

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. Mai 2010 (14.05.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/052101 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

A61L 27/50 (2006.01) *F16S 1/00* (2006.01)
B32B 3/10 (2006.01) *G01L 7/02* (2006.01)
E04C 2/36 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/063414

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Oktober 2009 (14.10.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 043 623.2
10. November 2008 (10.11.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG** [DE/DE]; Schlossplatz 4, 91054 Erlangen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KÖRNER, Carolin** [DE/DE]; Regensburger Str. 9, 90537 Feucht (DE).
HEINL, Peter [DE/DE]; Seeweg 10, 90427 Nürnberg (DE).
SINGER, Robert, Friedrich [DE/DE]; Rudelsweiher Str. 49b, 91054 Erlangen (DE).

(74) Anwälte: **GASSNER, Wolfgang** et al.; Marie-Curie-Str. 1, 91052 Erlangen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: AUXETIC MATERIAL

(54) Bezeichnung : AUXETISCHES MATERIAL

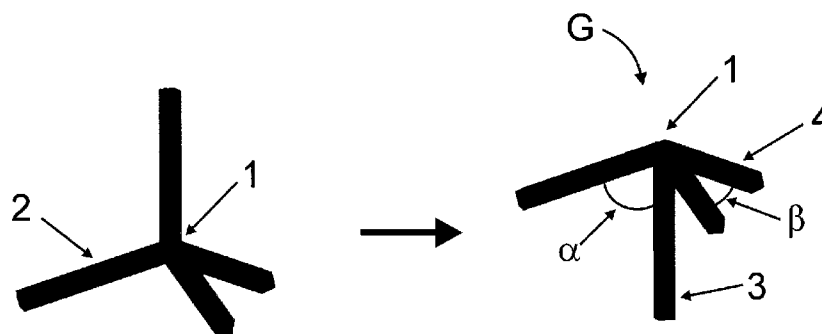


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an auxetic material that is composed of a periodic arrangement of three-dimensional structural elements (G, G1, G2, G3) connected to each other, wherein each of the structural elements (G) comprises a first (3) and at least three second supporting elements (4), wherein the first (3) and the second supporting elements (4) are connected at a common node (1) with their one ends, and wherein a first angle (α) between the first supporting element (3) and the second supporting elements (4) is less than 90° .

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein auxetisches Material, welches aus einer periodischen Anordnung miteinander verbundener dreidimensionaler Gerüstelemente (G, G1, G2, G3) gebildet ist, wobei jedes der Gerüstelemente (G) ein erstes (3) und zumindest drei zweite Stützelemente (4) umfasst, wobei das erste (3) und die zweiten Stützelemente (4) mit ihren einen Enden in einem gemeinsamen Knotenpunkt (1) verbunden sind, und wobei ein erster Winkel (α) zwischen dem ersten Stützelement (3) und den zweiten Stützelementen (4) kleiner als 90° ist.



Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Auxetisches Material

Die Erfindung betrifft ein auxetisches Material.

- 5 Unter einem auxetischen Material wird ein Material mit einer negativen Querkontraktionszahl ν verstanden. Auxetische Materialien verhalten sich im Gegensatz zu Materialien mit einer positiven Querkontraktionszahl ν abnormal. D. h. unter Druckbeanspruchung ziehen sie sich in einer Richtung senkrecht zur
10 Druckrichtung zusammen, wohin gegen sie sich bei Zugbeanspruchung in einer Richtung senkrecht zur Zugrichtung ausdehnen.

Aus dem Stand der Technik sind aus einem komprimierten Polymerschaum hergestellte auxetische Materialien bekannt. Es
15 wird beispielsweise verwiesen auf die US 4,668,557, WO 99/25530, US 5,035,713 sowie die WO 2007/052054 A1.

E. A. Friis, R. S. Lakes, J. B. Park: Negative Poisson's ratio polymeric and metallic forms, Journal of Materials Science,
20 ce, 23, 1998, 4406-4414 offenbart ein aus einem hoch duktilen Kupferschaum hergestelltes auxetisches Material. Die auxetischen Eigenschaften werden dem Kupferschaum ebenfalls durch eine geeignete plastische Deformation verliehen.

25 Zur Herstellung der bekannten auxetischen Materialien durch eine plastische Deformation von Schäumen eignen sich nur thermoplastische Polymere und hochduktilen Metalle. Die dabei zufällig gebildeten dreidimensionalen Strukturen sind nicht periodisch und weisen lediglich zum Teil eine auxetische
30 Struktur auf. Die auxetischen Eigenschaften dieser Materialien können nicht exakt eingestellt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile aus dem Stand der Technik zu beseitigen. Es soll insbesondere ein auxetisches
35 Material angegeben werden, welches aus einer Vielzahl unter-

schiedlicher Werkstoffe herstellbar ist. Nach einem weiteren Ziel der Erfindung sollen außerdem die auxetischen Eigenschaften einstellbar sein.

- 5 Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 16 bis 18 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der Ansprüche 2 bis 15.

Nach Maßgabe der Erfindung wird ein auxetisches Material vor-
10 geschlagen, welches aus einer periodischen Anordnung dreidimensionaler Gerüstelemente gebildet ist, wobei jedes der Gerüstelemente ein erstes und zumindest drei zweite Stützelemente umfasst, wobei das erste und die zweiten Stützelemente mit ihren einen Enden in einem gemeinsamen Knotenpunkt ver-
15 bunden sind, und wobei ein erster Winkel zwischen dem ersten Stützelement und den zweiten Stützelementen kleiner als 90° ist. - Das vorgeschlagene Material umfasst eine Gerüststruktur, welche wegen ihrer besonderen Ausgestaltung der sie aufbauenden dreidimensionalen Gerüstelemente auxetische Eigen-
20 schaften aufweist. Die Gerüststruktur ergibt sich aus einer periodischen Anordnung der miteinander verbundenen Gerüstelemente. In einer Gerüstebene ist dabei die Periodizität zweckmäßigerweise gleich 1, d. h. jedes Gerüstelement ist unmittelbar mit einem weiteren Gerüstelement verbunden. Die Periodizität kann in drei linear unabhängigen Raumrichtungen gegeben sein. Dabei sind zweckmäßigerweise die freien Enden der Stützelemente miteinander verbunden. Die Gerüstelemente sind so miteinander verbunden, dass deren Knotenpunkte und Stützelemente sich bei einer Deformation des Gitters nicht berühren.
25 30 ren. Dabei wird unter dem Begriff "Deformation" eine reversible Verformung des Gitters verstanden.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können die Gerüstelemente variiert werden, indem beispielsweise die Anzahl der zweiten Stützelemente und/oder der erste Winkel und/oder eine
35

Länge der ersten und/oder zweiten Stützelemente geändert werden. Die ersten und/oder zweiten Stützelemente können gerade, gekrümmt oder gewellt ausgestaltet sein. Durch eine Änderung des Gerüstelements ist es möglich, gewünschte auxetische Eigenschaften einzustellen. Die Gerüstelemente können aus jedem geeigneten Material, insbesondere auch Keramik, sämtlichen Metallen oder auch Polymeren hergestellt werden. Damit kann die Klasse der auxetischen Materialien erheblich erweitert werden. Es ergeben sich insbesondere auch durch eine Kombination auxetischer Materialien und nicht auxetischen Materialien völlig neue Möglichkeiten der Einstellung von Werkstoff- und Bauteileigenschaften.

Im Hinblick auf die Ausgestaltung des dreidimensionalen Gerüstelements hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dass ein zweiter Winkel zwischen zwei benachbarten zweiten Stützelementen jeweils gleich groß ist. D. h. sämtliche zweiten Winkel weisen denselben Wert auf. Des Weiteren können die zweiten Stützelemente dieselbe Länge aufweisen. Eine Länge des ersten Stützelements kann von der Länge der zweiten Stützelemente abweichen. Es kann aber auch sein, dass das erste Stützelement und die zweiten Stützelemente dieselbe Länge aufweisen.

Vorteilhafterweise bilden die miteinander verbundenen Gerüstelemente eine Gerüstschicht, bei der die Knotenpunkte in einer Gerüstebene liegen und die ersten Stützelemente sich senkrecht in dieselbe Richtung von der Gerüstebene erstrecken. Bei der Gerüstschicht sind die Gerüstelemente also mit den Enden der zweiten Stützelemente miteinander verbunden. Bei der Verbindung von drei Gerüstelementen mit deren zweiten Stützelementen ergibt sich eine Gerüstschicht mit einer wabenartigen Struktur.

Eine durch die Gerüstelemente gebildete dreidimensionale Gerüststruktur ist durch übereinander angeordnete Gerüstschichten gebildet. Dabei können die Gerüstschichten zweckmäßigerweise so übereinander angeordnet sein, dass deren Gerüstebenen im Wesentlichen parallel verlaufen. Die Gerüstschichten stützen sich in diesem Fall durch die ersten Stützelemente aufeinander ab.

Nach einer weiteren Ausgestaltung sind die Gerüstschichten periodisch in 2er oder 3er Stapeln übereinander angeordnet. Eine Periodizität in einer z-Richtung ist hier also vorzugsweise gleich 2 oder 3. Durch die verschiedenartige periodische Anordnung der Gerüstschichten können Gerüststrukturen mit unterschiedlichen Eigenschaften hergestellt werden.

Die Gerüstschichten sind vorteilhafterweise über die ersten Stützelemente miteinander verbunden. Dabei können die zur Verbindung der Gerüstschichten gebildeten Verbindungspunkte in einer Verbindungspunktebene liegen, welche im Wesentlichen parallel zur Gerüstebene ist. In einem Verbindungspunkt sind vorteilhafterweise zumindest drei zweite Stützelemente einer Gerüstschicht sowie ein erstes Stützelement einer darüber angeordneten weiteren Gerüstschicht miteinander verbunden.

Die Gerüstelemente können aus Metall, vorzugsweise aus Titan, einer Titan-, Cobaltchrom- oder Nickelbasislegierung, Stahl, Magnesium, Formgedächtnislegierungen, insbesondere NiTi, hergestellt sein. Desgleichen ist es möglich, die Gerüstelemente aus Kunststoff, vorzugsweise Polyamid, Polyetheretherketon oder dgl., herzustellen. Ferner ist es möglich, die Gerüstelemente aus Keramik, vorzugsweise SiC, Al₂O₃, Hydroxylapatit oder dgl., herzustellen. Nach einer zweckmäßigen Ausgestaltung sind die Gerüstelemente mit einem Beschichtungsmaterial beschichtet. Es kann sich dabei beispielsweise um Hydroxylapatit, Tantal, TiN, TiC oder Diamant handeln. Es kann auch

sein, dass die Oberfläche der Gerüstelemente beispielsweise durch Ätzen oder dgl. modifiziert ist.

Das vorgeschlagene auxetische Material kann in vielen Berei-
5 chen eingesetzt werden. Als besonders zweckmäßig hat es sich
erwiesen, das auxetische Material als Knochenersatzstoff oder
als Bestandteil eines Knochenersatzstoffs oder Implantats zu
verwenden. Insoweit wird erwartet, dass sich wegen der auxe-
tischen Eigenschaften bei Be- und Entlastung eine Pumpwirkung
10 ergibt, welche die Versorgung des biologischen Gewebes unter-
stützt. Das auxetische Material kann insbesondere auch aus
einem resorbierbaren Material, z. B. Magnesium, Hydroxylap-
tit, hergestellt werden. Das vorgeschlagene auxetische Mate-
rial eignet sich besonders auch zur Herstellung von Band-
15 scheibenersatzmaterialien, zur Hinterfütterung, beispielswei-
se eines Kniegelenkimplantats oder als Ersatz für Knochen-
mark.

Abgesehen davon kann das vorgeschlagene auxetische Material
20 zur Herstellung von schallabsorbierenden Werkstoffen, zur
Herstellung von Werkstoffen zum Schutz eines Aufpralls oder
eines Einschlags sowie zur Herstellung adaptiver Filter mit
variabler Porengröße verwendet werden.

25 Darüberhinaus kann das auxetische Material als Gerüst zur
Herstellung von Kompositwerkstoffen, z. B. durch Infiltration
mit Polymeren, Metallen oder keramischen Werkstoffen, genutzt
werden.

30 Zur Herstellung des vorgeschlagenen auxetischen Materials
eignen sich gängige Rapid Manufacturing bzw. Verfahren der
additiven Fertigung, beispielsweise selektives Laser- oder
Elektronenstrahlschmelzen. Es ist aber auch möglich, das vor-
geschlagene auxetische Material in einem Gießverfahren, vor-
35 zugsweise im Feinguss, herzustellen. Daneben ist es denkbar,

andere geeignete Herstellungsverfahren, beispielsweise Lithographie, Galvanoformung, Abformung sowie Mikrobearbeitungstechniken einzusetzen. Zur Beschichtung einer erfindungsgemäßen auxetischen Gerüststruktur eignen sich herkömmliche Verfahren, beispielsweise physikalische oder chemische Gasphasenabscheidung, galvanische Beschichtungsverfahren, Pulverbeschichtungsverfahren und dgl.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die Ableitung eines Gerüstelements,

Fig. 2 die Bildung einer Gerüstschicht aus dem Gerüstelement gemäß Fig. 1,

Fig. 3 eine erste Gerüststruktur unter Verwendung der Gerüstschicht gemäß Fig. 2 und

Fig. 4 eine zweite Gerüststruktur unter Verwendung der Gerüstschicht gemäß Fig. 2.

Die linke Ansicht der Fig. 1 zeigt eine tetraedrische Struktur, wie sie beispielsweise im Diamantgitter realisiert ist. Dabei erstrecken sich von einem Knotenpunkt 1 unter dem bekannten Tetraederwinkel von $109,5^\circ$ vier Arme 2 gleicher Länge. Aus einer solchen tetraedrischen Struktur lässt sich durch Spiegelung von drei Armen an einer senkrecht zum vierten Arm und durch den Knotenpunkt 1 verlaufenden Symmetrieebene ein erfindungsgemäßes Gerüstelement G ableiten. Ein solches Gerüstelement G ist in der rechten Abbildung der Fig. 1 dargestellt. Es ist gebildet aus einem ersten Stützelement 3 und drei zweiten Stützelementen 4. Das erste 3 und die zweiten Stützelemente 4 sind im Knotenpunkt 1 verbunden. Die Stützelemente sind vorzugsweise stab- bzw. stangenartig aus-

gebildet. Sie weisen zweckmäßigerweise einen kreisförmigen Querschnitt auf. Ein erster Winkel α zwischen dem ersten 3 und jedem der zweiten Stützelemente 4 ist identisch. Der Winkel α ist kleiner als 90° . Er liegt zweckmäßigerweise im Bereich von 85 bis 30° , vorzugsweise im Bereich von 85 bis 60° oder von 85 bis 70° . Ein zwischen zwei benachbarten Stützelementen 4 gebildeter zweiter Winkel β ist ebenfalls gleich. Er beträgt bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel $109,5^\circ$. Die Größe des zweiten Winkels β ist abhängig von der Größe des ersten Winkels α . Bei dem in Fig. 1 gezeigten Gerüstelement G weisen das erste 3 und die zweiten Stützelemente 4 dieselbe Länge auf. Es ist allerdings auch denkbar, dass das erste Stützelement 3 länger oder kürzer als die zweiten Stützelemente 4 ausgebildet sind. Ferner ist es denkbar, auch die zweiten Stützelemente 4 in unterschiedlicher Länge auszuführen. In diesem Fall kann es erforderlich sein, von der zwischen den zweiten Stützelementen 4 vorgesehenen Winkelgleichheit abzuweichen, d. h. zwischen den zweiten Stützelementen 4 können dann auch zweite Winkel β unterschiedlicher Größe realisiert sein.

Fig. 2 zeigt die Bildung einer Gerüstschicht GS unter Verwendung des in Fig. 1 gezeigten Gerüstelements G. Dabei werden jeweils drei Gerüstelemente G1, G2, G3 mit den freien Enden von jeweils zwei zweiten Stützelementen 4 so miteinander verbunden, dass in der Projektion auf die xy-Ebene eine wabenartige Struktur entsteht. Dabei stehen die ersten Stützelemente 3 jeweils senkrecht auf einer durch die Knotenpunkte 1 gebildeten Gerüstebene GE.

Fig. 3 zeigt die Bildung einer ersten Gerüststruktur A durch Übereinanderstapeln mehrerer der in Fig. 2 gezeigten Gerüstschichten GS. Dabei stützt sich auf einer ersten Gerüstschicht GS1 eine zweite Gerüstschicht GS2 mit ihren ersten Stützelementen 3 in Verbindungspunkten 5 ab. In jedem der

Verbindungspunkte 5 sind jeweils mindestens drei zweite Stützelemente 4 der ersten Gerüstschicht GS1 sowie ein erstes Stützelement 3 der darüber liegenden zweiten Gerüstschicht GS2 miteinander verbunden. Die Verbindungspunkte 5 bilden eine Verbindungspunktebene VE, welche etwa parallel zur Gerüstebene GE verläuft. Die zweite Gerüstschicht GS2 ist gegenüber der ersten Gerüstschicht GS1 um 60° rotiert, wobei die Drehachse senkrecht auf der Gerüstschicht GS steht. Die Gerüstschichtabfolge aus erster Gerüstschicht GS1 und zweiter Gerüstschicht GS2 wird zum Aufbau der ersten Gerüststruktur A periodisch übereinander gestapelt. Es ergibt sich die in der rechten Abbildung der Fig. 3 gezeigte erste Gerüststruktur A.

Bei der in Fig. 4 gezeigten zweiten Gerüststruktur B besteht eine Gerüstschichtabfolge aus einer ersten Gerüstschicht GS1, einer zweiten Gerüstschicht GS2 und einer dritten Gerüstschicht GS3, welche jeweils ohne Rotation, jedoch mit einer Translation in der Gerüstebene GE in Richtung der Projektion eines zweiten Gerüstelements 4 auf die Gerüstebene GE angeordnet sind. Die zweite Gerüststruktur B entsteht durch periodisches Übereinanderstapeln der aus den drei Gerüstschichten GS1, GS2 und GS3 gebildeten Gerüstschichtabfolge.

Die vorgeschlagenen Gerüststrukturen A, B können beispielsweise mittels Rapid Prototyping Verfahren, Gießverfahren oder dgl. aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien hergestellt werden. Durch eine Variation der Geometrie, insbesondere der Länge oder der Breite der Stützelemente 3, 4 sowie der zwischen den Stützelementen 3, 4 vorgesehenen Winkel α , β lassen sich die auxetischen und auch andere Eigenschaften des vorgeschlagenen Materials einstellen.

Auxetische Gerüststrukturen können auch unter Verwendung anderer Gerüstelemente G hergestellt werden. Geeignete Gerüst-

elemente G können beispielsweise auch vier zweite Stützelemente 4 und ein erstes Stützelement 3 aufweisen.

Das vorgeschlagene auxetische Material eignet sich insbesondere zur Herstellung von Knochenersatzstoffen. Dabei beträgt eine Länge der Stützelemente 3,4 vorzugsweise 0,5 bis 3 mm. Der Durchmesser der im Querschnitt vorzugsweisen runden Stützelemente 3, 4 liegt zwischen 0,1 und 1 mm und kann in der Struktur variabel eingestellt werden.

Bezugszeichenliste

	1	Knotenpunkt
	2	Arm
5	3	erstes Stützelement
	4	zweites Stützelement
	5	Verbindungspunkt
	α	erster Winkel
10	β	zweiter Winkel
	A, B	Gerüststruktur
	G, G1, G2, G3	Gerüstelement
	GE	Gerüstebene
	GS, GS1, GS2, GS3	Gerüstschicht
15	VE	Verbindungspunktebene

Patentansprüche

1. Auxetisches Material gebildet aus einer periodischen Anordnung miteinander verbundener dreidimensionaler Gerüstelemente (G, G1, G2, G3), wobei jedes der Gerüstelemente (G, G1, G2, G3) ein erstes (3) und zumindest drei zweite Stützelemente (4) umfasst, wobei das erste (3) und die zweiten Stützelemente (4) mit ihren einen Enden in einem gemeinsamen Knotenpunkt (1) verbunden sind, und wobei ein erster Winkel (α) zwischen dem ersten Stützelement (3) und den zweiten Stützelementen (4) kleiner als 90° ist.

2. Auxetisches Material nach Anspruch 1, wobei ein zweiter Winkel (β) zwischen zwei benachbarten zweiten Stützelementen (4) jeweils gleich groß ist.

3. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweiten Stützelemente (4) dieselbe Länge aufweisen.

4. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste Stützelement (3) und die zweiten Stützelemente (4) dieselbe Länge aufweisen.

5. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die miteinander verbundenen Gerüstelemente (G, G1, G2, G3) eine Gerüstschicht (GS, GS1, GS2, GS3) bilden, bei der die Knotenpunkte (1) in einer Gerüstebene (GE) liegen und die ersten Stützelemente (3) sich senkrecht in dieselbe Richtung von der Gerüstebene (GE) erstrecken.

6. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine durch die Gerüstelemente (G, G1, G2, G3) gebildete dreidimensionale Gerüststruktur (A, B) durch über-

einander angeordnete Gerüstschichten (GS, GS1, GS2, GS3) gebildet ist.

7. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gerüstschichten (GS, GS1, GS2, GS3) so übereinander angeordnet sind, dass deren Gerüstebenen (GE) im Wesentlichen parallel verlaufen.

8. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gerüstschichten (GS, GS1, GS2, GS3) periodisch in 2er oder 3er Stapeln übereinander angeordnet sind.

9. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gerüstschichten (GS, GS1, GS2, GS3) über die ersten Stützelemente (3) miteinander verbunden sind.

10. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Verbindung der Gerüstschichten (GS, GS1, GS2, GS3) gebildete Verbindungspunkte (3) in einer Verbindungspunktebene (VE) liegen, welche im Wesentlichen parallel zur Gerüstebene (GE) ist.

11. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in einem Verbindungspunkt (5) zumindest drei zweite Stützelemente (4) einer Gerüstschicht (GS, GS1, GS2, GS3) sowie ein erstes Stützelement (3) einer darüber angeordneten weiteren Gerüstschicht (GS, GS1, GS2, GS3) miteinander verbunden sind.

12. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gerüstelemente (G, G1, G2, G3) aus Metall, vorzugsweise aus Titan, einer Titan-, Cobalddchrom- oder Nickelbasislegierung, Mg, Stahl, Formgedächtnislegierungen, insbesondere NiTi, hergestellt sind.

13. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gerüstelemente (G, G1, G2, G3) aus Kunststoff, vorzugsweise Polyamid, Polyetheretherketon, hergestellt sind.

5

14. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gerüstelemente (G, G1, G2, G3) aus Keramik, vorzugsweise SiC, Al₂O₃, Hydroxylapatit, hergestellt sind.

10

15. Auxetisches Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gerüstelemente (G, G1, G2, G3) mit einem Beschichtungsmaterial, vorzugsweise Hydroxylapatit, Tantal, TiN, TiC oder Diamant, beschichtet sind.

15

16. Knochenersatzstoff, umfassend das auxetische Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

17. Implantat, umfassend das auxetische Material nach einem der Ansprüche 1 bis 15.

20

18. Kompositwerkstoff, umfassend das auxetische Material nach einem der Ansprüche 1 bis 15.

25

1/3

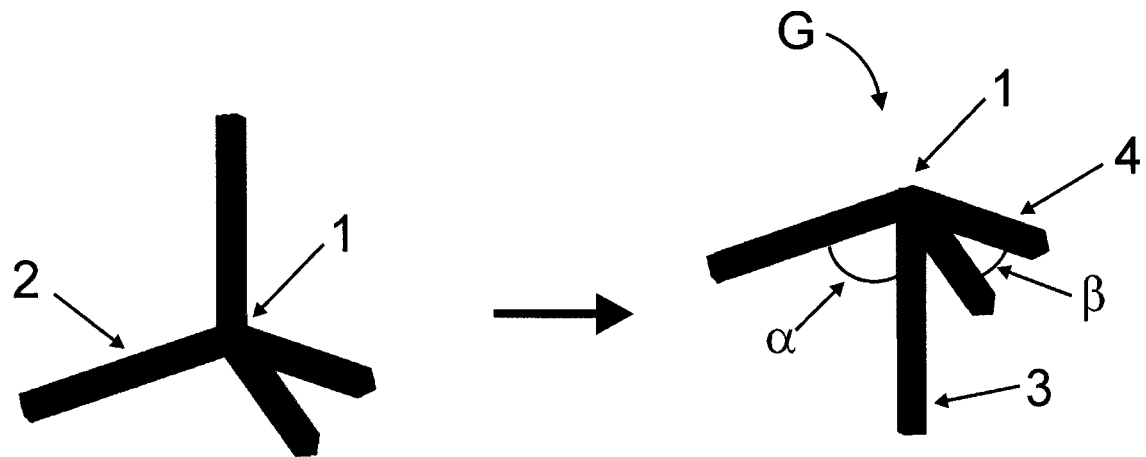


Fig. 1

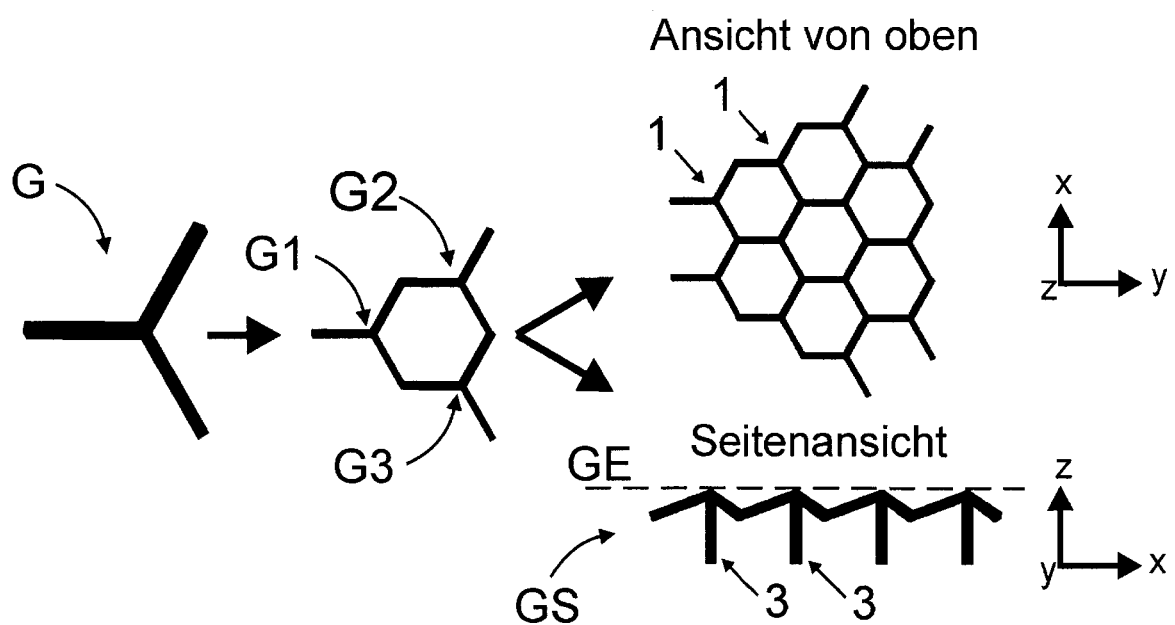


Fig. 2

Struktur A

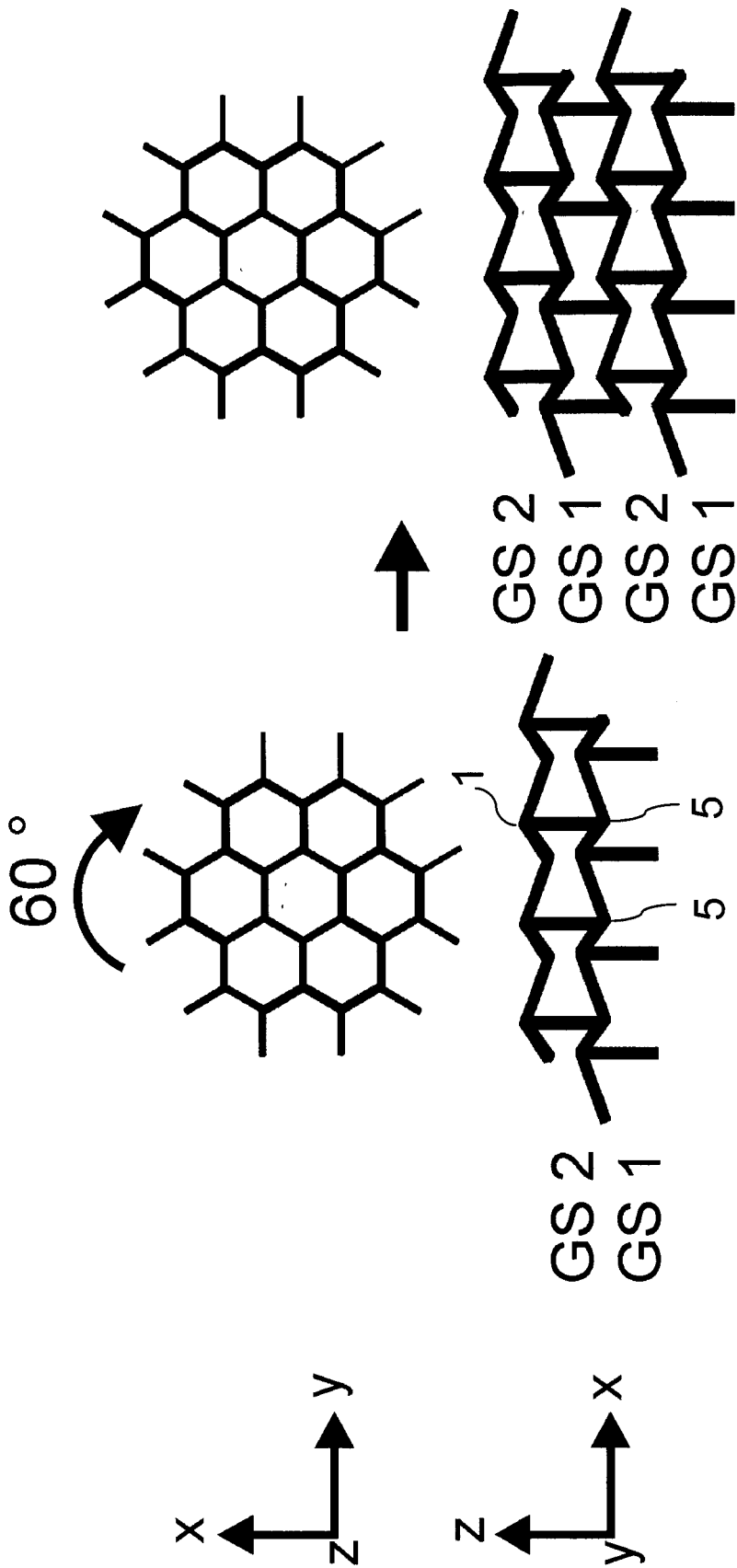


Fig. 3

Struktur B

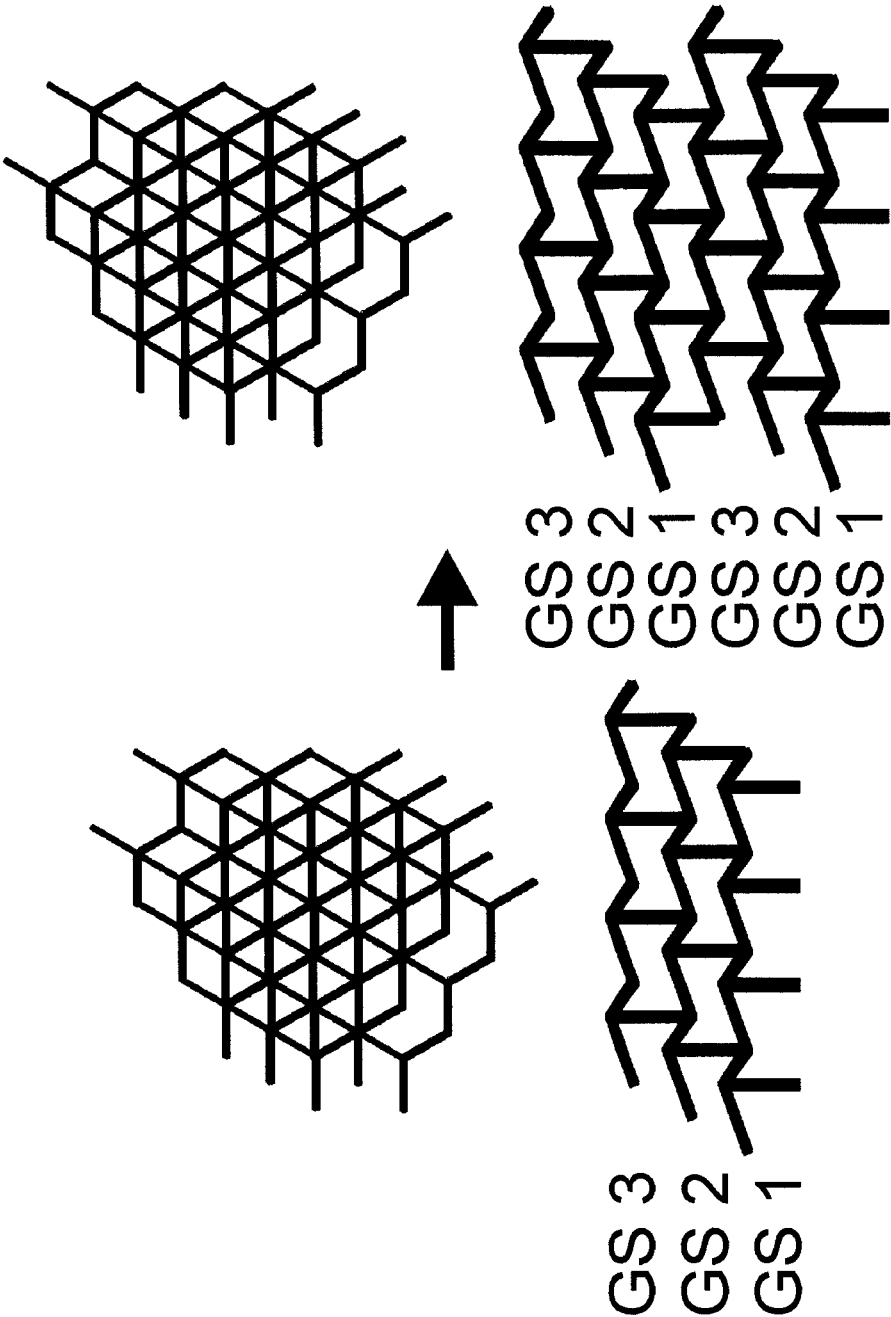


Fig. 4