGO-SN-Komposits im glatten Bereich gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

- [0038] Die Aspekte des Eiskeimbildenden Partikels der vorliegenden Erfindung werden im Zusammenhang mit beschrieben FIG. 1-8. In der detaillierten Beschreibung wird auf die beigefügten Figuren Bezug genommen, die einen Teil hiervon bilden und in denen zur Veranschaulichung spezifische Ausführungsformen gezeigt werden, in denen die Erfindung in die Praxis umgesetzt werden kann. Es versteht sich, dass andere Ausführungsformen genutzt und logische Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Die folgende detaillierte Beschreibung ist daher nicht in einem einschränkenden Sinne zu verstehen und der Umfang der vorliegenden Erfindung wird durch die beigefügten Ansprüche definiert.
- [0039] Die vorliegende Erfindung führt nanostrukturierte Verbundmaterialien für die Eiskeimbildung in kalten Wolken ein, die eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit in der Ebene und außerhalb der Ebene bieten, was die Eiskeimbildung von unterkühltem Wasser begünstigt. Darüber hinaus stellt die vorliegende Erfindung ein eiskeimbildendes Teilchen bereit, das, wenn es einer kalten atmosphärischen Bedingung ausgesetzt wird, die Bildung und das Wachstum von Eiskristallen in Mischphasenwolken katalysiert und fördert. Darüber hinaus stellt die vorliegende Erfindung auch ein Eiskeimbildendes Teilchen bereit, das bei konstanter Temperaturabsenkung schnell und kontinuierlich wachsen kann.
- [0040] Die vorliegende Erfindung konzentriert sich auf die Entwicklung und Synthese neuartiger Eiskeimbildungspartikel für die Eiskeimbildung in kalten Wolken. Die Erfindung stellt einen porösen Verbundwerkstoff aus dreidimensionalem (3D) reduziertem Graphenoxid (rGO) und Siliciumdioxid-Nanopartikeln (PrGO-SN) vor, der darauf abzielt, die Eiskeimbildung bei höheren Temperaturen sowie ein anhaltend schnelles Eiskristallwachstum zu initiieren.
- [0041] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine miteinander verbundene 3D-Verbundstruktur aus PrGO-SN mit schmalen SiO_2 -Nanopartikeln, die

gleichmäßig über die gesamte rGO-Struktur verteilt sind, über einen einstufigen hydrothermischen Prozess hergestellt. Dieser Verbundstoff fördert eine verstärkte Eiskeimbildung bei relativ warmen Temperaturen mit hohen Eiskeimbildungsaktivitäten basierend auf der folgenden Hypothese: 3D-rGO lieferte Vorlagen, die aufgrund seiner hexagonalen Gitterstruktur das Eiskristallwachstum erleichterten; SiO_2 -Nanopartikel verbesserten die gesamten

Wassermoleküladsorptionsfähigkeiten des PrGO-SN-Komposits und ermöglichten eine geringere Aggregation der gesamten 3D-rGO-Struktur, was zu mehr verfügbaren Stellen für die Eiskeimbildung führte, wie in dargestellt FEIGE. 1A und FEIGE. 1B.

- [0042] FEIGE. 1A zeigt eine schematische Darstellung der porösen PrGO-SN-Verbundstruktur, die Wasser adsorbiert und kondensiert und so das Eiswachstum aus den Poren auslöst. FEIGE. 1B zeigt den Eiskeimbildungsmechanismus des PrGO-SN-Komposits.

- [0043] Theoretische Betrachtung des verstärkten Eisbildungsmechanismus:

- [0044] Die Bildung von Eis umfasst die Prozesse der Keimbildung und des Wachstums. Im Rahmen der heterogenen Eiskeimbildung beginnen Wassermoleküle, Eiskristallkeime auf der Oberfläche von INPs zu bilden, und es gibt viele Faktoren, die die Leistung der Eiskeimbildung beeinflussen können. Zahlreiche Studien haben versucht, die Geschwindigkeit der Eiskeimbildung mithilfe verschiedener grundlegender Theorien zu analysieren, darunter die klassische Nukleationstheorie (CNT), ein vereinfachter theoretischer Ansatz, der den Eiskeimbildungsprozess beschreibt. Wie Gl. 1 zeigt, wird die Keimbildungsrate pro Volumeneinheit J hauptsächlich auf die Eigenschaften der INPs zurückgeführt, einschließlich ρ_1 , der Anzahldichte der Stellen für heterogene Keimbildung, Z_j , die Geschwindigkeit, mit der ein Kern die Energiebarriere überwindet und in eine neue Phase hineinwächst (auch bekannt als Zeldovich-Faktor, der von $\Delta\phi^*$ der Bildungsenergie des kritischen Clusters und N^* der Anzahl der Moleküle im Cluster abhängt) und ΔF^* , die Kosten für freie Energie zur Erzeugung des kritischen Kerns (ΔF^* hängt von θ , dem Kontaktwinkel, und ξ , der Geometrie der INPs ab). Andere Parameter in Gl. 1 sind k die Boltzmann-Konstante und T die Temperatur.

$$J = \rho_{\text{ICH}} Z_j^* \exp\left(-\frac{\Delta F^*}{kT}\right), Z_j^* = \frac{\sqrt{\Delta\phi^*}}{3\pi kT (N^*)^2}, \Delta F^* = \Delta F_{\text{HÖMÖ}}^* F(\theta, \xi) \quad (1)$$

- [0045] Bei der Eiskeimbildung werden die Wassermoleküle in ihre bevorzugten Gitterpositionen umgeordnet, beispielsweise bei den am häufigsten vorkommenden hexagonalen Eiskristallen (I_h), bei denen sich die Wassermoleküle in Schichten hexagonaler Ringe anordnen. Wenn die molekulare Geometrie und Chemie der INP-Oberfläche mit Eis kompatibel ist (z. B. Gitterübereinstimmung), dann hat ein auf einer solchen Oberfläche in der flüssigen Phase gebildeter Eisembryo eine geringere freie Energie als ein unabhängiger Eisembryo und sein Wachstum wird erleichtert. Daher hätte eine effiziente Keimbildungsfläche eine niedrige freie Energie der Grenzfläche, die sie mit Eis bildet, was mit Gleichung (1) übereinstimmt. 1, wobei ein kleinerer Wert von ΔF^* zu einem größeren J führt.
- [0046] Die vorliegende Erfindung zielt darauf ab, einen porösen Verbundwerkstoff aus dreidimensionalem (3D) reduziertem Graphenoxid (rGO) und Siliciumdioxid-Nanopartikeln (PrGO-SN) zu entwerfen und einzuführen, sodass die Oberfläche von 3D-rGO als Vorlage für das Eiskristallwachstum dient aufgrund seiner hexagonalen Gitterstruktur (ΔF^* -Absenkung). Darüber hinaus ermöglicht das Vorhandensein von SiO_2 -Nanopartikeln im PrGO-SN in den Zwischenschichtlücken zwischen den rGO-Schichten eine geringere Aggregation der gesamten 3D-rGO-Struktur, was zu mehr verfügbaren Stellen für die Eiskeimbildung führt (ρ 1 steigt); noch wichtiger ist die Hydrophilie von SiO_2 -Nanopartikel erleichtern auch die Ansammlung von Wassermolekülen auf der rGO-Oberfläche, was eine ausreichende Menge an Wassermolekülen für ein anhaltend schnelles Wachstum von Eiskristallen ermöglichen könnte (θ -Senkung). Darüber hinaus wird berichtet, dass die Mindestanzahl an Wassermolekülen für die Eiskeimbildung erforderlich ist, um eine vollständige ikosaedrische Symmetrie mit hexagonaler Geometrie zu bilden. Daher können mehr Wassermoleküle, die von den hydrophilen SiO_2 -Nanopartikeln gesammelt werden, den Beginn der Eiskeimbildung beschleunigen Wachstum. Daher haben beide Komponenten des PrGO-SN-Komposits gemeinsam den Effekt, die Eiskeimbildungsrate J zu erhöhen.
- [0047] Darüber hinaus ermöglicht die poröse Struktur des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs der vorliegenden Erfindung auch die Kondensation von flüssigem Wasser in diesen Poren selbst unterhalb der Sättigung durch den inversen Kelvin-Effekt. Wie Gl. Wie 2 zeigt, wird die relative Luftfeuchtigkeit in Bezug auf Wasser (RH_w) für eine zu füllende Pore durch den Kelvin-Effekt mit einem negativen Vorzeichen vorhergesagt, um die konkave Natur des Meniskus zu berücksichtigen:
- $$\ln \left(\frac{P_0}{P} \right) = - \frac{4 \gamma \cos(\theta) V_l}{D R T} \quad (2)$$
- [0048] Wo $\frac{P_0}{P}$ bezeichnet das Sättigungsverhältnis in Bezug auf Wasser, γ ist die Oberflächenspannung der Wasser-Dampf-Grenzfläche, V_l ist das Molvolumen von Wasser, D ist der Porendurchmesser, θ ist der Kontaktwinkel von Wasser auf dem Material, R ist das Gas konstant und T ist die Temperatur in Kelvin. Gl. 2 zeigt an, dass je schmaler die Porenbreite (kleinere Porengröße) ist, desto niedriger ist die RH_w die für das Auftreten der Porenkondensation erforderlich ist. Umgekehrt gilt: Je höher der Kontaktwinkel von Wasser auf dem Material, desto höher ist die relative Luftfeuchtigkeit RH_w zum Füllen der Poren erforderlich ist. Zusätzlich zum inversen Kelvin-Effekt deuteten die Struktur und Zusammensetzung des PrGO-SN-Komposits darauf hin, dass die Hydrophilie von SiO_2 -Nanopartikel können die Ansammlung von Wassermolekülen erleichtern, und anschließend können sich Wassermoleküle auf der rGO-Oberfläche in einer hexagonalen Struktur neu organisieren, was schließlich bei geeigneter Temperatur zur Eiskeimbildung führt.
- [0049] Da andererseits Wasserstoffbrückenbindungen in Abhängigkeit von der thermischen Fluktuation der Wassermoleküle ständig aufbrechen und sich neu bilden, ist das Gleichgewicht zwischen Wasser-Wasser- und Wasser-Oberflächen-Wechselwirkungen entscheidend für Eiskeimbildungsereignisse, d. h. wenn eine Art von Wechselwirkungen dominiert Andererseits wäre die Eiskeimbildung nicht begünstigt, da es entweder zu flüchtig oder zu stabil wäre, um die Eiskeimbildung auszulösen. Daher sind Oberflächeneigenschaften der Schlüssel zur Ermöglichung und Stabilisierung der Eiskeimbildung. Es ist bemerkenswert, dass das Gleichgewicht zwischen Wasser-Wasser- und Wasser-Oberflächen-Wechselwirkungen teilweise von der Menge der Wassermoleküle um das PrGO-SN-Komposit herum beeinflusst wird; Wenn die Menge hoch ist, ist die Wasser-Wasser-Wechselwirkung stärker als die Wasser-Oberflächen-Wechselwirkung. Dadurch wäre es für Wassermoleküle schwierig, sich in eine hexagonale Struktur zu reorganisieren und Eis zu bilden. Dies wird durch die Studie gestützt, dass die Eiskeimbildung an der Luft-Wasser-Grenzfläche um den Faktor 10 verstärkt werden kann als an der Wasser-Wasser-Grenzfläche. Da SiO_2 -Nanopartikel können aufgrund der hohen Wasserdampfadsorptionsfähigkeiten Wasserdampf einfangen und eine dünne Schicht flüssigen Wassers auf dem PrGO-SN-Verbundwerkstoff bilden. Es entsteht eine Flüssigkeits-Feststoff-Grenzfläche, die einen positiven Brückeneffekt zwischen Wasserdampf und der festen Oberfläche von hat der Verbund. Die Bildung von Eis beginnt in der dünnen Wasserschicht und das Eis wächst auf Kosten des Wasserdampfs in der Luft.
- [0050] Synthese des PrGO-SN-Komposits:
- [0051] Die Synthese von PrGO-SN der vorliegenden Erfindung ist in dargestellt FEIGE. 2. Für die Synthese wurde eine einstufige Hydrothermalsynthese mit folgenden Details durchgeführt. Eine wässrige GO-Dispersion wurde unter Verwendung der verbesserten Hummers-Methode hergestellt. 15 ml GO-Lösung (Konzentration 2 mg/ml), wie oben hergestellt (unter Verwendung der Hummers-Methode), wurden dann mit 20 ml Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) gemischt. Anschließend wurden der Mischung 0,7 ml Ammoniumhydroxidlösung ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und 0,7 ml bzw. 1,4 ml Tetraethylorthosilicat (TEOS) zugesetzt, um zwei separate Proben herzustellen. Die Mischungen werden 30 Minuten lang mit Ultraschall behandelt, dann in einen versiegelten, mit Teflon ausgekleideten Autoklaven überführt und 12 Stunden lang hydrothermisch auf 180 °C erhitzt. **Unter Beschallung wurden Silica-Nanopartikel über St(umlaut über (O) gebildet)ber-Verfahren**, bei dem TEOS in Alkohol in Gegenwart von $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ als Katalysator hydrolysiert wurde. Das synthetisierte SiO_2 -Nanopartikel wurden in der Dispersion an die GO-Blätter gebunden, indem sie Wasserstoffbrückenbindungen mit sauerstoffhaltigen Gruppen auf den GO-Blättern bildeten. Anschließend organisierte sich die Mischung in einem hydrothermischen Prozess selbst und bildete eine schwarz gefärbte schwammartige Struktur aus dreidimensionalen reduzierten Graphenoxid- und Siliciumdioxid-Nanopartikeln (PrGO-SN). Nach dem hydrothermischen Prozess wurde der gebildete PrGO-SN-Verbund dreimal mit entionisiertem Wasser (DI) gewaschen. Der gewaschene PrGO-SN-Verbund wurde dann über Nacht bei -20 °C in einen Gefrierschrank gestellt und anschließend wurde der PrGO-SN-Verbund 24 Stunden lang in einen Gefriertrockner bei -100 °C überführt. Die Eiskeimbildungsleistung des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs wurde weiter durch visuelle In-situ-Beobachtung mit einem Umwelt-Rasterelektronenmikroskop (E-SEM) bestimmt.
- [0052] Charakterisierung und Messungen:
- [0053] Das synthetisierte PrGO-SN-Komposit wurde durch Rasterelektronenmikroskopie (REM, Quanta 250, FEI Company) charakterisiert; Transmissionselektronenmikroskopie (TEM, Tecnai von FEITM Company, Betrieb bei 200 KV); Ein Fourier-Transformations-Infrarot-Nicolet iS10-Spektrometer (FTIR, Thermo Fisher Scientific, Inc.). Messungen des statischen Kontaktwinkels von Wasser (Kyowa DM-701), durchgeführt mit einem Schnittstellen-Mess- und Analysesystem und den Tröpfchen von 0,8 μl . Die Wasserdampfadsorptionsleistung des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs wurde quantitativ über einen Wasserdampf-Adsorptionsisothermentest (Brunauer-Emmett-Teller, Belsorb Max, Japan) im Wasserdampfmodus bestimmt. Die Proben wurden 3 Stunden bei -4 vorbehandelt 100°C und einem Druck < 10 Pa vor Beginn der Wasserdampfadsorptionsisothermenanalyse und der gesamte Test benötigten 24 Stunden. Zur In-situ-Beobachtung der Eiskeimbildungsaktivitäten des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs wurde die Rasterelektronenmikroskopie (E-SEM) der Umgebung verwendet. Die Analyse der Wasserdampfadsorptionsisotherme bestätigte, dass die mit 0,7 ml TEOS hergestellte PrGO-SN-Probe eine höhere Wasserdampfadsorptionskapazität aufwies, wie in gezeigt FEIGE. 3.
- [0054] FEIGE. 3 zeigt einen Vergleich der Wasserdampfadsorptionskapazität verschiedener PrGO-SN-Verbundwerkstoffe. Dies ist aus der in gezeigten Grafik ersichtlich FEIGE. 3 dass bei niedrigen relativen Luftfeuchtigkeitsbedingungen im Bereich von 60 % bis 75 % das adsorbierte Wasserdampfvolumen der PrGO-SN-Probe (0,7 ml TEOS) höher war als das der PrGO-SN-Probe (1,4 ml TEOS); Mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit war der Unterschied in der Wasserdampfadsorptionskapazität sogar noch größer.
- [0055] Die in dieser Erfindung hergestellten 3D-rGO/MO-Materialien zeigen bei der Auswertung durch Messung der Eiskeimbildung im Mikromaßstab, dass das erzeugte 3DrGO/SiO2 die Eiskeimbildung bei -8 °C initiieren kann, was einer höheren Temperatur als bei den meisten zuvor berichteten Materialien wie AgI entspricht und

Feldspat. Darüber hinaus nahm die Anzahl der Eiskeimbildungspartikel mit abnehmender Temperatur kontinuierlich und schnell zu.

[0056] Oberflächenmorphologie von rGO und das Querschnittsbild des PrGO-SN:

[0057] Die mikroskopische Oberflächenmorphologie von rGO und das Querschnittsbild des PrGO-SN-Komposits sind in dargestelltFIG. 4A bis 4E. Als die GO-Dispersion wie oben erwähnt einem hydrothermischen Prozess unterzogen wurde, bildete sich eine gut verbundene poröse 3D-Struktur mit vielen miteinander verbundenen rGO-Schichten, wie in gezeigtFEIGE. 4A. Was das PrGO-SN-Komposit betrifft, bestätigte das REM-Bild, dass SiO₂-Nanopartikel homogen in rGO eingebettet und über fast das gesamte rGO-Netzwerk verteilt waren, wie in gezeigtFEIGE. 4B. Die innere Struktur des PrGO-SN-Komposits zeigte auch die Gesamtverteilung der SiO₂-Nanopartikel, die im 3D-rGO-Netzwerk eingeschlossen sind. Weitere TEM-Beobachtungen deuteten darauf hin, dass SiO₂-Nanopartikel die Zwischenschichtlücken zwischen den rGO-Schichten besetzten, was darauf hindeutet, dass die SiO₂-Nanopartikel eine Abstandshalterrolle bei der Trennung der rGO-Schichten spielten und somit im Vergleich zum ursprünglichen rGO zu einer geringeren Aggregation führten.FEIGE. 4Dzeigt unterschiedliche Kontraste von rGO-Schichten und SiO₂-Nanopartikeln, was auf die Koexistenz von SiO₂-Nanopartikeln und rGO-Schichten hindeutet. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass SiO₂-Nanopartikel eine kugelförmige Struktur mit einer durchschnittlichen Größe von 10–20 nm aufweisen, wie in gezeigtFEIGE. 4E.

[0058] Darüber hinaus wurde eine simultane thermische Analyse (STA) durchgeführt, um die Zusammensetzung jeder Komponente im PrGO-SN-Verbundwerkstoff zu bestimmen. Das Ergebnis zeigte, dass der Massenanteil von rGO im PrGO-SN-Verbundwerkstoff etwa 18 Gew.-% beträgt, wie in gezeigtFEIGE. 5.FEIGE. 5, zeigt die simultane thermische Analyse (STA) des relativen Massenverhältnisses des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs. Es ist in angegebenFEIGE. 5dass rGO 18 % der gesamten Verbundmasse ausmachte. Typischerweise änderte sich die Masse des Verbundwerkstoffs bis 500 °C nicht wesentlich. Vor 500 °C war der größte Teil des Massenverlusts auf die Verdampfung von Wassermolekülen im Inneren des Verbundwerkstoffs zurückzuführen; Nach 500 °C begannen kohlenstoffhaltige Materialien zu brennen, was zu einem erheblichen Masseverlust führte.

[0059] Die funktionellen Gruppen jeder Komponente des PrGO-SN-Komposits wurden durch FTIR (Fourier-Transformations-Infrarot-Nicolet iS10-Spektrometer) bestätigt, wie in gezeigtFEIGE. 4F. Peaks von C=C, C-O und Si-O-Si aus der Verbundprobe bestätigten das Vorhandensein von rGO- und SiO₂-Nanopartikeln. Darüber hinaus entspricht der relativ starke Peak des Verbundwerkstoffs bei 1060–1075 cm⁻¹ der Überlagerung zwischen den CO- und Si-O-Si-Peaks. Die Peaks von -OH und O-H waren kaum sichtbar (FEIGE. 3F), was bedeutet, dass die meisten sauerstoffhaltigen Gruppen während des hydrothermischen Reaktionsprozesses entfernt wurden. Das etwas stärkere -OH-Signal des PrGO-SN-Komposits als das des rGO könnte auf das Vorhandensein von Silanolgruppen zurückzuführen sein, die normalerweise mit SiO₂-Nanopartikeln assoziiert sind.

[0060] Die Porengrößenverteilung und das Gesamtporenvolumen sowohl des PrGO-SN-Komposits als auch des rGO wurden mit der Barrett-Joyner-Halenda (BJH)-Methode bestimmt. AlsFEIGE. 6AWie das BJH-Ergebnis zeigt, zeigte das PrGO-SN-Komposit deutlich mehr Poren mit einer Größe zwischen 10 und 100 nm und einem Spitzenwert von etwa 50 nm im Vergleich zu rGO, das weniger Poren größerer Größe aufwies, was auf die Koexistenz von SiO₂-Nanopartikeln schließen lässt und das 3D-GO-Gerüst trug zur Bildung kleinerer Poren (10–100 nm) in der Verbundstruktur bei. Darüber hinaus weist der PrGO-SN-Verbundstoff ein Gesamtporenvolumen (V_p) von 1,23 cm³/g auf, verglichen mit dem von rGO von 0,69 cm³/g. Dieses BJH-Ergebnis zeigte, dass die Porosität des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs im Vergleich zum rGO stark erhöht wurde. Die spezifische Oberfläche (a_s , BET) des rGO und des PrGO-SN-Komposits wurden mit der Brunauer-Emmett-Teller (BET)-Methode unter Verwendung von N₂-Adsorptions-/Desorptionsisothermen mit 167,31 m²/g für rGO und 178,84 m²/g für das Komposit bestimmt. bzw. wie in gezeigtFEIGE. 6B. Der höhere Wert von $a_{s,BET}$ des Verbundwerkstoffs wurde auf die geringere Neustapelung der flexiblen rGO-Blätter während des Selbstorganisationsprozesses zurückgeführt, bei dem SiO₂-Nanopartikel als Abstandshalter fungierten, die die rGO-Blätter trennten, indem sie die Lücken zwischen den Schichten besetzten, was zu einer geringeren Aggregation führte und führte daher zu einer Vergrößerung der Oberfläche.

[0061] Eine Wasserdampfadsorptionsisothermenanalyse wurde durchgeführt, um die Wasserdampfadsorptionskapazität des PrGO-SN-Komposits im Vergleich zum rGO quantitativ zu bestimmen. Es wurde festgestellt, dass selbst bei niedrigen relativen Luftfeuchtigkeitsbedingungen im Bereich von 60 % bis 75 % das adsorbierte Wasserdampfvolumen des Verbundwerkstoffs höher war als das des rGO [118,86 cm³/g im Vergleich zu diesem (105,95 cm³/g) von rGO bei 75 % RH], was es dem Verbundwerkstoff ermöglichte, mehr Wasserdampf zu adsorbieren, der möglicherweise zur Eiskeimbildung bei geeigneter Temperatur beitrug, wie in gezeigtFEIGE. 6C. Obwohl sowohl das PrGO-SN-Komposit als auch das rGO eine gute Wasserdampfadsorptionskapazität zeigten, kann gefolgert werden, dass das PrGO-SN-Komposit bei einem höheren RH-Wert viel mehr Wasserdampf als das rGO adsorbieren könnte.

Dieses Merkmal wurde sowohl der Hydrophilie der SiO₂-Nanopartikel als auch der porösen Struktur des PrGO-SN-Komposits zugeschrieben. Darüber hinaus wurde der Wasserkontaktwinkel des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs durch Messungen des statischen Kontaktwinkels von deionisiertem Wasser bestimmt. Die PrGO-SN-Pulverprobe wurde durch Formpressen in eine Plattenform gepresst und der gemessene Kontaktwinkel der Plattenprobe wurde als Näherungswert für die tatsächlichen PrGO-SN-Verbundpartikel verwendet. Wie gezeigt inFEIGE. 6DDer Kontaktwinkel des PrGO-SN-Komposits beträgt nur 36,2°, was seine starke hydrophile Eigenschaft bestätigt. Ein niedriger Kontaktwinkel kann zu höheren Eiskeimbildungsaktivitäten führen, da die Kosten für freie Energie bei der Bildung des kritischen Keims sinken und dadurch die Wasserdampfadsorptionsleistung erhöht wird. Im Vergleich dazu beträgt der Kontaktwinkel von Silberiodid (AgI)-Partikeln beispielsweise 131,1°, was auf eine starke hydrophobe Eigenschaft hinweist. Basierend auf den obigen Ergebnissen und Vergleichen hat die PrGO-SN-Verbundprobe der vorliegenden Erfindung die Struktur und Eigenschaft eines nanostrukturierten porösen Materials mit höherer Wasserdampfadsorptionskapazität, höherer spezifischer BET-Oberfläche und niedrigeren Wasserkontaktwinkeln (d. h. hydrophiler) gezeigt.

[0062] Beobachtung der Eiskeimbildung auf PrGO-SN-Verbundwerkstoffen:

[0063] Zur In-situ-Beobachtung der Eiskeimbildungsaktivitäten des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs wurde die Rasterelektronenmikroskopie (E-SEM) der Umgebung eingesetzt. Bei allen E-SEM-Experimenten wurden die übersättigten relativen Luftfeuchtigkeitsbedingungen und die Minustemperatur für das erste Auftreten der Eiskeimbildung und das anschließende Wachstum durch Anpassen des Wasserdampfpartialdrucks sowie der Temperatur in der Kammer gesteuert. Zunächst wurden die Proben 60 Minuten lang in der Kammer vorbehandelt, wobei die Temperatur der Kammer auf -8 °C und die relative Luftfeuchtigkeit (RH) auf ~80 % eingestellt waren. Diese Vorbehandlung ermöglicht eine Stabilisierung der Temperatur- und relativen Luftfeuchtigkeitsbedingungen. Zweitens wurde die relative Luftfeuchtigkeit in der Kammer schrittweise mit einer konstanten Geschwindigkeit (~5 Pa/s) erhöht, bis erste Eiskeimbildungsereignisse beobachtet wurden, und die relative Luftfeuchtigkeit hörte auf zu steigen und wurde konstant gehalten; Unterdessen schritt das Eiskristallwachstum bei diesem RH-Wert rasch voran. Unter solchen Verfahren wurden mehrere Experimente durchgeführt und es wurde festgestellt, dass der RH-Wert, bei dem das erste Keimbildungsereignis beobachtet wurde, zwischen 5 % und 8 % Übersättigung lag. Die gleichen Verfahren wurden bei noch höheren Temperaturen von -7 und -6 °C durchgeführt, es wurden jedoch unabhängig vom Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit keine Eiskeimbildungsereignisse beobachtet. Daher wurde -8 °C als höchste und optimale Eiskeimbildungstemperatur für das PrGO-SN-Komposit ermittelt. Bemerkenswert ist, dass zu keinem Zeitpunkt der E-SEM-Experimente ein Wassertropfen gefunden wurde, was darauf hindeutet, dass der Wasserdampf direkt in Eiskristalle umgewandelt wurde. Unter solchen Verfahren wurden mehrere Experimente durchgeführt und es wurde festgestellt, dass der RH-Wert, bei dem das erste Keimbildungsereignis beobachtet wurde, zwischen 5 % und 8 % Übersättigung lag. Die gleichen Verfahren wurden bei noch höheren Temperaturen von -7 und -6 °C durchgeführt, es wurden jedoch unabhängig vom Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit keine Eiskeimbildungsereignisse beobachtet. Daher wurde -8 °C als höchste und optimale Eiskeimbildungstemperatur für das PrGO-SN-Komposit ermittelt. Bemerkenswert ist, dass zu keinem Zeitpunkt der E-SEM-Experimente ein Wassertropfen gefunden wurde, was darauf hindeutet, dass der Wasserdampf direkt in Eiskristalle umgewandelt wurde. Unter solchen Verfahren wurden mehrere Experimente durchgeführt und es wurde festgestellt, dass der RH-Wert, bei dem das erste Keimbildungsereignis beobachtet wurde, zwischen 5 % und 8 % Übersättigung lag. Die gleichen Verfahren wurden bei noch höheren Temperaturen von -7 und -6 °C durchgeführt, es wurden jedoch unabhängig vom Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit keine Eiskeimbildungsereignisse beobachtet. Daher wurde -8 °C als höchste und optimale Eiskeimbildungstemperatur für das PrGO-SN-Komposit ermittelt. Bemerkenswert ist, dass zu keinem Zeitpunkt der E-SEM-Experimente ein Wassertropfen gefunden wurde, was darauf hindeutet, dass der Wasserdampf direkt in Eiskristalle umgewandelt wurde. wurde als höchste und optimale Eiskeimbildungstemperatur für das PrGO-SN-Komposit bestimmt. Bemerkenswert ist, dass zu keinem Zeitpunkt der E-SEM-Experimente ein Wassertropfen gefunden wurde, was darauf hindeutet, dass der Wasserdampf direkt in Eiskristalle umgewandelt wurde.

optimale Eiskeimbildungstemperatur für das PrGO-SN-Komposit bestimmt. Bemerkenswert ist, dass zu keinem Zeitpunkt der E-SEM-Experimente ein Wassertropfen gefunden wurde, was darauf hindeutet, dass der Wasserdampf direkt in Eiskristalle umgewandelt wurde.

- [0064] E-SEM-Experimente zeigten, dass unter den gleichen Bedingungen die durch das PrGO-SN-Komposit induzierte Eiskeimbildung zu zwei unterschiedlichen Erscheinungsformen von Eiskristallen führte: 1) solchen, die dazu neigten, zu einzelnen sechseckigen Kristallen zu wachsen; und 2) diejenigen, die miteinander verschmelzen und Eismassen bilden, wie in dargestellt FEIGE. 7A und 7B bzw. Dieses Phänomen lässt darauf schließen, dass unterschiedliche Oberflächenmerkmale des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs unterschiedliche Auswirkungen auf die Eiskeimbildung und das Eiswachstum haben könnten. Um dieses Phänomen weiter zu analysieren, wurden Regionen des PrGO-SN-Komposits mit unterschiedlichen Morphologien sorgfältig durch E-SEM-Beobachtung beobachtet: eine mit offensichtlicher topografischer Rauheit, wie z. B. große Hohlräume auf der Oberfläche, die andere mit relativ glatter Oberfläche ohne große Hohlräume, z gezeigt in FEIGE. 7C und FEIGE. 7D, bzw.
- [0065] Wie gezeigt in FEIGE. 7C Als die relative Luftfeuchtigkeit eine Übersättigung von etwa 5 % erreichte, kam es in den Probenbereichen mit großen Hohlräumen zum ersten Mal zur Bildung von Eis, das dann innerhalb von etwa 10 s nach Beginn des Experiments zu wachsen begann (c2). Als die relative Luftfeuchtigkeit nach etwa 20 Sekunden im Experiment auf etwa 8 % Übersättigung anstieg, wurden die Eiskristalle größer und zeigten im Hohlraum der Probe eine sichtbare sechseckige Form (c3). Im Vergleich, FEIGE. 7D zeigt, dass Eiskeimbildung nur auf den Probenbereichen mit glatter Oberfläche beobachtet wurde, bis die Bedingungen etwa 8 % Übersättigung und etwa 30 s nach Beginn des Experiments erreichten (d2). In der späteren Probe kam es jedoch nach der Bildung der Eiskristalle zu spontanem Eiswachstum, und innerhalb einer kurzen Zeitspanne (nur ~5 s) nach dem ersten Eiskeimbildungsereignis (d3) bedeckten Eiskristalle fast die gesamte Oberfläche der Probe. Es ist bemerkenswert, dass in beiden Szenarien die keimhaltigen Eiskristalle ihr Wachstum bei konstanter relativer Luftfeuchtigkeit aufrechterhalten können.
- [0066] Darüber hinaus wurden mehrere E-SEM-Experimente zur Eiskeimbildung durchgeführt und weitere SEM-Bilder von Eiskeimbildungsereignissen in rauen Regionen mit Hohlräumen, wie in gezeigt FIG. 8A-8C; und relativ glatte Region, wie in gezeigt FIG. 8D-8F bzw. Wie man sehen kann FIG. 8A-8C Die E-SEM-Experimente zeigten unterschiedliche Eisbildungsmuster in rauen Regionen mit Hohlräumen. Alternativ kann es aus gesehen werden FIG. 8D-8F Die Eisbildungsmuster in der glatten Region bestehen aus sechseckigen Eiskristallen und Eismassen.
- [0067] Es kann festgestellt werden, dass in den rauen Probenregionen mit großen Hohlräumen die Eiskeimbildung in solchen großen Hohlräumen beginnen und zu sechseckigen Eiskristallen heranwachsen könnte (FEIGE. 7C). Bei Proben mit relativ glatten Bereichen kam es an mehreren Stellen zur gleichzeitigen Eiskeimbildung, und die gebildeten Eiskristalle neigten dazu, zu verschmelzen und große Eisbrocken zu bilden, wie aus der Abbildung hervorgeht FEIGE. 7D Die Unterschiede im Eiskristallwachstumsverhalten wurden durch die Regionen mit unterschiedlicher Oberflächenrauheit beeinflusst. Im Allgemeinen begünstigte die topografische Rauheit des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs tendenziell die Kondensation von Dampf in Flüssigkeit. Insbesondere im Fall eines porösen Verbundwerkstoffs aus PrGO-SN weisen raue Bereiche mit größerer Oberfläche Hohlräume und mehr kleine Poren auf als relativ glatte Bereiche. Infolgedessen würde sich kondensierter Wasserdampf zuerst in den Hohlräumen des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs ansammeln, sodass diese Stellen aufgrund der begrenzten Keimbildungsstellen und einer ausreichenden Wasserdampfaufnahme eine höhere Eiskeimbildungsaktivität aufweisen würden. Andererseits neigte die relativ glatte PrGO-SN-Region dazu, Wasserdampf homogener zu adsorbieren, sodass die Eiskeimbildung tendenziell an mehreren Stellen gleichzeitig auftrat; Jedoch, Aufgrund der Konkurrenz von kondensiertem Wasserdampf zwischen den benachbarten Standorten würde es länger dauern, bis die Eiskeimbildung visuell beobachtet werden kann. Sobald die Eiskeimbildung an mehreren Stellen stattfand, verschmelzen die gebildeten kleinen Eiskristalle schnell zu einer Eismasse. Durch die Beobachtung der Eiskeimbildung auf PrGO-SN-Verbundwerkstoffen mithilfe des temperatur-/wasserdampfdruckkontrollierten E-SEM wurde festgestellt, dass der poröse Verbundwerkstoff aus PrGO-SN die Einleitung der Eiskeimbildung bei höheren Temperaturen sowie kontinuierliches schnelles Eis zeigte Kristallwachstum, das Potenzial als vielversprechender Kandidat für Eiskeimbildungsmaterialien zeigte. die gebildeten kleinen Eiskristalle würden schnell zu Eismassen verschmelzen). Durch die Beobachtung der Eiskeimbildung auf PrGO-SN-Verbundwerkstoffen mithilfe des temperatur-/wasserdampfdruckkontrollierten E-SEM wurde festgestellt, dass der poröse Verbundwerkstoff aus PrGO-SN die Einleitung der Eiskeimbildung bei höheren Temperaturen sowie kontinuierliches schnelles Eis zeigte Kristallwachstum, das Potenzial als vielversprechender Kandidat für Eiskeimbildungsmaterialien zeigte.
- [0068] Das in der vorliegenden Erfindung hergestellte 3DrGO/SiO₂ weist verschiedene Vorteile gegenüber Standard-Eis-Keimbildungsmaterialien auf. Der erste Vorteil besteht darin, dass das 3D-reduzierte Graphenoxidgerüst eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit in der Ebene und außerhalb der Ebene bietet, was die Eiskeimbildung von unterkühltem Wasser begünstigt. Der zweite Vorteil besteht darin, dass die hochporösen und hydrophilen SiO₂-Nanopartikel zur Adsorption der frei beweglichen Wassermoleküle beitragen und dabei helfen, die feste und gepackte Ausrichtung der Wassermoleküle zu erreichen, um das Eis zu bilden. Beide positiven Faktoren des 3D-rGO/SiO₂ wurden von Standard-Eiskeimbildern nicht erreicht.
- [0069] Die vorliegende Erfindung zielt auf die Entwicklung eines nanostrukturierten porösen Verbundwerkstoffs aus dreidimensionalen reduzierten Graphenoxid- und Siliciumdioxid-Nanopartikeln (PrGO-SN) ab. Eine miteinander verbundene 3D-Verbundstruktur aus PrGO-SN mit schmalen SiO₂-Nanopartikeln, die gleichmäßig über die gesamte rGO-Struktur verteilt sind, wurde durch einen kontrollierten einstufigen hydrothermischen Prozess hergestellt. Das PrGO-SN-Komposit ermöglichte nicht nur ein hexagonales Eiskristallwachstum durch Gitterübereinstimmung zwischen dem Eis und der kristallinen Struktur des Substrats, was eine heterogene Eiskeimbildung aus seiner 3D-rGO-Komponente induzieren könnte, sondern lieferte auch eine große Brunauer-Emmett-Teller-Oberfläche (BET). und Wasserdampfadsorptionskapazität. Darüber hinaus weist der PrGO-SN-Verbundwerkstoff aufgrund seines SiO₂ eine gute Porosität und eine hydrophilere Oberfläche Nanopartikelkomponente, die allesamt geeignete Faktoren zur Förderung der Eiskeimbildung und des Eiswachstums waren. In-situ-Beobachtungen mit einem Umwelt-Rasterelektronenmikroskop (E-SEM) bestätigten die verbesserte Eiskeimbildungsleistung des PrGO-SN-Verbundwerkstoffs, was durch ein sichtbares Eiskeimbildungsereignis ab -8 °C und einer Übersättigung von 5-8 % relativer Luftfeuchtigkeit nachgewiesen wurde. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Eiskeimbildung in großen Hohlräumen im rauen Bereich der PrGO-SN-Verbundprobe begann und zu sechseckigen Eiskristallen heranwuchs. Alternativ trat das Eiskeimbildungsereignis gleichzeitig an mehreren Stellen in einem glatteren Bereich der Probe auf und verschmolz dann schnell miteinander, um Eismassen zu bilden. Durch Beobachtung der Eiskeimbildung auf PrGO-SN-Verbundwerkstoffen unter E-SEM,
- [0070] Viele Änderungen, Modifikationen, Variationen und andere Verwendungen und Anwendungen der vorliegenden Erfindung werden für den Fachmann nach Betrachtung dieser Beschreibung und der beigefügten Zeichnungen, die die bevorzugten Ausführungsformen davon offenbaren, offensichtlich. Alle derartigen Änderungen, Modifikationen, Variationen und andere Verwendungen und Anwendungen, die nicht vom Geist und Umfang der Erfindung abweichen, gelten als von der Erfindung abgedeckt, die nur durch die folgenden Ansprüche eingeschränkt wird.

Patentzitate (5)

Veröffentlichungsnummer	Prioritätsdatum	Veröffentlichungsdatum	Bevollmächtigter	Titel
Zitate von Familie zu Familie				
KR101911745B1 *	23.03.2015	25.10.2018	재단법인 나노기반소프트일렉트로닉스연구원	Graphenlaminat und Verfahren zu seiner Herstellung
JP2018532587A *	08.09.2015	08.11.2018	グラフオイドインコーポレーテッド	Verfahren zur Substratbeschichtung unter Verwendung kohlenstoffhaltiger Materialien

BR102016030134B1 *	21.12.2016	10.05.2022	Universidade Estadual De Campinas - Unicamp	Verfahren zur Gewinnung eines Nanokomposits auf der Basis von Graphenoxid- und Siliciumdioxid-Nanopartikeln, das so erhaltene Nanokomposit und seine Verwendung
CN108246130B *	31.01.2018	09.06.2020	江苏大学	GO/SiO2-Vorbereitungsmethode für modifizierte Nano-Verbundfilme
CN108862265A *	18.07.2018	23.11.2018	深圳大学	Eine Art Graphenoxid-Nanometer-Siliciumdioxid-Verbundmaterial und dessen Herstellungsverfahren

* Vom Prüfer zitiert, † Von Dritter zitiert

Zitiert von (1)

Veröffentlichungsnummer	Prioritätsdatum	Veröffentlichungsdatum	Bevollmächtigter	Titel
Zitate von Familie zu Familie				
CN112772390A *	11.01.2021	11.05.2021	中国农业科学院麻类研究所	Methode zur Förderung der Wurzelbildung von Industriebanf-Schneidlingen in Wasserkulturen

* Vom Prüfer zitiert, † Von Dritter zitiert, ‡ Zitierung von Familie zu Familie

Ähnliche Dokumente

Veröffentlichung	Veröffentlichungsdatum	Titel
Xie et al.	2015	Graphen und Hydroxylapatit organisieren sich selbst zu homogenen, freistehenden Nanokomposit-Hydrogelen für die Knochengewebezüchtung
Marcolli	2014	Ablagerungskeimbildung wird als homogenes oder Eintauchgefrieren in Poren und Hohlräumen betrachtet
TWI713729B	21.12.2020	Hohle Siliciumdioxidteilchen und Verfahren zu ihrer Herstellung
Wang et al.	2014	Neuartige blütenartige Titanphosphat-Mikrostrukturen und ihre Anwendung bei der Entfernung von Bleiionen aus Trinkwasser
US20220002159A1	06.01.2022	3D-Komposit aus reduziertem Graphenoxid/SiO ₂ zur Eiskeimbildung
KR20140014192A	05.02.2014	Aluminiumsilikat, Metallionenadsorptionsmittel und Verfahren zu seiner Herstellung
Choi et al.	2012	Polymorphe Kontrolle von Calciumcarbonat auf der Oberfläche von mesoporösem Siliciumdioxid
Kamble et al.	2020	Verschiedene 2D-Materialien basierend auf Polyetherimid-Mischmatrixmembranen für die CO ₂ /N ₂ -Trennung
JP2014035043A	24.02.2014	Wärmeisolierendes Material
Lu et al.	2020	Eine raumbegrenzte Strategie für großflächige zweidimensionale Kristalle ionischer Flüssigkeiten
JP2009001447A	08.01.2009	Poröses Siliciumdioxidmaterial, Verfahren zu seiner Herstellung und Verwendung desselben
US11504687B2	22.11.2022	Beschichtete Chloridsalzpartikel sowie Verfahren zu ihrer Herstellung und Verwendung
Frappa et al.	2021	Abgeblätterte Bi ₂ Te ₃ -fähige Membranen für ein neues Konzept der Wasserentsalzung: Die Süßwasserproduktion trifft auf neue Wege
KR101623035B1	23.05.2016	Herstellungsverfahren für einen nanoporösen Kohlenstoff/Silica-Hybridfilm mit verbesserter Prozesseffizienz
Du et al.	2020	Maßgeschneiderte Struktur und Oberflächenchemie hohler Allophan-Nanokugeln zur Optimierung der Aggregation durch einfache Methylmodifikation
Sun et al.	2011	Hydrothermale Synthese, Wachstumsmechanismus und Eigenschaften dreidimensionaler mikro-/nanoskaliger hierarchischer Architekturfilme aus Hemimorphit-Zinksilikat
Ding et al.	2017	Synthese von b-orientierten MF1-Nanoblättern mit hohem Aspektverhältnis durch Unterdrückung des Verwachsens mit 2D-GO-Nanoblättern
Yang et al.	2022	Die Synthese eines mesoporösen Siliciumdioxidfilms unter Verwendung mehrerer Vorlagen und der Wirkung anorganischer Säuren
US7572424B1	11.08.2009	Selbstorganisation nanoporöser Silicafasern einheitlicher Form
Lee et al.	2000	Herstellung von kolloidalem Siliciumdioxid mithilfe der Peptisierungsmethode
Marcolli	2013	Ablagerungskeimbildung wird als homogenes oder Eintauchgefrieren in Poren und Hohlräumen betrachtet
JP6519943B2	29.05.2019	Sphärisches mesoporöses Material auf Siliciumdioxidbasis und Verfahren zu seiner Herstellung
Hu et al.	2014	Nanostrukturierte mesoporöse Silikatdrähte mit Intradrahtlamellen durch verdampfungsinduzierte Selbstorganisation in räumlich begrenzten Kanälen
KR101251057B1	05.04.2013	Mesoporöse Siliciumdioxidmaterialien mit kristallinen Porenwänden und Verfahren zu ihrer Herstellung
JP2004224583A	12.08.2004	Verfahren zur Herstellung hohler kugelförmiger Silikatcluster, deren Oberfläche mit organischen funktionellen Gruppen modifiziert ist

Priorität und verwandte Anwendungen

Vorrangige Bewerbungen (1)

Anwendung	Prioritätsdatum	Abgabedatum	Titel
US17/422.994	14.01.2019	14.01.2020	3D-Komposit aus reduziertem Graphenoxid/SiO ₂ zur Eiskeimbildung

Anträge mit Anspruch auf Priorität (3)

Anwendung	Abgabedatum	Titel
US201962791927P	14.01.2019	
US17/422.994	14.01.2020	3D-Komposit aus reduziertem Graphenoxid/SiO ₂ zur Eiskeimbildung
PCT/IB2020/050259	14.01.2020	3D-Komposit aus reduziertem Graphenoxid/SiO ₂ zur Eiskeimbildung

Rechtliche Ereignisse

Datum	Code	Titel	Beschreibung
27.10.2021	STPP	Informationen zum Stand: Patentanmeldung und Erteilungsverfahren im Allgemeinen	Freiformatiger Text : NEUER FALL ANGEZEIGT – BEREIT ZUR PRÜFUNG
22.07.2022	ALS	Abtretung	Name des Eigentümers : KHALIFA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, VEREINIGTE ARABISCHE EMIRATE Freiformatiger Text : ÜBERTRAGUNG DES INTERESSES DES ABZEICHNERS; ABWEISENDE:ZOU, LINDA;LIANG, HAORAN;UNTERZEICHNUNGSDATEN VON 20200126 BIS 20200216;REEL/RAHMEN:060596/0976

Konzepte

maschinell extrahiert

[Herunterladen](#) Filtertabelle

Name	Bild	Abschnitte	Zählen	Abfrageübereinstimmung
▀ Verbundwerkstoff		Titel, Ansprüche, Zusammenfassung, Beschreibung	284	0,000
▀ Keimbildung		Titel, Ansprüche, Zusammenfassung, Beschreibung	220	0,000
▀ Kohlenstoff		Titel, Ansprüche, Zusammenfassung, Beschreibung	58	0,000
▀ Graphen		Titel, Ansprüche, Zusammenfassung, Beschreibung	50	0,000
▀ Siliziummonoxid		Titel	2	0,000
▀ Siliziumdioxid		Ansprüche, Zusammenfassung, Beschreibung	168	0,000
▀ Nanopartikel		Ansprüche, Zusammenfassung, Beschreibung	82	0,000
▀ Methode		Ansprüche, Zusammenfassung, Beschreibung	22	0,000
▀ Wasser		Ansprüche, Beschreibung	188	0,000
▀ Siliciumdioxid		Ansprüche, Beschreibung	78	0,000
▀ poröses Material		Ansprüche, Beschreibung	44	0,000
▀ Siliciumdioxid		Ansprüche, Beschreibung	44	0,000
▀ Mischung		Ansprüche, Beschreibung	28	0,000
▀ Tetraethylorthosilikat		Ansprüche, Beschreibung	24	0,000
▀ Ethanol		Ansprüche, Beschreibung	24	0,000
▀ Hydrothermale Synthese		Ansprüche, Beschreibung	24	0,000
▀ Herstellungsprozess		Ansprüche, Beschreibung	24	0,000
▀ Ammoniumhydroxid		Ansprüche, Beschreibung	18	0,000
▀ VE-Wasser		Ansprüche, Beschreibung	14	0,000
▀ Ammoniumhydroxid		Ansprüche, Beschreibung	10	0,000
▀ eine homogene Mischung		Ansprüche, Beschreibung	8	0,000

■ Gefriertrocknen	Ansprüche, Beschreibung	6	0,000
■ Metalloxid	Ansprüche, Beschreibung	4	0,000
■ wässrige Lösung	Ansprüche	10	0,000
■ Lösung	Ansprüche	4	0,000
■ Teflon	Ansprüche	2	0,000
■ Graphenmetalloxid	Ansprüche	2	0,000
■ Wärmebehandlung	Ansprüche	2	0,000
■ Polytetrafluorethylen	Ansprüche	2	0,000
■ Partikel	Zusammenfassung, Beschreibung	42	0,000
■ erhöht	Zusammenfassung, Beschreibung	20	0,000
■ synthetisieren	Zusammenfassung, Beschreibung	16	0,000
Alle Konzepte aus dem Beschreibungsbereich anzeigen			

Daten bereitgestellt von IFI CLAIMS Patent Services