



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 009 372.7

(51) Int Cl.: **G01N 21/31 (2006.01)**

(22) Anmelddatag: 23.06.2014

G01N 21/88 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 24.12.2015

G01N 21/21 (2006.01)

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 30.04.2025

G01N 21/59 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

G01N 21/55 (2014.01)

G01B 11/06 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

EP 2 840 368 A1
WO 2013/157 641 A1

**Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und
Strahletechnik IWS: Jahresbericht 2013. Dresden,
2014. 1, 21, 30, 31. - Firmenschrift**

(74) Vertreter:

**Pfenning, Meinig & Partner mbB Patentanwälte,
01067 Dresden, DE**

(72) Erfinder:

**Grählert, Wulf, Dr., 01277 Dresden, DE; Wollmann,
Philipp, Dr., 01189 Dresden, DE; Gruber, Florian,
01127 Dresden, DE**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften und/oder Parametern einer Probe und/oder
mindestens einer auf einer Oberfläche einer Probe ausgebildeten Schicht**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften und/oder Parametern einer Probe und/oder mindestens einer auf einer Oberfläche einer Probe ausgebildeten Schicht, bei dem mit mehreren Detektoren, die zur ortsaufgelösten spektralen Analyse elektromagnetischer Strahlung innerhalb eines Wellenlängenintervalls ausgebildet, in einer Reihen- oder einer Reihen- und Spaltenanordnung angeordnet und mit einer elektronischen Auswerteeinheit verbunden und so angeordnet sind, dass die von einer breitbandigen Strahlungsquelle emittierte elektromagnetische Strahlung entweder nach einer Reflexion an der Oberfläche der Probe, einer auf der Probe ausgebildeten Schicht oder an der Oberfläche einer Schicht innerhalb der Probe und/oder nach dem Durchstrahlen einer für die elektromagnetische Strahlung transparenten Probe auf die Detektoren auftrifft, Messsignale orts- und wellenlängenaufgelöst innerhalb eines Wellenlängenintervalls erfasst werden, wobei die Bestrahlung so erfolgt, dass auf einer Fläche, von der die elektromagnetische Strahlung reflektiert oder durch die Fläche transmittiert wird, eine homogene Intensität der elektromagnetischen Strahlung innerhalb einer gleichzeitig

zu detektierenden Fläche eingehalten wird und mit der elektronischen Auswerteeinheit die orts- und wellenlängenaufgelöst erfassten Messsignale der Detektoren innerhalb eines Wellenlängenintervalls mit einem durch Simulation erhaltenen theoretischen wellenlängenabhängigen Verlauf der jeweiligen Strahlungsintensitäten oder einem durch eine Kalibrierung an mindestens einer bekannten Probe erhaltenen Verlauf verglichen werden, so dass eine Aussage zur Bestimmung mindestens einer Eigenschaft oder mindestens eines Parameters der Probe oder mindestens einer auf oder an der Probe ausgebildeten Schicht für die erfassten Messpositionen und somit die ortsaufgelöste Verteilung mindestens einer Eigenschaft oder mindestens eines Parameters der Probe oder mindestens einer auf oder an der Probe ausgebildeten Schicht erhalten wird.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften und/oder Parametern einer Probe und/oder mindestens einer auf oder an einer Oberfläche einer Probe ausgebildeten Schicht. Dabei sollen unter einer Probe Festkörper, mit mindestens einer Schicht beschichtete Festkörper oder aus mehreren übereinander angeordneten Schichten gebildete Elemente verstanden werden.

[0002] Dünne Schichten (Ein- oder Mehrschichtsystem auf definierten Substraten) sind in einer Vielzahl Anwendungen essentiell, z.B. Halbleiterschichten, Verschleißschutzschichten, optische Schichten, etc. als solche bekannt. Für deren Funktionalität ist die Einhaltung vorgegebener Schichtparameter/-eigenschaften in vorgegebenen Toleranzbereichen erforderlich. Dabei können die wichtigen Parameter die Schichtdicke(n), die optische(n) Brechzahl(en), die Absorptionskonstante(n) bei bestimmten Wellenlängen oder die Parameter zur Beschreibung deren Verläufe über einen bestimmten Wellenlängenbereich) sein. Weitere Eigenschaften von Schichten aber auch homogenen Proben können die Anzahl enthaltener Ladungsträger pro Fläche bzw. Volumen (Ladungsträgerkonzentration) vorhanden bzw. enthaltenen Inhomogenitäten oder Defekte (Partikel, Einschlüsse u.a.m.) sein.

[0003] Sehr oft ist es notwendig, diese Parameter über die gesamte Fläche einer Probe sicher und in kurzer Zeit zu bestimmen. Dabei sollte die die Verteilung der obigen Parameter über die gesamte Probenfläche ortsaufgelöst bestimmt werden können. Dabei sollte eine statistisch gesicherte Aussage über die gesamte Probe möglich sein.

[0004] Üblicherweise werden für die oben genannten Eigenschaften und Parameter unterschiedliche dezidierte Messverfahren genutzt, die jedoch größtenteils Einzelpunkt-Messungen sind, bei denen durch eine Probe- oder Sensorbewegung eine Ortsauflösung (x bzw. x-y) der jeweiligen Messgröße erreicht werden kann (Mapping). Eine bildliche Darstellung der erfassten Messwerte muss aufwändig gesondert erstellt werden.

[0005] So kann die Schichtdickenverteilung üblicherweise z.B. interferometrisch bestimmt werden. Für andere o.g. Parameter oder Eigenschaften kann die Ellipsometrie genutzt werden. Dies ist aber zeitgleich lediglich für eine Wellenlänge möglich, wodurch die Genauigkeit und/oder der erforderliche Zeitaufwand nachteilig sind.

[0006] So sind Möglichkeiten zur Nutzung des Hyperspectral Imaging (HSI) aus Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS: Jahresbericht 2013, Dresden, 2014, Seiten 30 und 31 aufgezeigt.

[0007] Ein Verfahren und eine Vorrichtung zur variablen winkelabhängigen spektralen Erfassung von Messwerten sind in WO 2013/157641 A1 und EP 2 840 368 A1 beschrieben.

[0008] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, Möglichkeiten für eine Bestimmung laterale Verteilung von Eigenschaften und/oder Parametern von Proben oder auf Proben ausgebildeten oder bei Proben vorhandenen Schichten in kurzer Zeit mit sehr guter Genauigkeit erreichbar ist, anzugeben, wobei bevorzugt eine bildliche Darstellung der Ergebnisse mit geringem zusätzlichen Aufwand möglich sein sollte.

[0009] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Verfahren, das die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung können mit in untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen realisiert werden.

[0010] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften und/oder Parametern einer Probe und/oder mindestens einer auf einer Oberfläche einer Probe ausgebildeten oder an der Probe vorhandenen Schicht werden mehrere Detektoren, die zur ortsaufgelösten spektralen Analyse elektromagnetischer Strahlung innerhalb eines Wellenlängenintervalls ausgebildet sind, eingesetzt. Diese Detektoren sind in einer Reihen oder einer Reihen- und Spaltenanordnung angeordnet. Die Detektoren sind mit einer elektronischen Auswerteeinheit verbunden und so angeordnet, dass von einer breitbandigen Strahlungsquelle emittierte elektromagnetische Strahlung entweder nach einer Reflexion an der Oberfläche der Probe oder einer auf der Probe ausgebildeten Schicht und/oder nach dem Durchstrahlen einer für die elektromagnetische Strahlung transparenten Probe auf die Detektoren auftrifft. Dabei erfolgt die Bestrahlung so, dass auf einer Fläche, von der die elektromagnetische Strahlung reflektiert oder durch die Fläche transmittiert wird, eine homogene Intensität der elektromagnetischen Strahlung eingehalten wird. Die jeweils gleichzeitig zu detektierende Fläche soll also mit homogener Intensität bestrahlt werden.

[0011] Die elektronische Auswerteeinheit ist so ausgebildet, dass die orts- und wellenlängenaufgelöst erfassten Messsignale der Detektoren innerhalb eines Wellenlängenintervalls mit einem durch Simulation erhaltenen theoretischen wellenlängenabhängigen Verlauf der jeweiligen gemessenen Strahlungsintensitäten oder einem durch eine Kalibrierung an mindestens einer bekannten Probe erhaltenen Verlauf verglichen werden, um eine Aussage zur Bestimmung mindestens einer Eigenschaft oder mindestens eines Parameters der Probe oder mindestens einer auf der Probe ausgebildeten oder an der Probe vorhandenen Schicht zu erhalten. Das

Wellenlängenintervall in dem die Auswertung erfolgt sollte zumindest eine Teilmenge des Wellenlängenintervalls der für die Bestrahlung genutzten elektromagnetischen Strahlung sein.

[0012] In einer Reihe sollten dabei mindestens 30, bevorzugt mindestens 100 Detektoren angeordnet sein.

[0013] Die Bestrahlung der Fläche sollte mit mindestens einem Winkel im Bereich 0° bis $< 90^\circ$ in Bezug zur Normalen der Oberfläche der Probe erfolgen. Bei einer Durchstrahlung einer für die elektromagnetische Strahlung transparenten Probe sollte der Winkel von zumindest nahezu 0° zur Probennormalen eingehalten sein, also die Strahlung möglichst senkrecht auf die Oberfläche der Probe gerichtet werden, um den reflektierten Anteil so klein als möglich zu halten. Die Bestrahlung und Detektion kann auch bei veränderlichem Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung durchgeführt werden. Wie bereits zum Ausdruck gebracht können dabei Einfallswinkel im Bereich 45° bis maximal 89° gewählt werden. Bevorzugt sind Einfallswinkel im Bereich 60° bis 80° , wenn reflektierte Strahlung detektiert werden soll, unabhängig davon ob ein konstanter Einfallswinkel oder verschiedene Einfallswinkel eingesetzt werden sollen.

[0014] Die Bestrahlung oder die Detektion kann auch mit polarisierter elektromagnetischer Strahlung erfolgen. In diesem Fall kann die Ausrichtung der Polarisationsebene gewechselt und die elektromagnetische Strahlung mit unterschiedlicher Polarisierung emittiert und/oder entsprechend detektiert werden.

[0015] Mit der Erfindung können die Schichtdicke (n), die optische(n) Brechzahl(n), deren wellenlängenabhängigen Verläufe, die Absorptionskonstante(n), deren wellenlängenabhängigen Verläufe, die Oberflächengüte der Probe oder mindestens einer auf der Probe ausgebildeten Schicht, die Ladungsträgerkonzentration und/oder die Anzahl und/oder Größe von Defekten/Partikel oder Inhomogenitäten in der Probe oder mindestens einer Schicht bestimmt werden. So kann beispielsweise eine Dicken- und eine Oberflächengütebestimmung gleichzeitig durchgeführt werden. Dabei kann die Oberflächenrauheit bestimmt werden. Es kann auch die Größe einzelner Defekte oder Inhomogenitäten (Unterschiede in der Werkstoff- oder Materialzusammensetzung) und/oder deren Anzahl pro Fläche bestimmt werden.

[0016] Insbesondere bei großflächigen Proben können die Detektoren und die Probe entlang mindestens einer Achse relativ und dabei bevorzugt in einem konstanten Abstand zueinander bewegt werden. So kann bei statisch fixierten Detektoren und Strahlungsquelle eine Probe in einer Achse bewegt werden. Dies kann mit einem entsprechend bewegli-

chen Tisch, auf dem eine Probe angeordnet ist, in einer x- und ggf. auch in einer y-Richtung bewegt werden. Es ist aber auch die Abwicklung von Rolle zu Rolle möglich, wenn die Probe aus einem flexibel verformbaren Werkstoff, beispielsweise in Form einer Folie vorliegt.

[0017] An der Strahlungsquelle können die elektromagnetische Strahlung formende Elemente vorhanden sein. In einer einfachen Ausführung kann die Strahlungsquelle ein Mikroskop sein. Es kann aber auch eine Strahlungsquelle in einem Hohlkörper angeordnet sein, aus dem die elektromagnetische Strahlung diffus austreten und auf die zu bestrahlende Fläche gerichtet werden kann. Der Hohlkörper kann eine Kugel oder Zylinder sein. Es sollte eine gleichzeitig zu detektierende Fläche homogen bestrahlt werden können. Bei einer Strahlungsquelle mit strahlformenden optischen Elementen sollten bei der Auswahl der jeweils eingesetzten optischen Elemente, die zur Strahlformung dienen, der genutzte Wellenlängenbereich berücksichtigt werden.

[0018] Bevorzugt kann im Strahlengang der elektromagnetischen Strahlung eine den Einfall von gestreuter elektromagnetischer Strahlung vermeidende Blende vor den Detektoren angeordnet sein.

[0019] Von der Strahlungsquelle kann elektromagnetische Strahlung emittiert werden, deren Wellenlängen bei der UV-Strahlung beginnen und bei der IR-Strahlung enden. Besonders bevorzugt ist Strahlung aus dem NIR und IR - Bereich also von 700 nm bis 10000 nm. Es sollten in einem genutzten Wellenlängenbereich für die Bestrahlung möglichst alle Wellenlängen innerhalb des jeweiligen Intervalls genutzt werden können. Die Grenzen sollten allein durch den Empfindlichkeitsbereich der eingesetzten Detektoren und den optischen Eigenschaften der Strahlführungskomponenten vorgegeben sein. Bei sehr dünnen Schichten kann bevorzugt mit Wellenlängen im UV/VIS-Bereich (ab 250 nm) gearbeitet werden.

[0020] Es kann dort auch mindestens ein Element, mit dem eine gezielte Wahl der Polarisierung der elektromagnetischen Strahlung erreichbar ist, vorhanden oder darin integriert sein.

[0021] Eine Probe kann auch ein Mehrschichtaufbau, mehrerer aus unterschiedlichen Materialien oder Werkstoffen gebildeten Schichten, sein. Dies kann beispielsweise ein Substrat auf dem für die eingesetzte elektromagnetische Strahlung zumindest teilweise transparente Schichten ausgebildet sind. Dabei kann auch das Substrat entsprechend transparent sein. Die Transparenz kann einen Teil des Wellenlängenspektrums der emittierten elektromagnetischen Strahlung und/oder einen nichtabsorbier-

ten Teil des gesamten Wellenlängenspektrums der Strahlung betreffen.

[0022] Die eingesetzten Detektoren und die elektronische Auswerteeinheit sowie ggf. auch die Strahlungsquelle können ein auch so genanntes Hyper-Spektral-Image-System darstellen, das bei der erfindungsgemäßen Anordnung genutzt werden kann.

[0023] Die gleichzeitig ortsaufgelöst detektierten Spektren (an jeder erfassten Position) können bzgl. des interessierenden Material- oder Werkstoffparameters oder seiner Eigenschaft folgendermaßen ausgewertet werden.

[0024] In einer ersten Variante A kann der gesamte Aufbau mittels eines parametrisierten optischen Modells physikalisch beschrieben werden. Dabei können die zu bestimmende Probenparameter durch Regression (Fit) eines auf Grundlage des optischen Modells simulierten Spektrums an das gemessene Spektrum ermittelt werden, was z.B. durch lineare oder nichtlineare Kurvenanpassung bzw. Minimierung der Summe der Fehlerquadrate (least squares fit) erreicht werden kann. Ist eine hinreichende Anpassung nicht möglich, sollten die Messergebnisse verworfen oder sie können als Störung in der Schicht oder Probenoberfläche betrachtet werden.

[0025] Bei einer Variante B kann mit Hilfe von Proben mit bekanntem(en) Zielparameterwert(en) der Zusammenhang „Spektrum - der/die Zielparameter“ kalibriert werden. Mithilfe dieses Kalibriermodells kann aus jedem gemessenen Spektrum (an jedem Ort) der /die Zielparameter bestimmt werden. Zur Kalibrierung können Methoden der multivarianten mathematisch-statistischen Datenauswertung verwendet werden, wie dies z.B. Hauptkomponentenanalyse (PCA), Partial least Square Analyse (PLS) sind.

[0026] Dabei soll der gesamte zu untersuchende Probenbereich homogen beleuchtet werden. Ansonsten überlagern sich durch die Bestrahlung verursachte laterale Intensitätsschwankungen die durch die Probe bedingten (und auszuwertenden) Intensitätsschwankungen, was zu Fehlern führt. Zur Realisierung eines lateral homogenen Lichtfeldes zur Bestrahlung einer kleinen Fläche auf Proben kann eine Mikroskopoptik mit homogener Mikroskopbeleuchtung genutzt werden. Für großflächigere Proben kann zur Bestrahlung ein „Diffusorsetup“, insbesondere mindestens eine Strahlungsquelle, die innerhalb eines Hohlkörpers angeordnet ist (z.B. eine Ulbrichtkugel, oder ein Hohlzylinder), eingesetzt werden.

[0027] Bei der Aufnahme von Spektren unter einem definierten Einfallwinkel der elektromagnetischen

Strahlung kann/können für ein Reflexionssetup ein oder mehrere Einfallwinkel im Bereich 0° - 85° genutzt werden.

[0028] Es kann eine Kombination unterschiedlicher Messbedingungen erfolgen. Dabei können Transmission/Reflexionsmessung, Kombination unterschiedlicher Einfallwinkel, die Verwendung und Kombination unterschiedlicher Polarisationsebenen der elektromagnetischen Strahlung in unterschiedlichster Form miteinander kombiniert werden.

[0029] Es besteht auch die Möglichkeit, mehrere Reihen- oder Reihen und Spaltenanordnungen von Detektoren, die dann beispielsweise in Bewegungsrichtung nacheinander angeordnet sein können, einzusetzen. Diese Anordnungen von Detektoren können jeweils bei unterschiedlichen Messbedingungen detektieren.

[0030] Mit Anordnungen von Detektoren, deren Zeile/Reihe durch Verwendung von unterschiedlichen optischen Anordnungen (unterschiedliche optische Elemente) ausgebildet ist oder die modifiziert werden können, kann bei unterschiedlichen Messbedingungen detektiert werden.

[0031] Mit der Erfindung kann eine schnelle Charakterisierung einer gesamten Probe bzgl. eines Zielparameters in kurzer Zeit erreicht werden.

[0032] Der Nutzer kann beispielsweise umgehend, z.B. ein „Schichtdickenbild“ der Probe erhalten. Es ist auch eine bildliche Darstellung von Defekten oder der lokalen Ladungsträgerkonzentration oder der chemischen Zusammensetzung möglich.

[0033] Die gewonnenen Informationen können für die Überwachung von Beschichtungsprozessen (inline-Kontrolle), die Entwicklung von Schichtsystemen und auch die Qualitätskontrolle (laterale Verteilung relevanter Schichtparameter) genutzt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Eigenschaften und/oder Parametern einer Probe und/oder mindestens einer auf einer Oberfläche einer Probe ausgebildeten Schicht, bei dem mit mehreren Detektoren, die zur ortsaufgelösten spektralen Analyse elektromagnetischer Strahlung innerhalb eines Wellenlängenintervalls ausgebildet, in einer Reihen oder einer Reihen- und Spaltenanordnung angeordnet und mit einer elektronischen Auswerteeinheit verbunden und so angeordnet sind, dass die von einer breitbandigen Strahlungsquelle emittierte elektromagnetische Strahlung entweder nach einer Reflexion an der Oberfläche der Probe, einer auf der Probe ausgebildeten Schicht oder

an der Oberfläche einer Schicht innerhalb der Probe und/oder nach dem Durchstrahlen einer für die elektromagnetische Strahlung transparenten Probe auf die Detektoren auftrifft,

Messsignale orts- und wellenlängenaufgelöst innerhalb eines Wellenlängenintervalls erfasst werden, wobei

die Bestrahlung so erfolgt, dass auf einer Fläche, von der die elektromagnetische Strahlung reflektiert oder durch die Fläche transmittiert wird, eine homogene Intensität der elektromagnetischen Strahlung innerhalb einer gleichzeitig zu detektierenden Fläche eingehalten wird und mit der elektronischen Auswerteeinheit die orts- und wellenlängenaufgelöst erfassten Messsignale der Detektoren innerhalb eines Wellenlängenintervalls mit einem durch Simulation erhaltenen theoretischen wellenlängenabhängigen Verlauf der jeweiligen Strahlungsintensitäten oder einem durch eine Kalibrierung an mindestens einer bekannten Probe erhaltenen Verlauf verglichen werden, so dass eine Aussage zur Bestimmung mindestens einer Eigenschaft oder mindestens eines Parameters der Probe oder mindestens einer auf oder an der Probe ausgebildeten Schicht für die erfassten Messpositionen und somit die ortsaufgelöste Verteilung mindestens einer Eigenschaft oder mindestens eines Parameters der Probe oder mindestens einer auf oder an der Probe ausgebildeten Schicht erhalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestrahlung der Fläche mit mindestens einem Winkel im Bereich 0° bis $< 90^\circ$ in Bezug zur Normalen der Oberfläche der Probe durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einfallswinkel der elektromagnetischen Strahlung, bevorzugt im Bereich 60° bis 80° verändert oder eingestellt wird, wobei die Detektion und Auswertung bevorzugt bei mehreren unterschiedlichen Einfallswinkeln durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektion und Auswertung unter Verwendung eines Polarisators mit definierter bekannter Polarisationsebene in Bezug zur Einfallsebene durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die laterale Verteilung der Schichtdicke(n), die optische(n) Brechungskonstante(n), oder deren wellenlängenabhängiger Verlauf, die Absorptionskonstante(n), oder deren wellenlängenabhängiger Verlauf, der Oberflächen- bzw. Interfacegüte (Rauheit) der Probe oder mindestens einer auf der Probe ausgebildeten Schicht,

die Ladungsträgerkonzentration und/oder die Anzahl und/oder Größe und/oder Form von Defekten und/oder Partikeln in der Probe oder mindestens einer Schicht bestimmt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektoren und die Probe entlang mindestens einer Achse relativ und dabei bevorzugt in einem konstanten Abstand zueinander bewegt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit optischen Elementen die elektromagnetische Strahlung geformt oder elektromagnetische Strahlung mit der Strahlungsquelle, die innerhalb eines Hohlkörpers angeordnet ist, diffus auf die Fläche emittiert wird und besonders bevorzugt mit einer im Strahlengang der elektromagnetischen Strahlung vor den Detektoren angeordneten Blende, der Einfall von gestreuter elektromagnetischer Strahlung auf die Detektoren vermieden wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Probe ein Mehrschichtaufbau, mehrerer aus unterschiedlichen Materialien oder Werkstoffen gebildeten Schichten eingesetzt wird.

Es folgen keine Zeichnungen