



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 34 256 T2** 2007.06.14

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 165 457 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 34 256.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/07339**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 919 779.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/064223**

(86) PCT-Anmeldetag: **02.04.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **16.12.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **29.11.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.06.2007**

(51) Int Cl.⁸: **C04B 35/52 (2006.01)**

C04B 38/00 (2006.01)

F28F 21/02 (2006.01)

F28C 3/08 (2006.01)

C04B 40/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

93406 08.06.1998 US

(73) Patentinhaber:

UT-Battelle, LLC., Oak Ridge, Tenn., US

(74) Vertreter:

**Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI,
LU, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**KLETT, W., James, Knoxville, TN 37931, US;
BURCHELL, D., Timothy, Oak Ridge, TN 37830, US**

(54) Bezeichnung: **KÜHLKÖRPER AUS KOHLENSTOFFSCHAUM AUF PECHBASIS MIT MATERIAL, WELCHES PHASENÜBERGÄNGE EINGEHT**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen porösen Kohlenstoffschaum, der mit Phasenübergänge eingehenden Materialien gefüllt und mit einem Gehäuse umgeben ist, zur Herstellung eines Wärmesenkenproduktes und insbesondere auf ein Verfahren zu seiner Herstellung.

[0002] Es bestehen derzeit viele Anwendungszwecke, die die Speicherung großer Wärmemengen entweder zum Kühlen oder zum Erwärmen eines Objektes erfordern. Typischerweise wird bei diesen Anwendungszwecken so rasch Wärme erzeugt, dass diese durch normale Dissipation mittels Kühlrippen, natürlicher Konvektion oder Abstrahlung nicht schnell genug abgeleitet werden kann, so dass sich das Objekt überhitzt. Um dieses Problem abzumildern, wird ein Material mit großer spezifischer Wärmekapazität, z.B. eine Wärmesenke, während der Erwärmung des Objekts mit diesem in Kontakt gebracht. Während des Erwärmungsprozesses wird die Wärme von dem heißen Objekt auf die Wärmesenke übertragen; mit steigender Temperatur der Wärmesenke wird die Wärme rascher „gespeichert“ als mittels Konvektion an die Umgebung abgeleitet werden kann. Leider nimmt der Wärmefluss von dem heißen Objekt aufgrund eines kleineren Temperaturunterschiedes zwischen den beiden Objekten mit steigender Temperatur der Wärmesenke ab. Daher kann dieses Energiespeicherverfahren zwar bei einigen Anwendungszwecken große Wärmemengen absorbieren, ist jedoch nicht für alle Anwendungszwecke ausreichend.

[0003] Bei einem anderen Wärmeabsorptionsverfahren erfolgt ein Phasenübergang des Materials und keine Temperaturänderung.

[0004] Typischerweise absorbiert der Phasenübergang eines Materials Wärmeenergie, die um zwei Größenordnungen höher liegt als die Wärmekapazität des Materials. Die Verdampfung von 1 Gramm Wasser bei 100°C absorbiert beispielsweise 2439 Joule Energie, wohingegen eine Temperaturänderung des Wassers von 99°C auf 100°C nur 4,21 Joule Energie absorbiert. Mit anderen Worten, die Erhöhung der Temperatur von 579 Gramm Wasser von 99°C auf 100°C absorbiert dieselbe Wärmemenge wie die Verdampfung von 1 Gramm Wasser bei 100°C. Dieselbe Tendenz findet sich beim Schmelzpunkt des Materials. Dieses Phänomen kann bei einigen Anwendungszwecken in Situationen, in denen Wärmesenken nicht funktionieren, für die Absorption oder Entwicklung enormer Energiemengen genutzt werden.

[0005] Zwar besitzt ein fester Block eines Phasenübergänge eingehenden Materials eine sehr große

theoretische Wärmeabsorptionskapazität, doch der Prozess ist aufgrund der Schwierigkeiten bei der Wärmeübertragung kein schneller und kann daher für bestimmte Anwendungszwecke nicht genutzt werden. Die Nutzung eines Schaums hoher Wärmeleitfähigkeit überwindet jedoch die zuvor beschriebenen Nachteile. Ist der Schaum hoher Leitfähigkeit mit dem Phasenübergänge eingehenden Material gefüllt, kann der Prozess sehr schnell werden. Aufgrund der extrem hohen Leitfähigkeit in den Streben des Schaums bei Kontakt der Schaumoberfläche mit Wärme wird diese durch den Schaum rasch auf eine sehr große Oberfläche des Phasenübergänge eingehenden Materials übertragen. Daher wird die Wärme sehr schnell in dem gesamten Phasenübergänge eingehenden Material verteilt, was eine extrem rasche Absorption bzw. Emission der Wärmeenergie ohne Temperaturänderung ermöglicht, so dass die Antriebskraft für die Wärmeübertragung maximal gehalten wird.

[0006] Wärmesenken werden in der Raumfahrtindustrie zur Absorption von Energie bei Anwendungszwecken wie Flugkörpern und Luftfahrzeugen, bei denen es zu einer raschen Wärmeerzeugung kommt, eingesetzt. Ein Material hoher Schmelzwärme wird mit einem Gehäuse aus Graphit oder Metall, typischerweise Aluminium, umgeben und mit dem wärmeerzeugenden Objekt in Kontakt gebracht. Da die meisten Phasenübergänge eingehenden Materialien eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen, wird die Geschwindigkeit der Wärmeübertragung durch das Material zwar begrenzt, jedoch durch die hohe Energieabsorptionskapazität des Phasenübergangs ausgeglichen. Bei der Übertragung der Wärme durch das Metall- oder Graphitgehäuse auf das Phasenübergänge eingehende Material beginnt das Phasenübergänge eingehende Material, das der Wärmequelle am nächsten liegt, zu schmelzen. Da sich die Temperatur des Phasenübergänge eingehenden Materials erst ändert, wenn das gesamte Material geschmolzen ist, bleibt der Fluss von der Wärmequelle zu dem Phasenübergänge eingehenden Material relativ konstant. Bei kontinuierlichem Schmelzen des Phasenübergänge eingehenden Materials infolge der Wärme bildet sich jedoch immer mehr Flüssigkeit. Leider besitzt die Flüssigkeit eine sehr viel niedrigere Wärmeleitfähigkeit, was den Wärmefluss zusätzlich behindert. De facto begrenzt die insgesamt niedrige Wärmeleitfähigkeit der festen und flüssigen Phasenübergänge eingehenden Materialien die Geschwindigkeit der Wärmeabsorption und reduziert so den Wirkungsgrad des Systems.

[0007] Jüngste Entwicklungen bei faserverstärkten Verbundstoffen wie z.B. Kohlenstoffschäumen wurden durch die Anforderungen an verbesserte Festigkeit, Steifigkeit, Kriechfestigkeit und Zähigkeit für Materialien im Bauwesen angetrieben. Kohlenstofffasern haben zu signifikanten Fortschritten bei diesen

Eigenschaften der Verbundstoffe in verschiedenen Polymer-, Metall- und Keramikmatrizen geführt.

[0008] Aktuelle Anwendungszwecke von Kohlenstofffasern haben sich jedoch aus Strukturverstärkungen zum Wärmemanagement bei Anwendungszwecken, die von hochdichten elektronischen Modulen bis zu Kommunikationssatelliten reichen, entwickelt. Dies hat die Forschung zu neuen Verstärkungen und Verbundstoffverarbeitungsverfahren stimuliert. Hohe Wärmeleitfähigkeit, geringes Gewicht und niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient sind die wichtigsten Punkte bei Anwendungszwecken des Wärmemanagements (siehe Shih, Wei, „Development of Carbon-Carbon Composites for Electronic Thermal Management Applications“, IDA-Workshop, 03.–05. Mai 1994, unterstützt vom AF Wright Laboratory, Vertrag Nr. F33615-93-C-2363 und AR Philips Laboratory, Vertrag Nr. F29601-93-C-0165 und Engle, G.B., „High Thermal Conductivity C/C Composites for Thermal Management“, IDA-Workshop, 03.–05. Mai 1994, unterstützt vom AF Wright Laboratory, Vertrag Nr. F33615-93-C-2363 und AR Philips Laboratory, Vertrag Nr. F29601-93-C-0165). Bei solchen Anwendungszwecken wird nach einem sandwich-artigen Ansatz vorgegangen, bei dem ein Strukturkernmaterial geringer Dichte (d.h. Waben oder Schaum) zwischen eine Außenlage hoher Wärmeleitfähigkeit gelegt wird. Strukturkerne sind auf Materialien geringer Dichte beschränkt, um sicherzustellen, dass die Gewichtsgrenzen nicht überschritten werden. Leider sind Kohlenstoffschäume und Kohlenstoffwabenmaterialien die einzigen erhältlichen Materialien zur Verwendung für Hochtemperaturanwendungszwecke (> 1600°C). Kohlenstoffwabenmaterialien hoher Wärmeleitfähigkeit sind im Vergleich zu Waben geringer Leitfähigkeit in der Herstellung extrem teuer; daher wird für kostengünstige Materialien eine Leistungsstrafe gezahlt. Kohlenstoffschäume hoher Leitfähigkeit sind auch teilweise aufgrund der Ausgangsmaterialien in der Herstellung teurer als Kohlenstoffschäume geringer Leitfähigkeit.

[0009] Zur Herstellung von Kohlenstoffschäumen hoher Steifigkeit und hoher Leitfähigkeit muss stets ein Pech als Vorstufe verwendet werden, da Pech die einzige Vorstufe ist, die eine stark ausgerichtete Graphitstruktur bildet, die ein Erfordernis für hohe Leitfähigkeit ist. Bei typischen Prozessen wird eine Blasstechnik zur Erzeugung eines Schaums aus der Pechvorstufe eingesetzt, bei der das Pech geschmolzen und von einem Hochdruckbereich in einen Niederdruckbereich geleitet wird. Thermodynamisch erzeugt dies einen „Blitz“ und bewirkt so, dass die Verbindungen geringen Molekulargewichts in dem Pech verdampfen (das Pech kocht), was zu einem Pechschaum führt (Hagar, Joseph W. und Max L. Lake „Novel Hybrid Composites Based on Carbon Foams“, Mat. Res. Soc. Symp., Materials Research Society, 270: 29–34 (1992); Hagar, Joseph W. und Max L. La-

ke, „Formulation of a Mathematical Process Model Process Model for the Foaming of a Mesophase Carbon Precursor“, Mat. Res. Soc. Symp., Materials Research Society, 270: 35–40 (1992); Gibson, L.J. und M.F. Ashby, Cellular Solids: Structures & Properties, Pergamon Press, New York (1988); Gibson, L.J., Mat. Sci. and Eng. A110, 1 (1989); Knippenberg und B. Lersmacher, Philips Tech. Rev., 36(4) (1976) und Bonzom, A., P. Crepau und E.J. Moutard, US-Patent 4,276,246 (1981)). Dann muss der Pechschaum durch Erwärmen in Luft (oder Sauerstoff) über viele Stunden oxidativ stabilisiert werden, so dass die Struktur vernetzt und das Pech „stabilisiert“ wird, damit es während der Verkokung nicht schmilzt (siehe Hagar, Joseph W. und Max L. Lake, „Formulation of a Mathematical Process Model Process Model for the Foaming of a Mesophase Carbon Precursor“, Mat. Res. Soc. Symp., Materials Research Society, 270: 35–40 (1992) sowie White, J.L. und P.M. Shaeffer, Carbon, 27: 697 (1989)). Dies ist ein zeitaufwendiger Schritt, der je nach Größe des Bauteils und der erforderlichen Ausrüstung teuer sein kann. Das „stabilisierte“ bzw. oxidierte Pech wird nun in einer inerten Atmosphäre bei Temperaturen von bis zu 1100°C verkocht. Anschließend erfolgt eine Graphitisierung bei Temperaturen von bis zu 3000°C zur Erzeugung einer Graphitstruktur hoher Wärmeleitfähigkeit, was zu einem steifen und sehr wärmeleitfähigen Schaum führt.

[0010] Bei anderen Techniken wird eine Polymervorstufe, z.B. ein Phenol, Urethan oder Mischungen davon zusammen mit Pech eingesetzt (siehe Hagar, Joseph W. und Max L. Lake, „Idealized Strut Geometries for Open-Celled Foams“, Mat. Res. Soc. Symp., Materials Research Society, 270: 41–46 (1992); Aubert, J.W., Bericht des MRS-Symposiums, 207: 117–127 (1990); Cowland, F.C. und J.C. Lewis, J. of Mat. Sci., 2: 507–512 (1967) sowie Noda, T., Inagaki und S. Yamada, J. of Non-Crystalline Solids, 1: 285–302 (1969)). Es wird hoher Druck ausgeübt und die Probe erwärmt. Bei einer vorgeschriebenen Temperatur wird der Druck gesenkt, was bewirkt, dass die Flüssigkeit bei Freisetzung flüchtiger Verbindungen aufschäumt. Die Polymervorstufen werden vernetzt und anschließend ohne Stabilisierungsschritt verkocht. Diese Vorstufen erzeugen jedoch einen „gläsernen“ bzw. glasartigen Kohlenstoff, der keine Graphitstruktur und somit eine geringe Wärmeleitfähigkeit und geringe Steifigkeit aufweist (siehe Hagar, Joseph W. und Max L. Lake, „Idealized Strut Geometries for Open-Celled Foams“, Mat. Res. Soc. Symp., Materials Research Society, 270: 41–46 (1992)).

[0011] In beiden Fällen wird der Schaum nach seiner Bildung in einem separaten Schritt an die Außenlage des Verbundstoffs gebunden. Dies kann bei der Nutzung des Schaums ein teurer Schritt sein.

[0012] Die außergewöhnlichen mechanischen Ei-

enschaften im Handel erhältlicher Kohlenstofffasern beruhen auf der einzigartigen Graphitmorphologie der extrudierten Filamente (siehe Edie, D.D., „Pitch and Mesophase Fibers“ in Carbon Fibers, Filaments and Composites, Figueiredo (Herausgeber), Kluwer Academic Publishers, Boston, S. 43–72 (1990)). Moderne weiterentwickelte Strukturverbundstoffe nutzen diese Eigenschaften, indem sie ein durch eine geeignete Matrix zusammengehaltenes unterbrochenes Netz aus Graphitfilamenten bilden. Von einer Pechvorstufe hergeleiteter Kohlenstoffschaum kann, wie in [Fig. 1](#) dargestellt, als untereinander verbundenes Netz von Graphitligamenten oder -streben gelten. Diese untereinander verbundenen Netze stellen eine potentielle Alternative einer Verstärkung in Strukturverbundstoffmaterialien dar.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren überwindet die aktuellen Herstellungsbeschränkungen, indem es bei der Herstellung des Schaums auf eine „Blas“- oder „Drucksenkungs“ technik verzichtet. Weiterhin ist anders als bei anderen Verfahren zur Herstellung von Kohlenstoffsäumen auf Pechbasis mit stark ausgerichteter Graphitstruktur kein Oxidationsstabilisierungsschritt erforderlich. Dieses Verfahren ist weniger zeitaufwendig und daher kostengünstiger bei einfacherer Herstellung. Es kann ein Schaum mit einer integrierten Außenlage aus Kohlenstoff hoher Wärmeleitfähigkeit auf seiner Oberfläche hergestellt werden, so dass ein Kohlenstoffschaum mit einer glatten Außenlage auf seiner Oberfläche zur Verbesserung der Wärmeübertragung entsteht.

Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Herstellung eines mit einem Gehäuse umgebenen und einem Phasenübergänge eingehenden Material gefüllten porösen Kohlenstoffschaums hoher Wärmeleitfähigkeit, der sehr rasch enorme Wärmemengemengen speichert und emittiert. Der poröse Schaum wird bei einer Temperatur nahe der Betriebstemperatur der Vorrichtung mit einem Phasenübergänge eingehenden Material (PCM) gefüllt. Wird Wärme von einer Wärmequelle wie einem Computerchip, Reibung infolge des Wiedereintritts in die Atmosphäre oder Strahlung wie Sonnenlicht auf die Oberfläche appliziert, wird sie rasch und gleichmäßig durch den Schaum auf das Phasenübergänge eingehende Material übertragen. Beim Phasenübergang des Materials absorbiert dieses aufgrund der Übertragung der latenten Schmelz- bzw. Verdampfungswärme um Größenordnungen mehr Energie als ein Nicht-PCM-Material. Umgekehrt kann der gefüllte Schaum zur raschen Energieemission bei Kontakt mit einem kalten Objekt genutzt werden.

[0015] Hierin offenbarte nicht-beschränkende Ausführungsformen sind eine Vorrichtung zum raschen

Auftauen gefrorener Lebensmittel bzw. Einfrieren aufgetauter Lebensmittel, eine Bauweise zur Verhinderung einer Überhitzung von Satelliten bzw. zur Speicherung von Wärmeenergie bei der zyklischen Erwärmung in der Umlaufbahn und eine Bauweise zum Abkühlen der Vorderkanten während des Hyper-schallflugs oder Wiedereintritts in die Atmosphäre.

[0016] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung eines Kohlenstoffschaums und eines Verbundstoffes aus einem Mesophasen- oder isotropen Pech wie z.B. synthetischem Pech, Pech auf Petrol-Basis oder Pech auf Kohle/Teer-Basis. Eine weitere Aufgabe ist die Bereitstellung eines Kohlenstoffschaums und eines Verbundstoffes aus Pech, der keinen oxidativen Stabilisierungsschritt erfordert.

[0017] Diese und weitere Aufgaben werden durch ein Verfahren zur Herstellung einer Wärmesenke aus Kohlenstoffschaum gelöst, bei dem eine Form einer geeigneten Gestalt ausgewählt und vorzugsweise ein geeignetes Formentrennmittel auf die Wände der Form aufgetragen wird. In die Form wird Pech einer geeigneten Konzentration gefüllt und die Form z.B. durch Anlegen eines Vakuums von Luft gereinigt. Alternativ kann eine inerte Flüssigkeit verwendet werden. Das Pech wird auf eine Temperatur von vorzugsweise etwa 50°C bis etwa 100°C über dem Erweichungspunkt des Pechs erwärmt, was ausreicht, damit das Pech zu einer Flüssigkeit verschmilzt. Das Vakuum wird aufgehoben und eine inerte Flüssigkeit bei einem statischen Druck von bis zu etwa 1000 psi aufgetragen. Das Pech wird auf eine Temperatur erwärmt, die ausreicht, die Entwicklung von Gasen und das Aufschäumen des Pechs zu bewirken. Das Pech wird weiter auf eine Temperatur, die für das Verkoken des Pechs ausreicht, erwärmt und anschließend unter gleichzeitiger und schrittweiser Drucksenkung auf Raumtemperatur abgekühlt. Dann wird der Schaum mit einem Phasenübergänge eingehenden Material gefüllt und mit einem Gehäuse umgeben, so dass ein wirksames Wärmespeicherprodukt entsteht.

[0018] In einem anderen Aspekt erfolgen die zuvor beschriebenen Schritte in einer Form aus einem Material, bei dem das geschmolzene Pech nicht an der Oberfläche der Form haftet.

[0019] In wieder einem anderen Aspekt werden die Aufgaben durch das nach den hierin offenbarten Verfahren hergestellte Kohlenstoffschaumprodukt, wie z.B. ein Schaumprodukt mit einer glatten integrierten Außenlage gelöst.

[0020] In wieder einem anderen Aspekt wird ein Kohlenstoffschaum-Verbundstoffprodukt durch Anbringen von Außenlagen an dem erfindungsgemäß erzeugten Kohlenstoffschaum hergestellt.

[0021] [Fig. 1](#) ist ein Querschnitt einer Wärmesenkvorrichtung zum Auftauen von Lebensmitteln mittels Essigsäure als Phasenübergänge eingehendem Material.

[0022] [Fig. 2](#) ist ein Querschnitt einer Wärmesenke zur Verhinderung einer Überhitzung von Satelliten während zyklischer Umlaufbahnen.

[0023] [Fig. 3](#) ist ein Querschnitt einer Wärmesenke zur Verwendung an der Vorderkante eines Shuttle-Orbiters.

[0024] [Fig. 4](#) ist eine Mikrophotographie, die einen typischen Kohlenstoffschaum aus untereinander verbundenen Kohlenstoffligamenten und offener Porosität darstellt.

[0025] Die [Fig. 5](#) bis [Fig. 9](#) sind Mikrophotographien eines von Pech hergeleiteten, bei 2500°C graphitisierten Kohlenstoffschaums in verschiedenen Vergrößerungen.

[0026] [Fig. 10](#) ist eine Rasterelektronenmikroskop(SEM)-Mikrophotographie eines erfindungsgemäß hergestellten Kohlenstoffschaums.

[0027] [Fig. 11](#) ist ein Diagramm, das das kumulative Intrusionsvolumen versus den Porendurchmesser darstellt.

[0028] [Fig. 12](#) ist ein Diagramm, das das logarithmische differentielle Intrusionsvolumen versus den Porendurchmesser darstellt.

[0029] [Fig. 13](#) ist eine Kurve, die die Temperatur, bei der flüchtige Substanzen aus dem Rohpech entweichen, darstellt.

[0030] [Fig. 14](#) ist eine Röntgenstrahlenanalyse des erfindungsgemäß hergestellten graphitisierten Schaums.

[0031] Die [Fig. 15A](#) bis C sind Photographien, die einen in Aluminiumtiegeln hergestellten Schaum sowie die entstandene glatte Struktur bzw. Außenlage darstellen.

[0032] [Fig. 16A](#) ist eine schematische Ansicht, die die erfindungsgemäße Herstellung eines Kohlenstoffschaum-Verbundstoffes darstellt.

[0033] [Fig. 16B](#) ist eine perspektivische Ansicht des erfindungsgemäßen Kohlenstoffschaum-Verbundstoffes.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0034] Zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Wärmesenkenproduktes aus Kohlenstoff-

schaum werden die folgenden Beispiele aufgeführt. Sie sollen die Erfindung in keiner Weise beschränken.

Beispiel 1: Vorrichtung zum Auftauen von Lebensmitteln

[0035] Essigsäure weist eine Schmelzwärme von 45 J/g bei einem Schmelzpunkt von 11°C auf. Die Schmelzwärme von Lebensmitteln, insbesondere Eis, beträgt ungefähr 79 J/g bei 0°C. Daher nimmt man einen Schaumblock und füllt ihn mit flüssiger Essigsäure bei Raumtemperatur. Der Schaum wird auf allen Seiten bis auf oben mit einem Gehäuse aus einem Isolierpolymer wie z.B. Polyethylen umgeben. An der Oberseite des Schaum/Essigsäure-Blocks wird eine Aluminiumplatte hoher Wärmeleitfähigkeit befestigt, die einrastet und so den Schaum/Essigsäure-Block in dem Polymergehäuse einschließt (dargestellt in [Fig. 1](#)). Ist der Schaumblock 10 Inch × 15 Inch × 0,5 Inch dick, beträgt die Masse des Schaums 614 Gramm. Die Masse der Essigsäure, die den Schaum füllt, beträgt etwa 921 Gramm. Daher kühlt der Schaum bei Kontakt eines gefrorenen Fleischstücks mit der Oberseite des Aluminiumblocks bis zum Gefrierpunkt der Essigsäure (11°C) ab. An diesem Punkt entspricht die von der Essigsäure beim Einfrieren abgegebene Wärme 49 kJ (ebenfalls konstant bei 11°C). Diese Wärme wird rasch auf das auftauende gefrorene Fleisch übertragen (ebenfalls konstant bei 0°C). Diese Wärmemenge reicht aus, um etwa 500 Gramm Fleisch aufzutauen.

Beispiel 2: Wärmesenke zur Verhinderung einer Überhitzung von Satelliten während zyklischer Umlaufbahnen

[0036] Man stellt einen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Verbundstoff mit dem Schaum her, wobei der Schaum ein Kernmaterial mit Kohlenstoff-Kohlenstoff-Außenlagen ist ([Fig. 2](#)). Man füllt den Schaumkern mit einem geeigneten Phasenübergänge eingehenden Material, z.B. Paraffinwachs, das etwa bei maximaler Betriebstemperatur der Satellitenbauteile schmilzt. Ein Verfahren hierfür ist das Bohren eines Loches in eine Oberfläche der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Außenlagen und das Einfüllen des Phasenübergänge eingehenden Materials im flüssigen Zustand in den porösen Schaum unter Vakuum. Nach dem Befüllen kann die Probe abgekühlt (das Phasenübergänge eingehende Material verfestigt sich) und das Loch mit Epoxid oder einem Schraubverschluss verschlossen werden. Das Epoxid und andere Verschlussmaterialien müssen der Betriebstemperatur des Anwendungszweckes standhalten können. Der Schaumkern-Verbundstoff wird nun an der Seite des Satelliten befestigt, die in der Umlaufbahn der Sonne ausgesetzt ist. Da der Satellit bei der Erdumkreisung dem Sonnenlicht ausgesetzt ist, beginnt die Strahlungsenergie der Sonne das Panel auf den Schmelz-

punkt des Phasenübergänge eingehenden Materials zu erwärmen. An diesem Punkt steigt die Temperatur des Verbundstoff-Panels beim Schmelzen des Phasenübergänge eingehenden Materials nicht an. Die Strahlungsenergiemenge, die das Panel absorbieren kann, hängt von der Dicke und den Außenabmessungen des Panels ab. Diese lassen sich durch Kenntnis der Umlaufbahnzeiten des Satelliten leicht berechnen und konzipieren, so dass das Material niemals vollständig schmilzt und so niemals die Schmelztemperatur überschreitet. Anschließend beginnt der Satellit, nachdem er das Blickfeld der Sonne verlassen hat, Wärme an den Weltraum abzustrahlen, und das Phasenübergänge eingehende Material beginnt einzufrieren. Der Zyklus wiederholt sich, sobald der Satellit erneut in das Blickfeld der Sonne gelangt.

Beispiel 3: Wärmesenke für Vorderkanten

[0037] Derzeit ist der Shuttle-Orbiter beim Wiedereintritt extremer Hitze ausgesetzt. Insbesondere die Vorderkanten des Shuttle können Temperaturen von 1800°C erreichen; die Unterseite des Shuttle kann Temperaturen von bis zu 1200°C erreichen. Wird ein Schaumkern-Verbundstoff-Panel an der Oberfläche der Vorderkanten und der Unterseite des Shuttle befestigt ([Fig. 3](#)), kann es genügend Energie absorbieren, um die Höchsttemperatur der heißen Bereiche drastisch zu reduzieren. Dies erlaubt auch einen schnelleren Wiedereintritt bzw. eine steilere Gleitneigung sowie die Beibehaltung der derzeitigen Höchsttemperaturen. In diesem Fall ist das Phasenübergänge eingehende Material höchstwahrscheinlich eine Legierung, z.B. Germanium-Silizium, die bei etwa 800–900°C schmilzt und erst bei einer sehr viel höheren Temperatur als der Höchsttemperatur des Shuttle verdampft.

[0038] Germanium beispielsweise besitzt eine Bildungswärme (Schmelzwärme) von 488 J/g. Für eine Reduktion der Temperatur von 1 kg des existierenden Kohlenstoff/Kohlenstoff-Hitzeschilds um 668°C wäre 1,0 kg Germanium erforderlich. Mit anderen Worten, die Höchsttemperatur des Hitzeschildes während des Wiedereintritts würde bei pfundweisem Ersetzen des existierenden Kohlenstoff-Kohlenstoff-Hitzeschilds durch mit Germanium gefülltem Schaum je nach Dauer der Wärmebeanspruchung statt etwa 1800°C nur etwa 1131°C betragen.

Beispiel 4

[0039] Pech in Form von Pulver, Granulat oder Pellets wird in eine Form der gewünschten endgültigen Schaumgestalt gegeben. Diese Pechmaterialien können ggf. solvatisiert sein. In diesem Beispiel wurde das Mesophasen-Pech Mitsubishi ARA-24 verwendet. Auf die Seiten der Form wird ein geeignetes Formentrennmittel bzw. ein geeigneter Formentrennfilm aufgetragen, um eine Entnahme des Bauteils zu

erlauben. In diesem Fall wurden Bornitrid-Spray und Trockengraphitschmiermittel separat als Formentrennmittel verwendet. Ist die Form aus reinem Aluminium, ist kein Formentrennmittel notwendig, da das geschmolzene Pech nicht an dem Aluminium haftet und damit auch nicht an der Form klebt. Es lassen sich ähnliche Formmaterialien finden, an denen das Pech nicht haftet, so dass keine Formentrennung notwendig ist. Die Probe wird auf weniger als 1 Torr evakuiert und anschließend auf eine Temperatur von etwa 50 bis 100°C über dem Erweichungspunkt erwärmt. In diesem Fall, in dem das Mesophasen-Pech Mitsubishi ARA-24 verwendet wurde, waren 300°C ausreichend. An diesem Punkt wird das Vakuum bis auf eine Stickstoffdecke aufgehoben und ein Druck von bis zu 1000 psi ausgeübt. Die Temperatur des Systems wird nun auf 800°C bzw. eine Temperatur, die für das Verkoken des Pechs ausreicht (500 bis 1000°C), erhöht. Dies erfolgt mit einer Geschwindigkeit von nicht mehr als 5°C/Minute, vorzugsweise etwa 2°C/Minute. Die Temperatur wird mindestens 15 Minuten lang gehalten, um ein sicheres Durchdringen zu erreichen; anschließend wird der Ofen abgeschaltet und auf Raumtemperatur abgekühlt. Der Schaum wurde vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit von etwa 1,5°C/Minute unter Senkung des Drucks mit einer Geschwindigkeit von etwa 2 psi/Minute abgekühlt. Die endgültige Schaumtemperatur für drei Produktdurchläufe betrug 500, 630 bzw. 800°C. Während des Abkühlzyklus wird der Druck schrittweise auf Atmosphärenbedingungen gesenkt. Dann wurde der Schaum unter einer Stickstoffdecke bei 1050°C wärmebehandelt (verkocht) und anschließend in separaten Durchläufen bei 2500°C und 2800°C unter Argon wärmebehandelt (graphitisiert).

[0040] Mit dieser Technik hergestellter Kohlenstoff-schaum wurde mittels Mikrophotographie, Rasterelektronenmikroskopie (SEM), Röntgenstrahlenanalyse und Quecksilberporosimetrie untersucht. Wie aus den [Fig. 5-Fig. 10](#) ersichtlich, weisen die isochromen Bereiche unter kreuz-polarisiertem Licht darauf hin, dass die Streben des Schaums vollständig graphitisiert sind. Das heißt, das gesamte Pech wurde in Graphit umgewandelt und entlang der Achse der Streben ausgerichtet. Diese Streben ähneln sich in der Größe und sind in dem gesamten Schaum miteinander verbunden. Dies deutet darauf hin, dass der Schaum eine hohe Steifigkeit und gute Festigkeit besitzt. Wie in [Fig. 10](#) bei der SEM-Mikrophotographie des Schaums zu erkennen, ist der Schaum offenzellig, was bedeutet, dass die Porosität nicht geschlossen ist. Die [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) stellen die Ergebnisse der Quecksilberporosimetrietests dar. Diese Tests deuten darauf hin, dass die Porengröße im Bereich von 90–200 Mikrometer liegt.

[0041] Es wurde eine thermogravimetrische Untersuchung des Rohpechs zur Bestimmung der Temperatur, bei der sich die flüchtigen Substanzen entwi-

ckeln, durchgeführt. Wie aus [Fig. 14](#) ersichtlich, verliert das Pech in einem Temperaturbereich von etwa 420°C bis etwa 480°C relativ rasch fast 20% seiner Masse. Zwar erfolgte diese Untersuchung bei Atmosphärendruck, ein Druck von 1000 psi verschiebt diesen Effekt jedoch nicht signifikant. Daher entwickelten sich während der Erwärmung in einem Temperaturbereich von 420°C bis 480°C bei einem Druck von 1000 psi rasch Gase. Die Gase bewirken ein Aufschäumen des geschmolzenen Pechs (wie Kochen). Bei weiter steigender Temperatur bis auf Temperaturen von 500°C bis 1000°C (je nach dem speziellen Pech) wird das geschäumte Pech verkocht (oder starr), so dass ein von Pech hergeleiteter fester Schaum entsteht. Das Aufschäumen erfolgte also vor der Drucksenkung; daher unterscheidet sich das erfindungsgemäße Verfahren stark von denen aus dem Stand der Technik.

[0042] Proben des Schaums wurden zur Messung der Wärmeleitfähigkeit maschinell zu Mustern geformt. Die Volumenwärmeleitfähigkeit reichte von 58 W/m·°K bis 106 W/m·°K. Die mittlere Dichte der Proben betrug 0,53 g/cm³. Berücksichtigt man das Gewicht, ist die spezifische Wärmeleitfähigkeit des von Pech hergeleiteten Schaums mehr als 4 Mal so groß wie die von Kupfer. Die Wärmeleitfähigkeit der Streben selbst – fast 700 W/m·°K – kann auch mit Hilfe anderer Herleitungen gemessen werden. Dies ist vergleichbar mit Kohlenstofffasern hoher Wärmeleitfähigkeit, die aus demselben Mesophasen-Pech (ARA-24) hergestellt wurden.

[0043] Zur Bestimmung der Kristallstruktur des Materials wurde eine Röntgenstrahlenanalyse des Schaums durchgeführt. Die Röntgenstrahlergebnisse sind in [Fig. 14](#) dargestellt. Mit Hilfe dieser Daten wurde ein Graphenschichtabstand (d_{002}) von 0,336 nm bestimmt. Die Kohärenzlänge ($L_{a,100}$) betrug 203,3 nm, die Stapelhöhe 442,3 nm.

[0044] Die Druckfestigkeit der Proben betrug laut Messung 3,4 MPa, der Kompressionsmodul 73,4 MPa. Die Schaumprobe war maschinell leicht zu bearbeiten und ohne Angst vor Beschädigung gut handhabbar, was auf eine gute Festigkeit deutet.

[0045] Es ist wichtig anzumerken, dass das Pech bei Erwärmung auf ähnliche Weise, jedoch nur unter Atmosphärendruck dramatisch stärker aufschäumt als unter Druck. De facto ist der entstandene Schaum so zerbrechlich, dass er nicht einmal für die Durchführung von Tests gehandhabt werden kann. Das Formen unter Druck dient der Begrenzung des Zellwachstums und erzeugt ein verwendbares Material.

Beispiel 5

[0046] Eine Alternative zu dem Verfahren von Beispiel 4 ist die Verwendung einer Form aus Alumi-

um. In diesem Fall wurden zwei Formen verwendet, eine Aluminiumwaagschale und eine unterteilte Sodadose. Es wurde dasselbe Verfahren wie in Beispiel 4 durchgeführt mit der Ausnahme, dass die endgültige Verkokungstemperatur, um ein Schmelzen des Aluminiums zu verhindern, nur 630°C betrug.

[0047] Die [Fig. 15A–C](#) veranschaulichen die Fähigkeit zur Herstellung eines komplex geformten Schaums komplex mittels gestalteter Formen. In einem Fall, dargestellt in [Fig. 15A](#), wurde der obere Teil einer Sodadose entfernt und die verbleibende Dose als Form benutzt. Es wurde kein Formtrennmittel verwendet. Es ist zu beachten, dass die Gestalt des entstandenen Bauteils auch nach der Graphitisierung bei 2800°C der Gestalt der Sodadose entspricht. Dies belegt die Formstabilität des Schaums und die Fähigkeit zur Erzeugung fast netzförmiger Bauteile.

[0048] Im zweiten Fall, dargestellt in den [Fig. 15B](#) und C, wurde eine Aluminiumwaagschale eingesetzt; auf der mit dem Aluminium in Kontakt stehenden Oberfläche bildete sich eine sehr glatte Fläche. Dies lässt sich direkt der Tatsache zuschreiben, dass das geschmolzene Pech nicht an der Oberfläche des Aluminiums haftet. Dies erlaubt die Herstellung komplex geformter Bauteile mit glatten Oberflächen zur Verbesserung der Kontaktfläche für eine Bindung bzw. zur Verbesserung der Wärmeübertragung. Diese glatte Oberfläche dient als Außenlage; auf diese Weise kann ein Schaumkern-Verbundstoff in situ zusammen mit der Außenlage hergestellt werden. Aufgrund der gemeinsamen Herstellung und des integrierten Materials treten keine Grenzflächenverbindungen und nur eine geringere Wärmebeanspruchung auf, was in einem festeren Material resultiert.

[0049] Die folgenden Beispiele veranschaulichen die Herstellung eines Verbundstoffmaterials unter Verwendung des erfindungsgemäßen Schaums.

Beispiel 6

[0050] Nach dem in Beispiel 4 beschriebenen Verfahren wurde ein von Pech hergeleiteter Kohlenstoffschäum hergestellt. Mit Bezug auf [Fig. 16A](#) wurde der Kohlenstoffschäum **10** maschinell zu einem Block einer Größe von 2 Inch × 2 Inch × 0,5 Inch geformt. Zwei ebenfalls jeweils 2 Inch × 2 Inch × 0,5 Inch große Stücke (**12** und **14**) eines Prepreg aus Kohlenstofffasern (Hercules AS4) und einem thermoplastischen Harz (ICI Fibrile Polyetheretherkeytone) wurden oben und unten an der Schaumprobe befestigt und diese zur Kompression mittels eines Graphitstempels in eine passende Graphitform **16** platziert. Die Verbundstoffprobe wurde unter einem Druck von 100 psi mit einer Geschwindigkeit von 5°C/Minute auf eine Temperatur von 380°C erwärmt. Anschließend wurde der Verbundstoff unter einem Druck von 100

psi auf eine Temperatur von 650°C erwärmt. Das Schaumkern-Sandwich-Panel **20** wurde nun aus der Form entnommen und unter Stickstoff bei 1050°C verkocht und anschließend bei 2800°C graphitisiert, was zu einem Schaum mit an seine Oberfläche gebundenen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Außenlagen führte. Der Verbundstoff (allgemein **30**) ist in [Fig. 16B](#) dargestellt.

Beispiel 7

[0051] Nach dem in Beispiel 4 beschriebenen Verfahren wurde ein von Pech hergeleiteter Kohlenstoff-schaum hergestellt. Dieser wurde anschließend maschinell zu einem Block einer Größe von 2 Inch × 2 Inch × 0,5 Inch geformt. Zwei Stücke Kohlenstoff-Kohlenstoff-Material (2 Inch × 2 Inch × 0,5 Inch) wurden leicht mit einer Mischung aus 50% Ethanol und 50% Phenolharz (Durez8, erhältlich von Occidental Chemical Co.) beschichtet. Der Schaumblock und das Kohlenstoff-Kohlenstoff-Material wurden, wie in Beispiel 6 dargestellt, zusammen in eine Form gegeben. Die Probe wurde mit einer Geschwindigkeit von 5°C/Minute auf eine Temperatur von 150°C erwärmt und bei dieser Temperatur 14 Stunden lang durchtränkt. Anschließend wurde die Probe bei 1050°C unter Stickstoff verkocht und bei 2800°C graphitisiert, was zu einem Schaum mit an seine Oberfläche gebundenen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Außenlagen führte. Dies ist ebenfalls als (allgemein) **30** in [Fig. 16B](#) dargestellt.

Beispiel 8

[0052] Nach dem in Beispiel 4 beschriebenen Verfahren wurde ein von Pech hergeleiteter Kohlenstoff-schaum hergestellt. Anschließend wurde die Schaumprobe nach dem Verfahren der chemischen Dampfinfiltration 100 Stunden lang mit Kohlenstoff verdichtet. Die Dichte erhöhte sich auf 1,4 g/cm³, die Biegefestigkeit betrug 19,5 MPa und der Biegemodul 2300 MPa. Die Wärmeleitfähigkeit des Rohschaums betrug 58 W/m·°K, die Wärmeleitfähigkeit des verdichteten Schaums 94 W/m·°K.

Beispiel 9

[0053] Nach dem in Beispiel 4 beschriebenen Verfahren wurde ein von Pech hergeleiteter Kohlenstoff-schaum hergestellt. Anschließend wurde die Schaumprobe nach dem verfahren der Vakuumimprägnierung mit Epoxid verdichtet. Das Epoxid wurde bei 150°C 5 Stunden lang vernetzt. Die Dichte erhöhte sich auf 1,37 g/cm³, die Biegefestigkeit betrug 19,3 MPa.

[0054] Weitere mögliche Ausführungsformen schließen z.B. Materialien wie Metall, Keramikwerkstoffe, Kunststoffe oder faserverstärkte Kunststoffe ein, die an die Oberfläche des erfindungsgemäßen

Schaums gebunden sind, so dass ein Schaumkern-Verbundstoffmaterial mit akzeptablen Eigenschaften entsteht. Weitere mögliche Ausführungsformen schließen Keramikwerkstoffe, Glas oder andere zwecks Verdichtung in den Schaum imprägnierte Materialien ein.

[0055] Basierend auf den bislang gewonnenen Daten zu dem Kohlenstoffschaummaterial können verschiedene Beobachtungen gemacht werden, die wichtige Merkmale der Erfindung skizzieren.

1. Ein Kohlenstoffschaum auf Pechbasis kann ohne oxidativen Stabilisierungsschritt hergestellt werden, was Zeit und Kosten spart.
2. Die hohe Graphitausrichtung in den Streben des Schaums wird durch Graphitisierung bei 2500°C erzielt; dadurch weist der Schaum eine hohe Wärmeleitfähigkeit und Steifigkeit auf, weswegen er sich als Kernmaterial für Wärmeanwendungszwecke eignet.
3. Bei Kohlenstoffsäumen auf Basis eines Mesophasen-Pechs kann eine hohe Druckfestigkeit erzielt werden, weswegen sie sich als Kernmaterial für bauliche Zwecke eignen.
4. Schaumkernverbundstoffe können gleichzeitig mit dem Schaum hergestellt werden, was Zeit und Kosten spart.
5. Es können starre monolithische Vorformlinge mit signifikanter offener Porosität hergestellt werden, die sich zur Verdichtung von infiltrierenden Keramiksubstanzen und infiltrierendem Kohlenstoff nach dem chemischen Dampfinfiltrationsverfahren (CVI) eignen.
6. Es können starre monolithische Vorformlinge mit signifikanter offener Porosität hergestellt werden, die sich zur Aktivierung eignen, so dass ein monolithischer aktivierter Kohlenstoff entsteht.
7. Es ist offensichtlich, dass sich die Größe der während des Aufschäumens gebildeten Blasen durch Variation des ausgeübten Drucks ändert und so Dichte, Festigkeit und andere Eigenschaften beeinflusst werden können.

[0056] Die folgenden Alternativverfahren und -produkte können in dem erfindungsgemäßen Verfahren ebenfalls bewerkstelligt werden:

1. Herstellung von Vorformlingen mit komplexer Gestalt zur Verdichtung mittels CVI- oder Schmelzimprägnierung.
2. Aktivierte Kohlenstoffmonolithe hoher Wärmeleitfähigkeit.
3. Optisches Absorptionsmittel.
4. Heizelemente geringer Dichte.
5. Brandmauermaterial.
6. Niedrige sekundäre Elektronenemissions-Targets für hochenergetische physikalische Anwendungszwecke.

[0057] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Herstellung einer Wärmesenke aus Kohlenstoff-

schaum auf Pechbasis für Struktur- und Wärmeverbundstoffe. Das Verfahren beinhaltet die Herstellung eines Graphitschaums aus einem Mesophasen- bzw. isotropen Pech, das ein synthetisches Pech, ein Pech auf Petrol-Basis oder ein Pech auf Kohle/Teer-Basis sein kann. Ein Gemisch dieser Pechen kann ebenfalls eingesetzt werden. Bei dem vereinfachten Verfahren kommt ein Hochdruck/Hochtemperatur-Ofen zum Einsatz, so dass kein oxidativer Stabilisierungsschritt erforderlich ist. Der Schaum besitzt eine relativ gleichmäßige Porengrößenverteilung (≈ 100 Mikrometer), eine sehr geringe geschlossene Porosität und eine Dichte von etwa $0,53 \text{ g/cm}^3$. Das Mesophasen-Pech erstreckt sich entlang der Streben der Schaumstruktur und erzeugt so eine stark ausgerichtete Graphitstruktur in den Streben. Die Wärmeleitfähigkeit und Steifigkeit dieser Streben ähnelt denen der sehr teuren Hochleistungs-Kohlenstofffasern (z.B. P-120 und K1100). Daher weist der Schaum eine hohe Steifigkeit und Wärmeleitfähigkeit bei sehr geringer Dichte ($\approx 0,5 \text{ g/cm}^3$) auf. Dieser Schaum kann anstelle eines Kernmaterials für Hochtemperatur-Sandwich-Panel für Wärme- und Strukturzwecke gebildet werden, was deren Herstellungszeit reduziert. Durch Einsatz eines isotropen Pechs kann der entstandene Schaum leicht aktiviert werden, so dass ein Kohlenstoff mit stark aktivierter Oberfläche entsteht. Der aktivierte Kohlenstoffschaum führt nicht zu den im Zusammenhang mit Granulat auftretenden Problemen wie Abrieb, Kanalbildung und großem Druckabfall.

Patentansprüche

1. Offener, zellulärer, im Wesentlichen graphitischer, Kohlenstoffschaum, der poröse Bereiche enthält und mindestens teilweise mit einem Material gefüllt ist, das Phasenübergänge eingeht und durch den Prozess erhältlich ist, der umfasst:

- (1) Erwärmen eines verflüssigten Pechs unter nichtoxidierenden Bedingungen unterhalb 500°C , was ausreichend ist einen Kohlenstoffschaum zu produzieren, während Druck aufgebracht wird;
- (2) Verkoken besagten Kohlenstoffschaums durch Erwärmen besagten Kohlenstoffschaums auf eine Temperatur von 500° bis 1000°C unter nichtoxidierenden Bedingungen, während Druck aufgebracht wird;
- (3) Erwärmen des verkokten Kohlenstoffschaums unter Bedingungen, die ausreichend sind einen im Wesentlichen graphitischen Kohlenstoffschaum zu produzieren;
- (4) mindestens teilweises Füllen poröser Bereiche im wesentlich graphitischen Kohlenstoffschaum mit besagtem Phasenübergänge eingehenden Material.

2. Kohlenstoffschaum nach Anspruch 1, wobei der Kohlenstoffschaum ein im Wesentlichen graphitischer Kohlenstoffschaum mit einer Volumenwärmeleitfähigkeit von mindestens $58 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{K}$ ist.

3. Kohlenstoffschaum nach Anspruch 1, wobei der Kohlenstoffschaum ein im Wesentlichen graphitischer Kohlenstoffschaum mit einer Volumenwärmeleitfähigkeit von ca. $58 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{K}$ bis $106 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{K}$ ist.

4. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Kohlenstoffschaum ein im Wesentlichen graphitischer Kohlenstoffschaum mit einer spezifischen Wärmeleitfähigkeit größer als $109 \text{ W}\cdot\text{cm}^3/\text{m}\cdot^\circ\text{K}\cdot\text{g}$ ist.

5. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Kohlenstoffschaum ein im Wesentlichen graphitischer Kohlenstoffschaum mit einer spezifischen Wärmeleitfähigkeit von $109 \text{ W}\cdot\text{cm}^3/\text{m}\cdot^\circ\text{K}\cdot\text{g}$ bis $200 \text{ W}\cdot\text{cm}^3/\text{m}\cdot^\circ\text{K}\cdot\text{g}$ ist.

6. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Kohlenstoffschaum ein im Wesentlichen graphitischer Kohlenstoffschaum mit einer spezifischen Wärmeleitfähigkeit größer als Kupfer ist.

7. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Kohlenstoffschaum ein im Wesentlichen graphitischer Kohlenstoffschaum mit einer spezifischen Wärmeleitfähigkeit ist, die viermal größer als die von Kupfer ist.

8. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Form der Poren durch Gase definiert wurde, die sich während Erwärmen eines unter Druck verflüssigten Pechs entwickelten.

9. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 8, der eine offene, zelluläre Struktur aufweist, die durch zwischenverbundene Streben definiert ist, wobei das Graphit im Wesentlichen den Achsen der Zellwände entlang ausgerichtet ist.

10. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Kohlenstoffschaum durch ein Röntgendiffraktions- bzw. Röntgenbeugungsdiagramm gekennzeichnet ist, das relativ scharfe Dublettspitzen bei 2_θ Winkeln zwischen 40 und 50 Grad zeigt.

11. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Kohlenstoffschaum durch ein Röntgendiffraktionsdiagramm gekennzeichnet ist, das einen durchschnittlichen d_{002} -Abstand von $0,336 \text{ nm}$ aufweist.

12. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Kohlenstoffschaum durch ein Röntgendiffraktionsdiagramm gekennzeichnet ist, das im Wesentlichen der Darstellung in der [Abb. 14](#) entspricht.

13. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen

der Ansprüche 1 bis 12, wobei der Kohlenstoffschaum nichtoxidierend stabilisierter Kohlenstoffschaum auf Pechbasis ist.

14. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 13, wobei der Kohlenstoffschaum aus einem Mesophasepech hergeleitet ist.

15. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, wobei der Druck bei den Schritten (1) und (2) ein statischer Druck von bis zu $6,89 \times 10^6$ Pa (1000 psi) ist.

16. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, wobei mindestens einige Schaumbildung beim Schritt (1) bei einer Temperatur zwischen 420° und 480°C auftritt.

17. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, wobei das Erwärmen beim Schritt (3) das Erwärmen des verkokten Kohlenstoffschaums aus dem Schritt (2) bei einer Temperatur, die über der für das Verkoken beim Schritt (2) liegt, um einen karbonisierten Kohlenstoffschaum zu produzieren, gefolgt von weiterem Erwärmen bei einer noch höheren Temperatur umfasst, um besagten, im Wesentlichen graphitischen, Kohlenstoffschaum zu produzieren.

18. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, wobei besagtes Erwärmen, unter Bedingungen, die ausreichend sind einen im Wesentlichen graphitischen Kohlenstoffschaum beim Schritt (3) zu produzieren, eine Temperatur im Bereich von 2500° bis 2800°C einschließt.

19. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, wobei besagtes Pech ein verflüssigtes Petrol-Mesophasepech ist.

20. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, wobei besagtes Pech ein verflüssigtes, synthetisches Mesophasepech ist.

21. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, der mindestens teilweise von einem Gehäuse umgeben ist.

22. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen vorhergehenden Anspruch, der völlig von einem Gehäuse umgeben ist.

23. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 22, wobei besagtes Phasenübergänge eingehendes Material Wasser ist.

24. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 22, wobei besagtes Phasenübergänge eingehendes Material Essigsäure ist.

25. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 22, wobei besagtes Phasenübergänge eingehendes Material Paraffinwachs ist.

26. Kohlenstoffschaum nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 22, wobei besagtes Phasenübergänge eingehendes Material Germanium umfasst.

27. Temperaturregelungsvorrichtung, die an einem Weltraumfahrzeug in einer externen Position davon angebracht ist, wobei besagte Vorrichtung einen von einem Gehäuse umgebenen Kohlenstoffschaum des Anspruchs 21 bis 22 umfasst, der mindestens in einigen seiner Poren ein Phasenübergänge eingehendes Material enthält, das (1), wenn im Weltraum, einen Phasenübergang bei einer Temperatur eingehen wird, die durch solare Strahlungsenergie induziert wird und (2) in seinen früheren Zustand zurückkehren wird, wenn es im Weltraum keiner solaren Strahlungsenergie ausgesetzt ist.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, wobei besagtes Phasenübergänge eingehendes Material Paraffinwachs ist.

29. Vorrichtung zum Auftauen tiefgefrorener Lebensmittel, die einen von einem Gehäuse umgebenen Kohlenstoffschaum nach Anspruch 21 bis 22 umfasst.

30. Vorrichtung wie in Anspruch 29 definiert, wobei das Phasenübergänge eingehende Material Essigsäure ist.

31. Temperaturregelungsvorrichtung zur Unterstützung bei der Aufrechterhaltung der Temperatur eines damit in Kontakt befindlichen Objekts unterhalb 1800°C, die den von einem Gehäuse umgebenen Kohlenstoffschaum des Anspruchs 21 oder 22 umfasst, der mindestens in einigen seiner Poren ein Phasenübergänge eingehendes Material enthält, das bei einer erhöhten Temperatur oberhalb 800°C schmilzt, aber unterhalb 1800°C nicht verdampft.

32. Vorrichtung wie in Anspruch 31 definiert, wobei besagtes, Phasenübergänge eingehendes, Material zwischen 800°C und 900°C schmilzt.

33. Vorrichtung, wie in Anspruch 31 oder 32 definiert, wobei besagtes Phasenübergänge eingehendes Material Germanium-Silicium umfasst.

34. Verfahren, das Übertragen von Wärme von einem Objekt auf einen von einem Gehäuse umgebenen Kohlenstoffschaum, wie in Anspruch 21 oder 22 definiert, umfasst, der mindestens in einigen seiner Poren ein Phasenübergänge eingehendes Material enthält, das Phasenübergang eingeht, während besagtes Objekt mit besagtem von einem Gehäuse um-

gebenen Kohlenstoffschaum in Kontakt ist.

35. Verfahren, das Übertragen von Wärme auf ein Objekt von einem mit einem Gehäuse umgebenen Kohlenstoffschaum, wie in Anspruch 21 oder 22 definiert, umfasst, der mindestens in einigen seiner Poren ein Phasenübergänge eingehendes Material enthält, das Phasenübergang eingeht, während besagtes Objekt mit besagtem von einem Gehäuse umgebenen Kohlenstoffschaum in Kontakt ist.

36. verfahren zum Reduzieren des Temperaturanstiegs eines Objekts, wenn Wärme, aufgrund der Bedingungen in der umgebenden Umwelt, generiert wird, wobei besagtes Verfahren das Kontaktieren besagten Objekts in besagter umgebenden Umwelt mit einem von einem Gehäuse umgebenen Kohlenstoffschaum, wie in Anhang 21 bis 22 definiert, umfasst, der mindestens in einigen seiner Poren ein Phasenübergänge eingehendes Material enthält, das Phasenübergang eingeht, wenn besagte Wärme in der umgebenden Umwelt generiert wird.

37. Prozess für die Herstellung eines offenen zellulären, im Wesentlichen graphitischen, Kohlenstoffschaums, umfassend:

- (1) Erwärmen eines verflüssigten Pechs unter nichtoxidierenden Bedingungen unterhalb 500°C, was ausreichend ist einen Kohlenstoffschaum zu produzieren, während Druck aufgebracht wird;
- (2) Verkoken besagten Kohlenstoffschaums durch Erwärmen besagten Kohlenstoffschaums auf eine Temperatur von 500° bis 1000°C unter nichtoxidierenden Bedingungen, während Druck aufgebracht wird;
- (3) Erwärmen des verkokten Kohlenstoffschaums unter Bedingungen, die ausreichend sind, einen im Wesentlichen graphitischen Kohlenstoffschaum zu produzieren; und
- (4) mindestens teilweises Füllen poröser Bereiche im wesentlich graphitischen Kohlenstoffschaum mit einem Phasenübergänge eingehenden Material, um den Kohlenstoffschaum zu produzieren.

38. Prozess nach Anspruch 37, wobei, nach Schritt (4), der bei Schritt (4) produzierte Kohlenstoffschaum mindestens teilweise mit einem Gehäuse umgeben wird.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

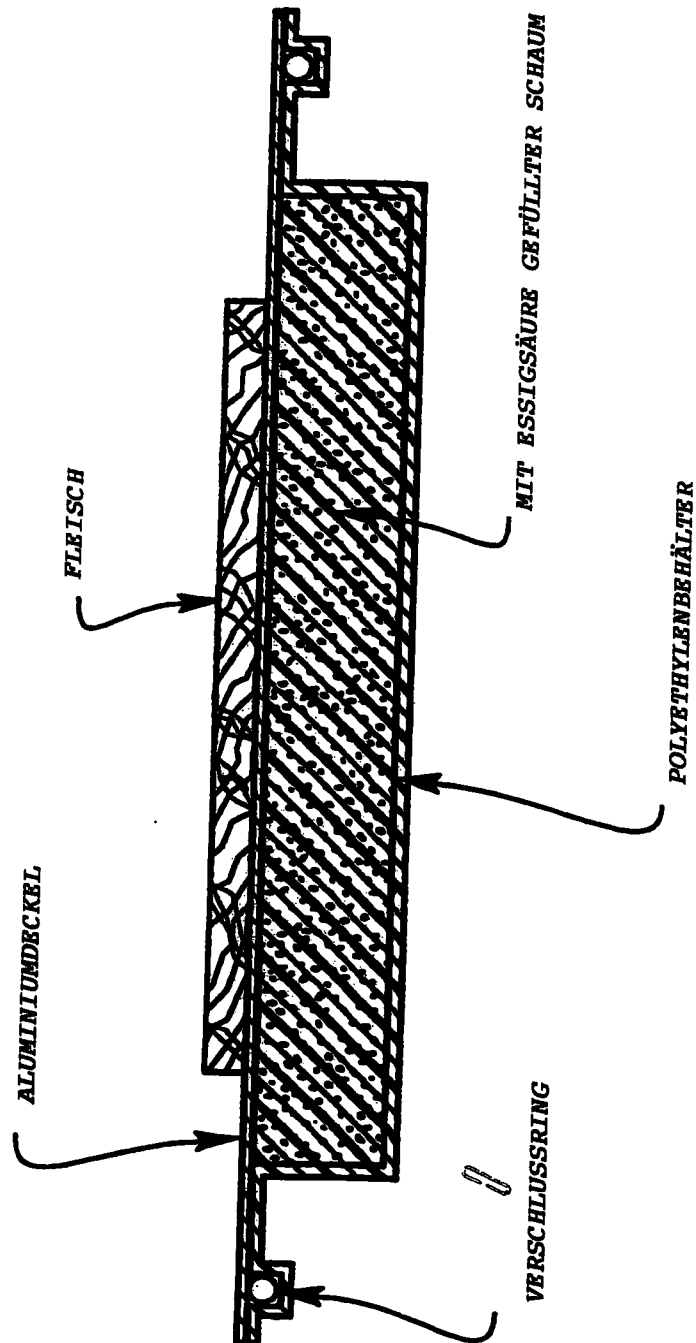


Fig. 1

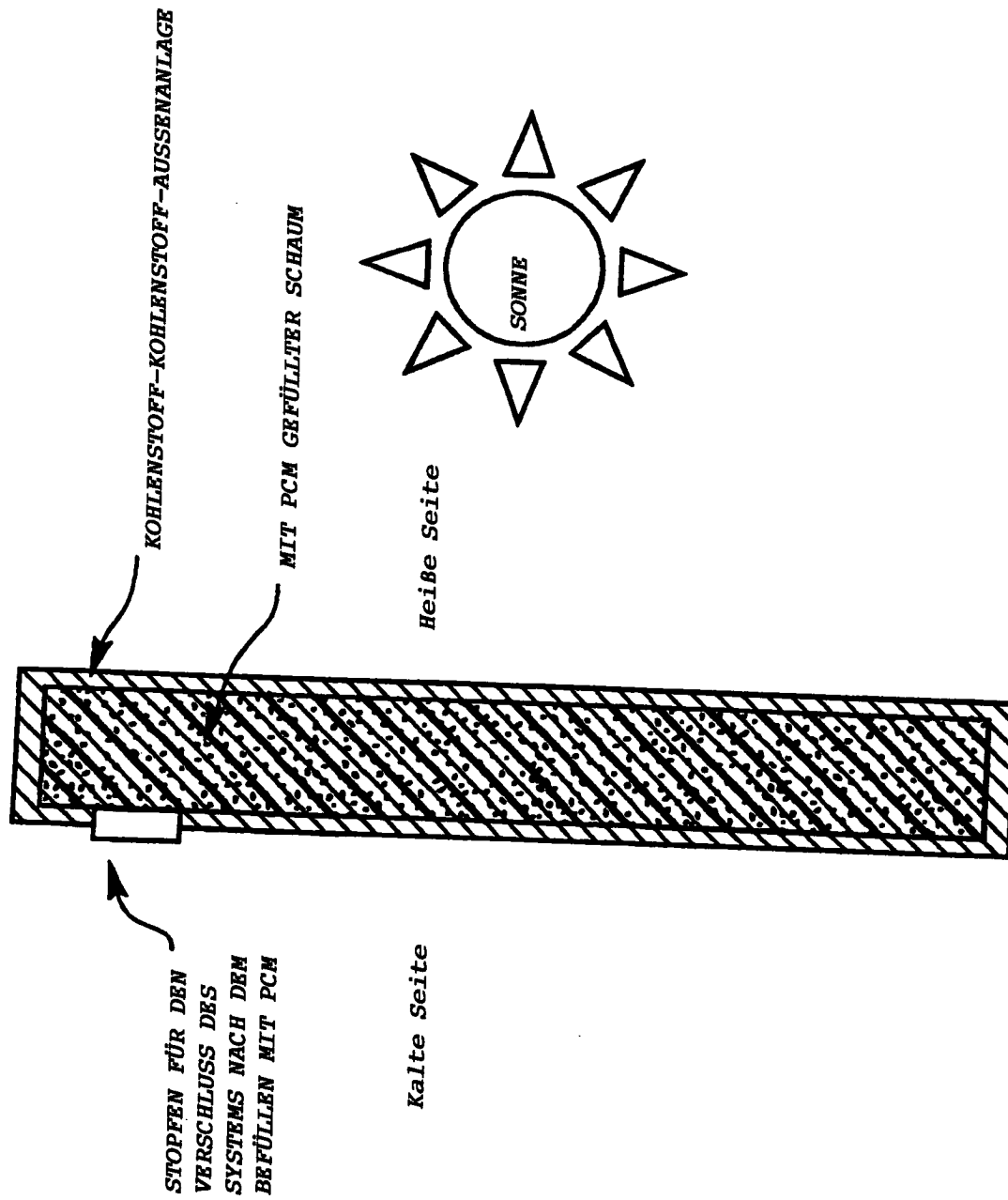


Fig. 2

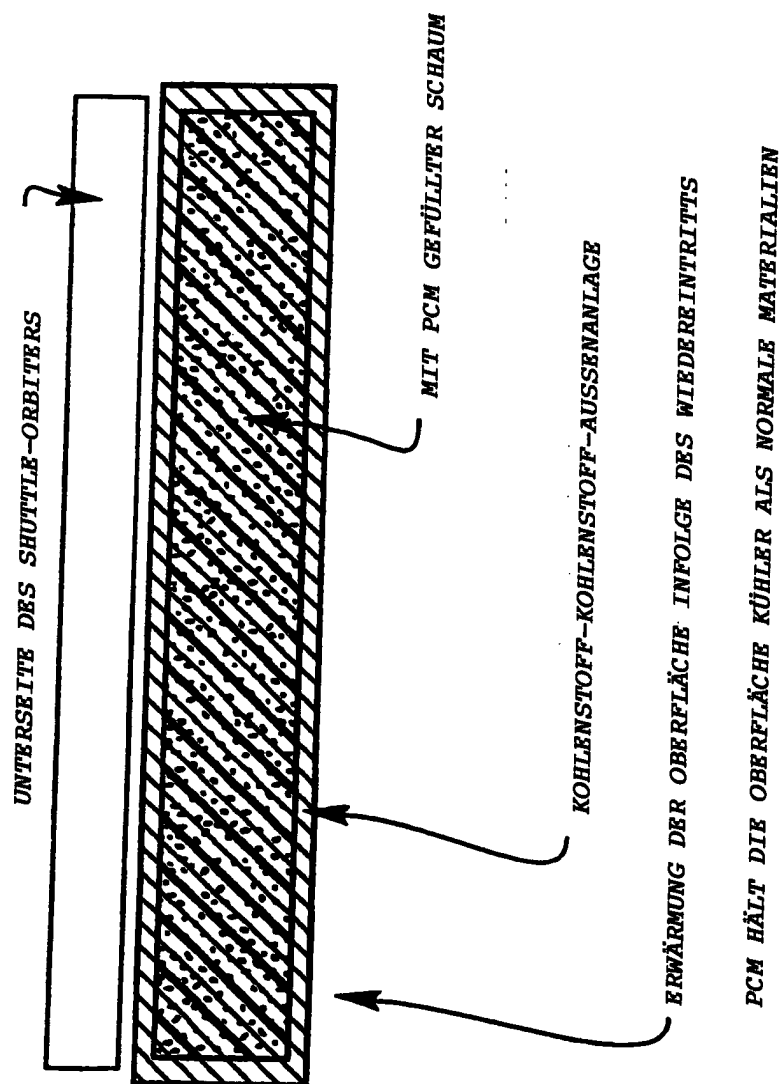


Fig. 3



FIG. 4

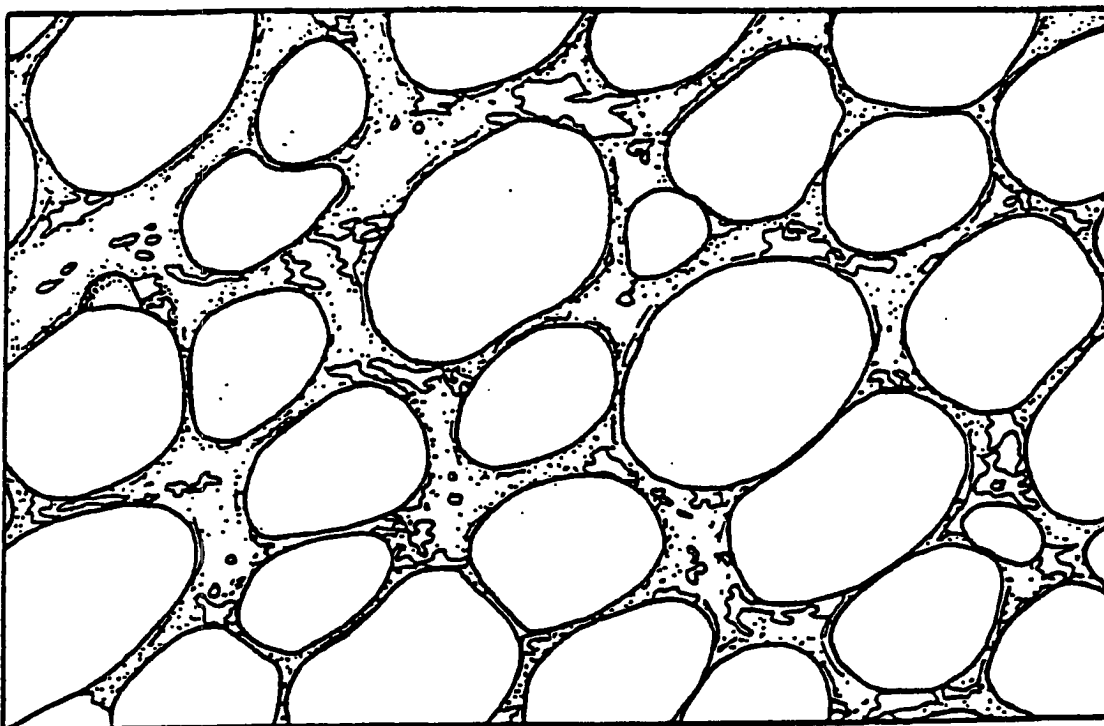


FIG. 5

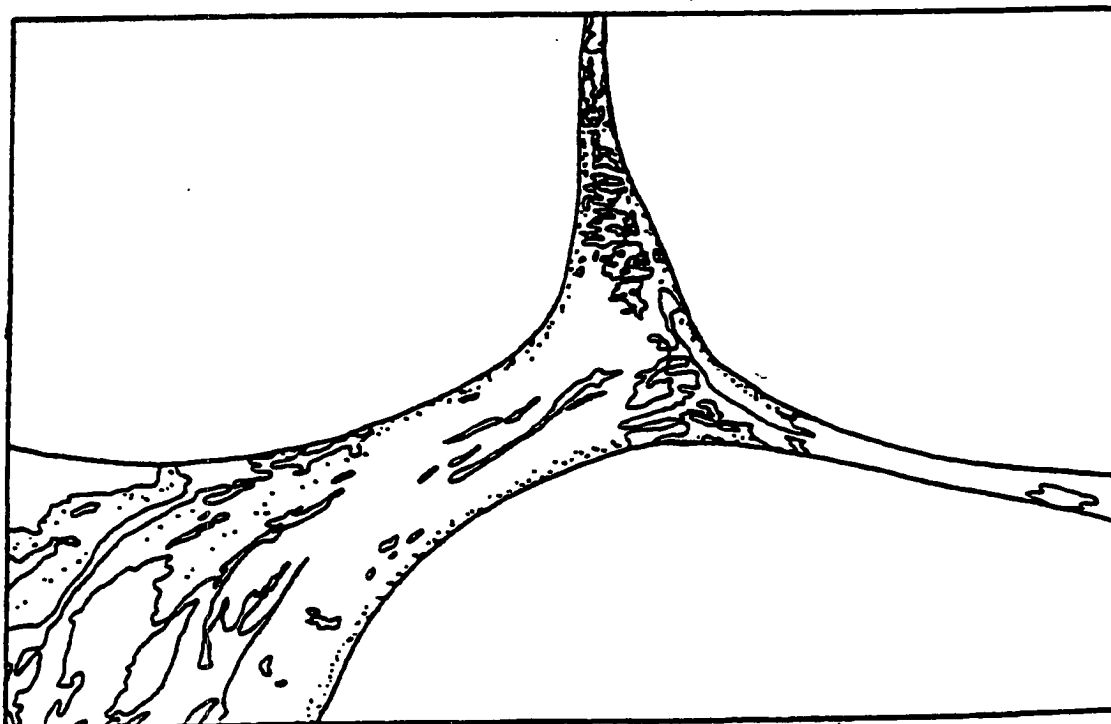


FIG. 6

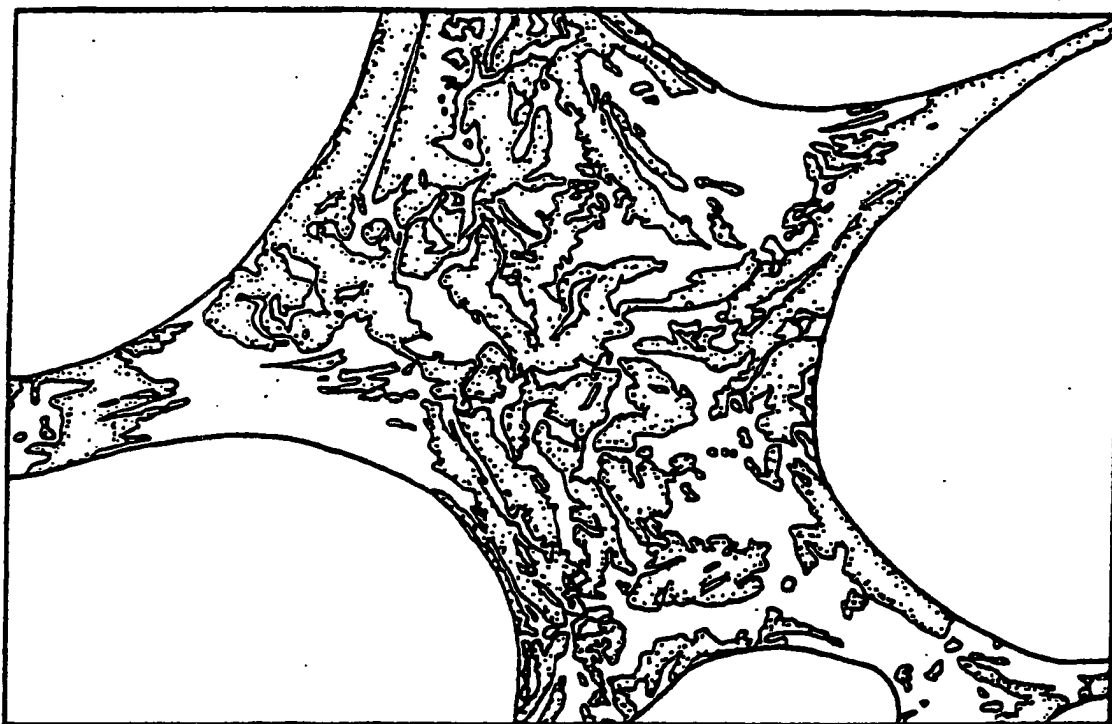


FIG. 7

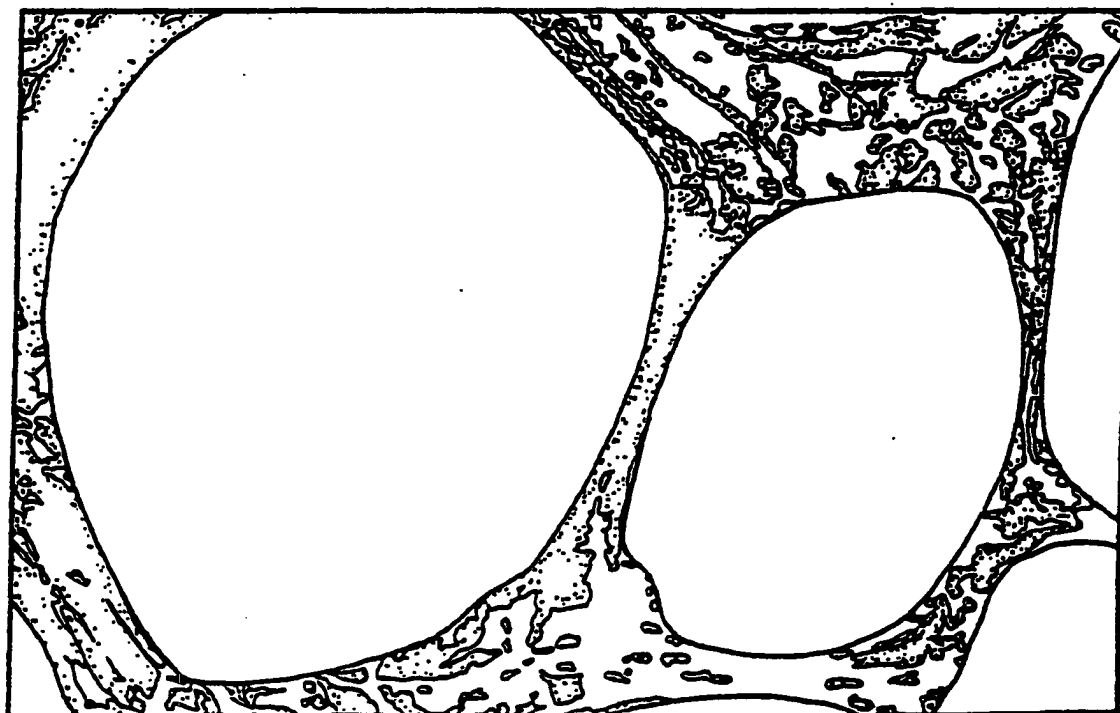


FIG. 8

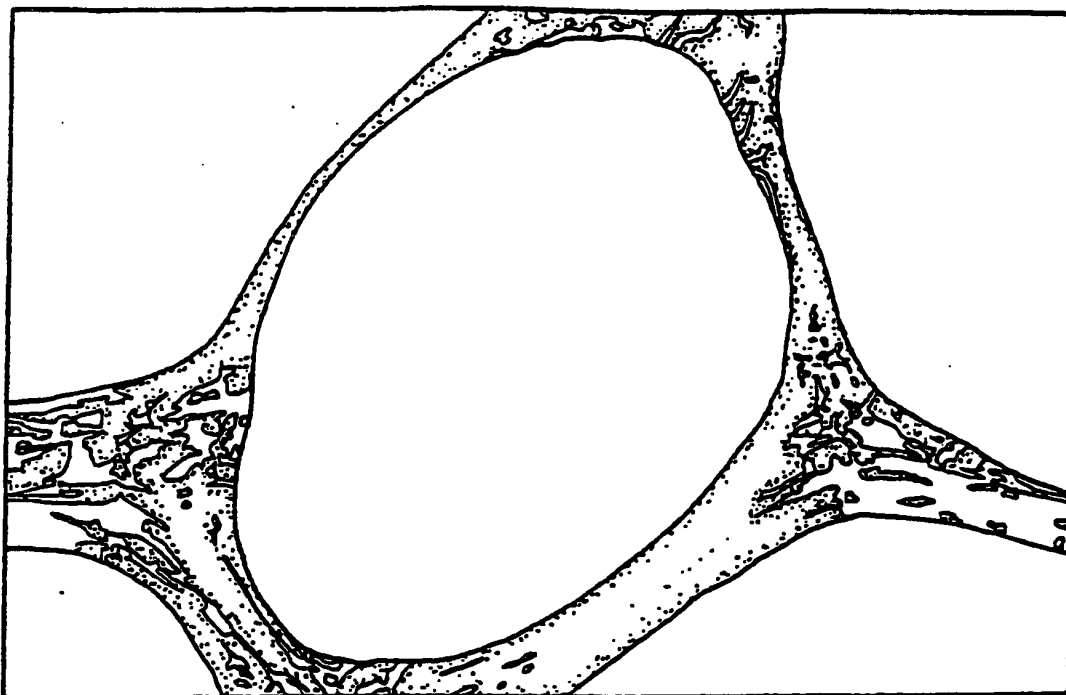


FIG. 9

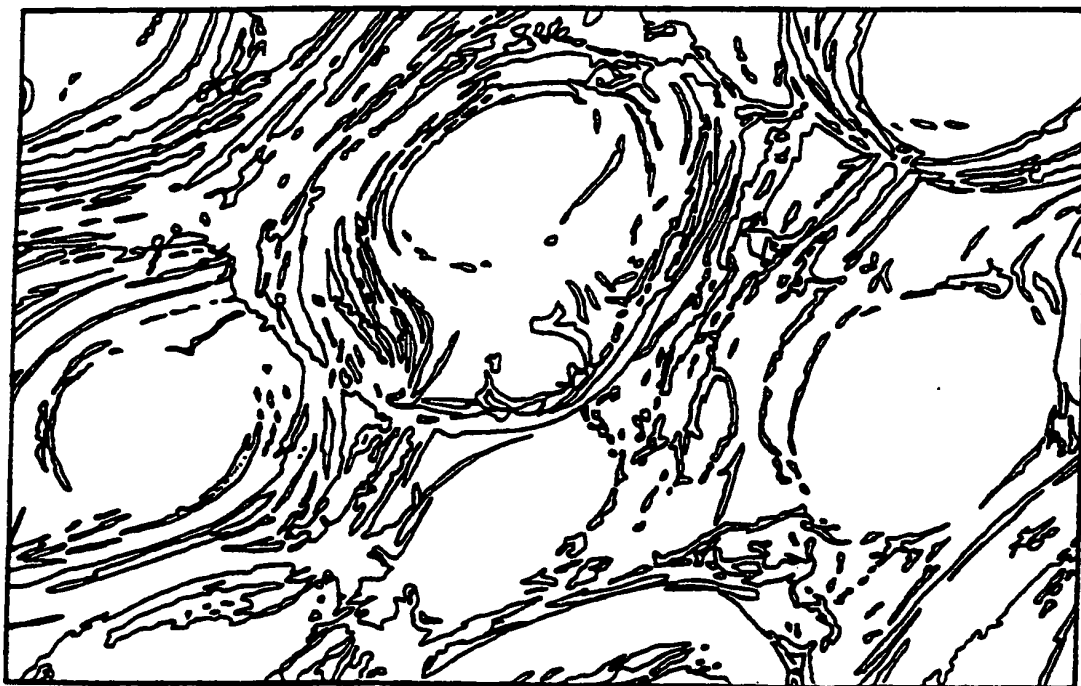


FIG. 10

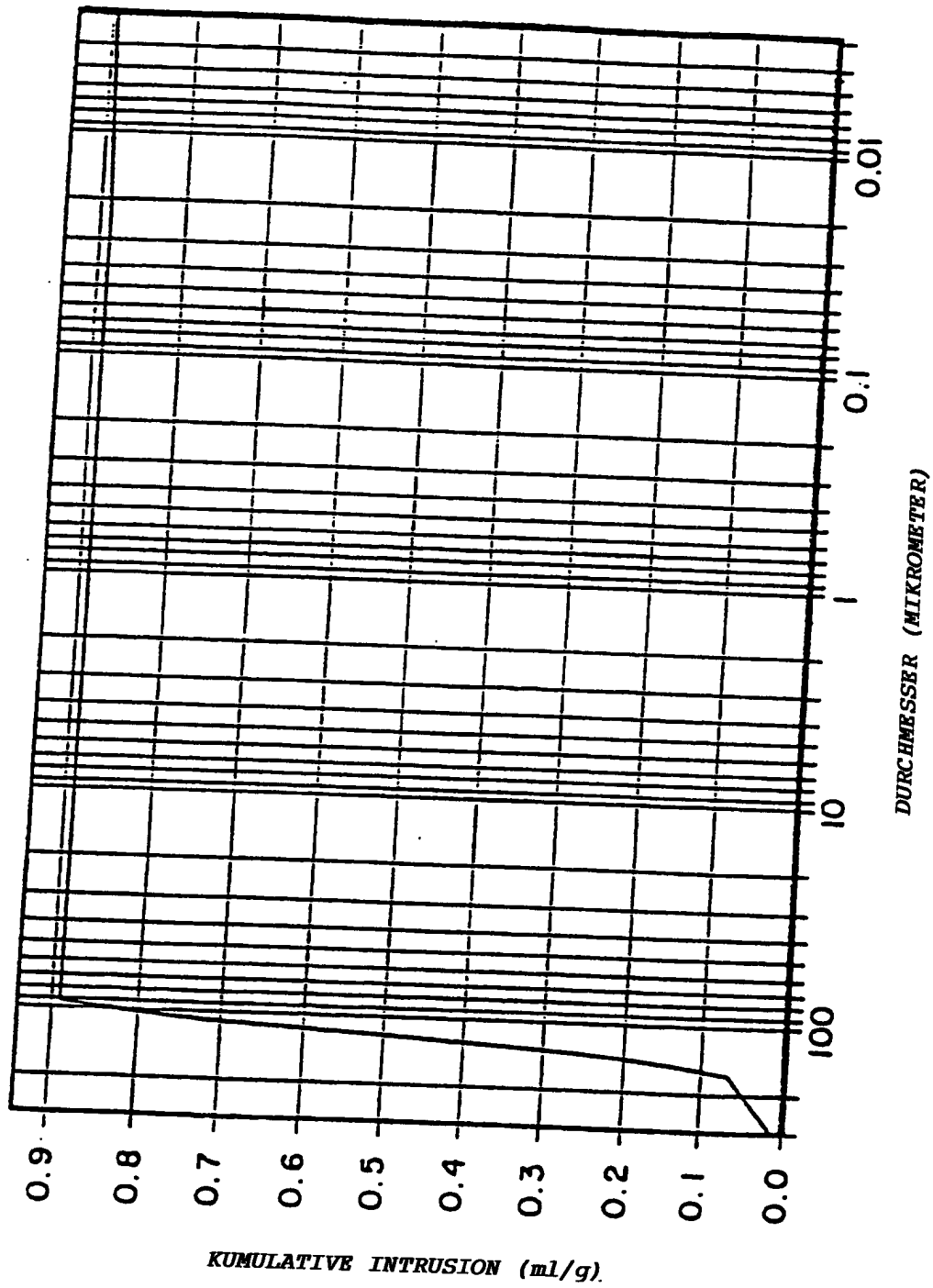


FIG. 11

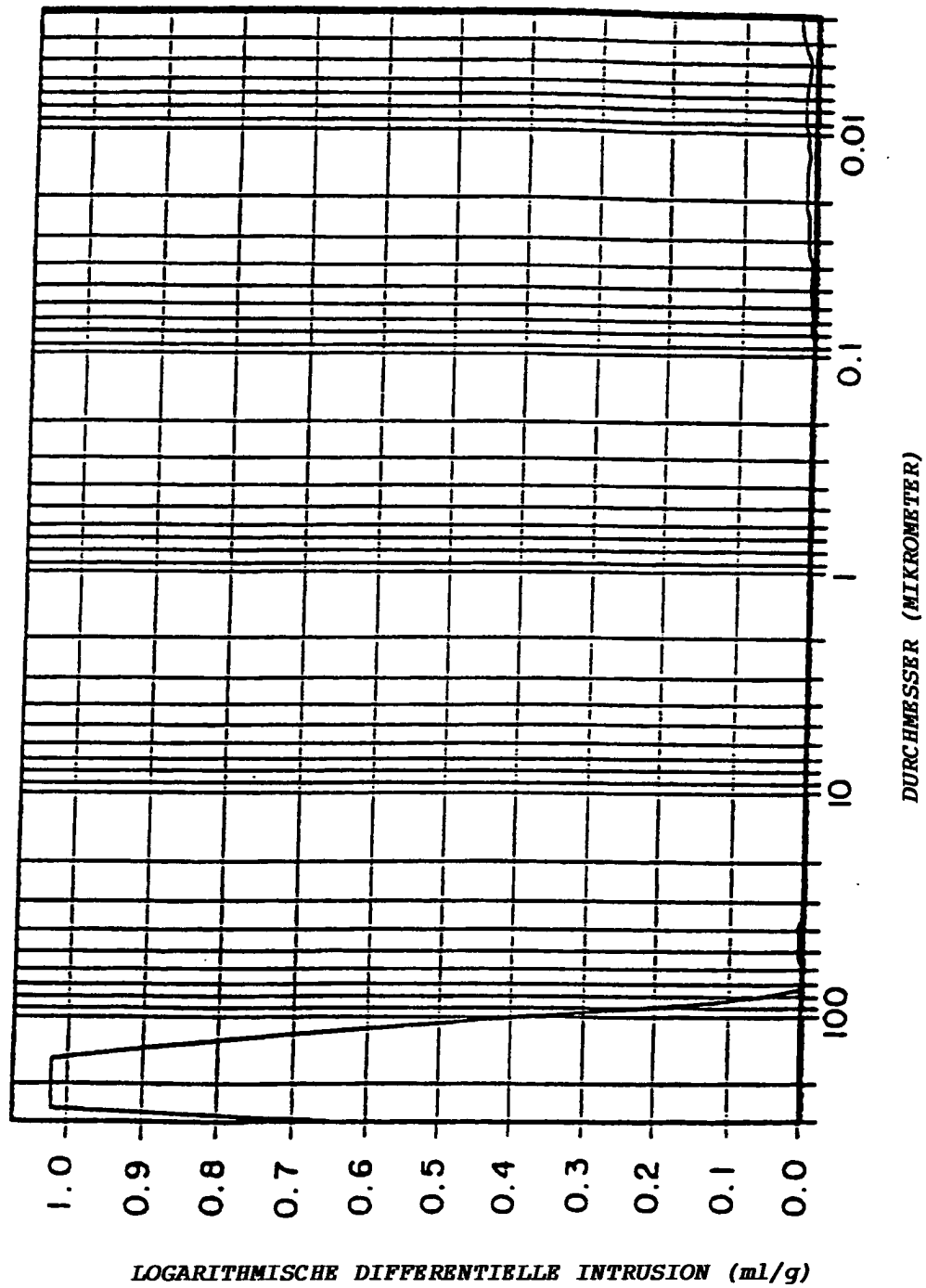


FIG. 12

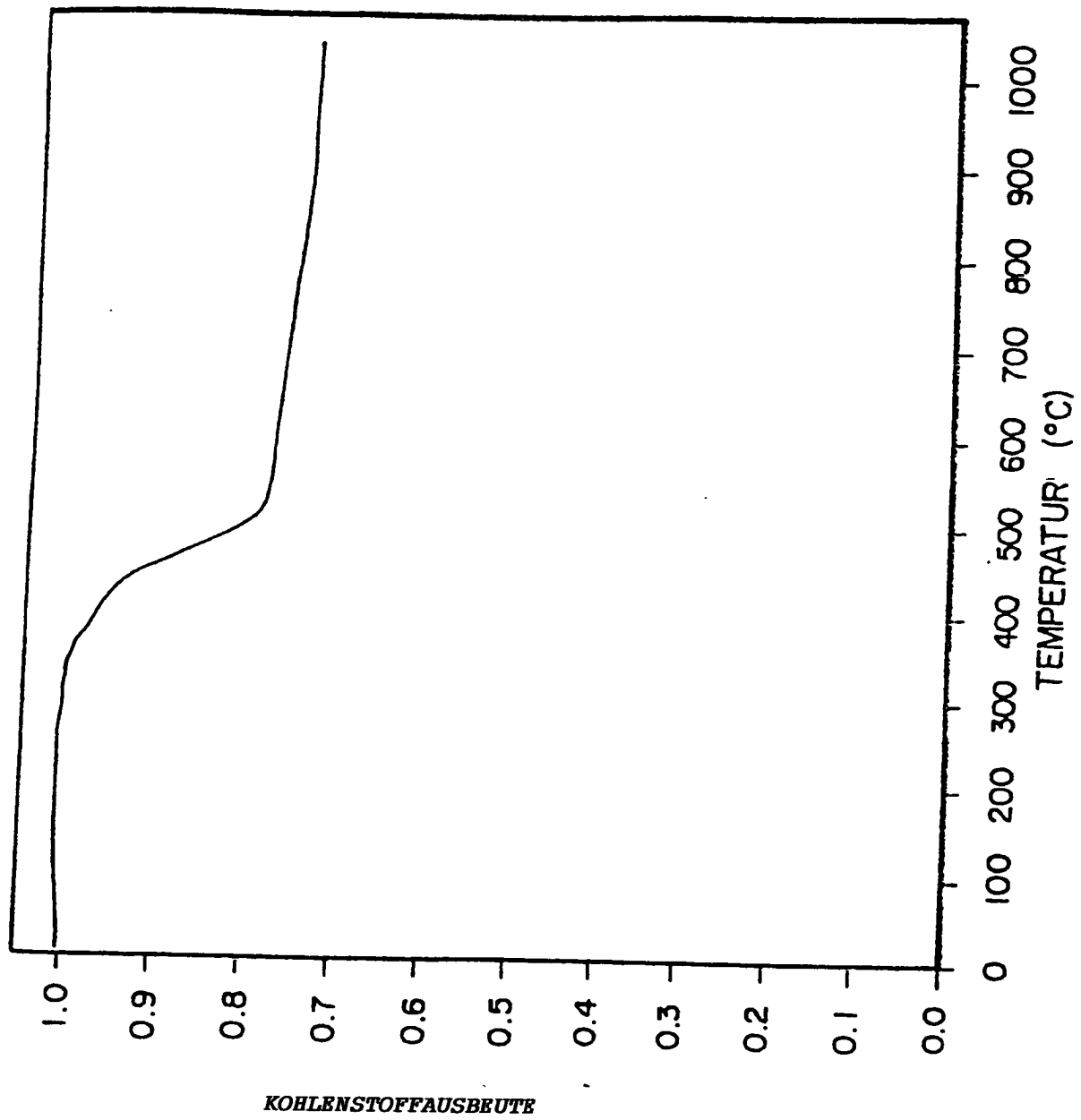


FIG. 13

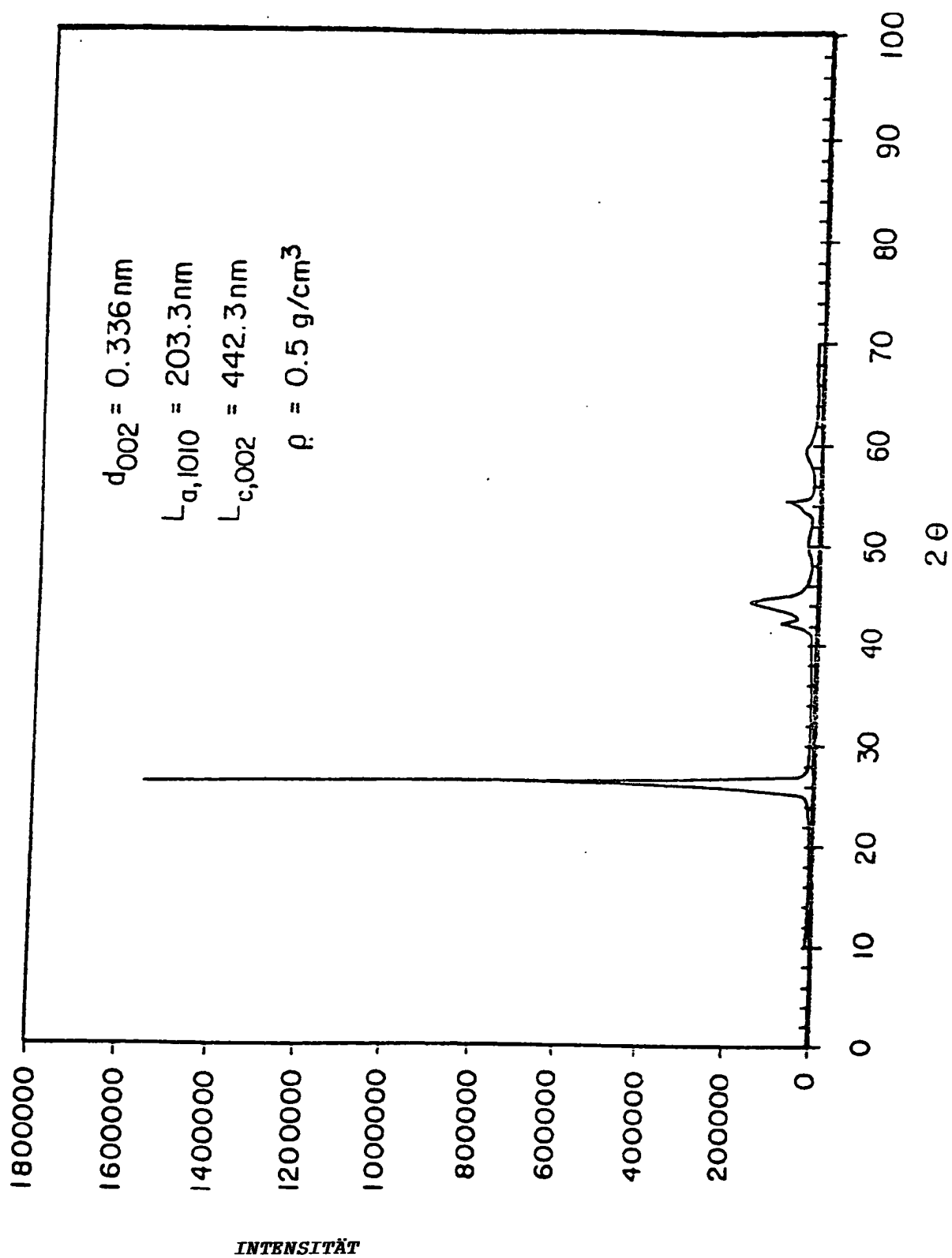


FIG. 14

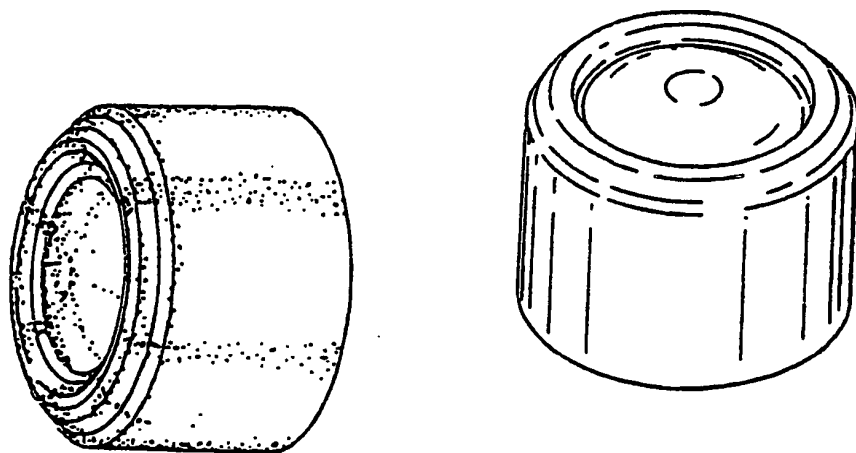


FIG. 15A

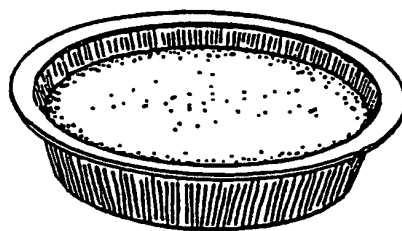


FIG. 15B

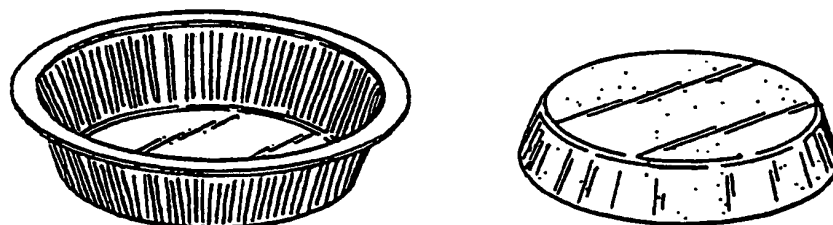


FIG. 15C

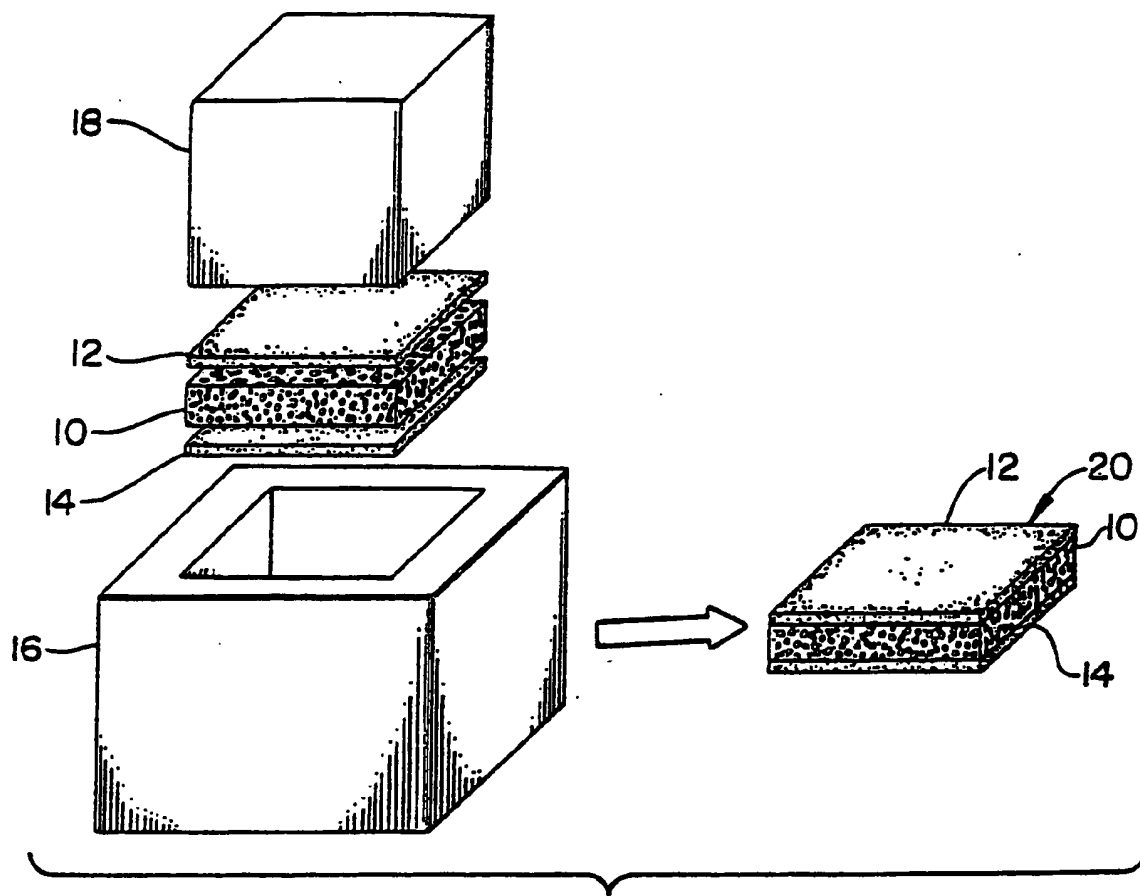


FIG. 16A

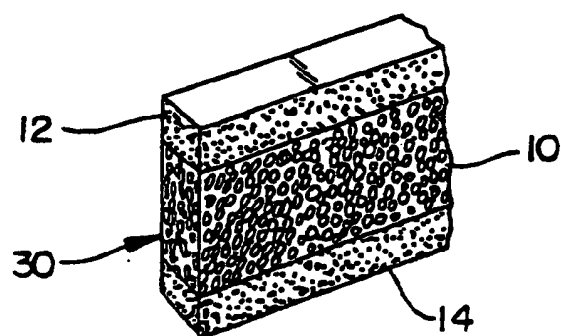


FIG. 16B