



(11)

EP 4 825 602 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.10.2026 Patentblatt 2026/43

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B42D 25/324 ^(2014.01) **B42D 25/36** ^(2014.01)
B42D 25/328 ^(2014.01) **B42D 25/351** ^(2014.01)

(21) Anmeldenummer: **26171929.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B42D 25/324; B42D 25/328; B42D 25/351;
B42D 25/36

(22) Anmeldetag: **13.04.2026**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH LA MA MD TN

(71) Anmelder: **Giesecke+Devrient Currency**
Technology GmbH
81677 München (DE)

(72) Erfinder: **LOCHBIHLER, Hans**
81677 München (DE)

(74) Vertreter: **Ter Meer und Partner mbB**
Nymphenburger Str. 4
Zugang Dachauer Str. 63
80335 München (DE)

(30) Priorität: **15.04.2025 DE 102025114779**

(54) HALBTRANSPARENTE STRUKTUR MIT LICHTAUFGSTREUUNG IN REFLEXION

(57) Sicherheitsmerkmal mit einer ersten Schichtstruktur auf, umfassend eine erste dielektrische Schicht (12a) mit einem ersten Brechungsindex (n_1); eine zweite dielektrische Schicht (12b) mit einem zweiten Brechungsindex (n_2); eine zwischen der ersten dielektrischen Schicht und der zweiten dielektrischen Schicht eingebettete halbtransparente Schicht (16), die einer Mikrostruktur überlagert ist, wobei die halbtransparente Schicht ausgebildet ist als eine halbtransparente Subwellenlängenstruktur (18), die ein regelmäßiges Gitter mit Perioden im Subwellenlängenbereich ist; oder eine

farbgebende halbtransparente Mehrschichtstruktur (22), umfassend eine erste halbtransparente Schicht (24a) mit einem ersten Brechungsindex (ns_1); eine zweite halbtransparente Schicht (24b) mit einem zweiten Brechungsindex (ns_2); und eine zwischen den halbtransparenten Schichten eingebettete dielektrische Schicht (26) mit einem dritten Brechungsindex (ns_3), und wobei die erste Schichtstruktur dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes gestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes im Wesentlichen unverändert zu transmittieren.

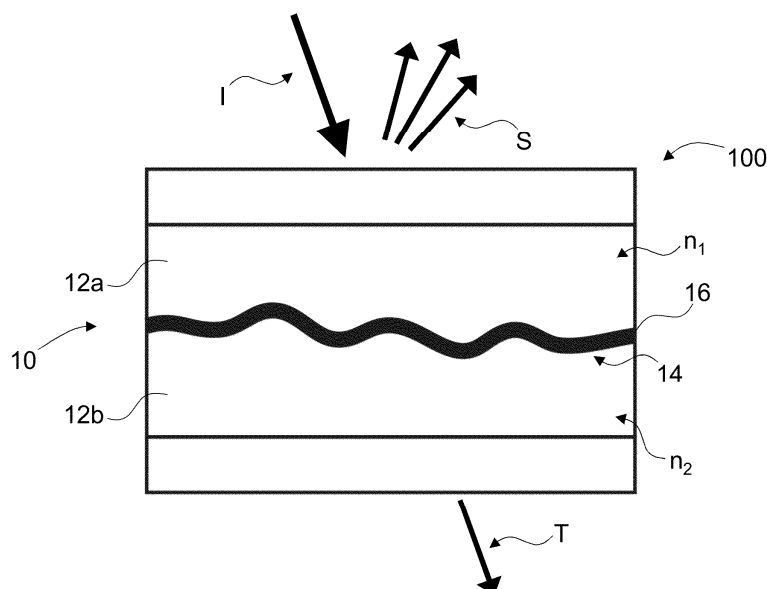


Fig. 1

EP 4 825 602 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Sicherheitsmerkmal mit einer halbdurchsichtigen Schicht, die einer eingebetteten Mikrostruktur überlagert ist, ein Sicherheitselement, ein Wertdokument, ein Verfahren zum Herstellen des Sicherheitsmerkmals, und ein Prüfverfahren zur Echtheitsprüfung des Wertdokuments.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Wertdokumente im Sinne der Erfindung sind unter anderem wertbestimmende Dokumente wie Banknoten, Aktien, Anleihen, Urkunden, Gutscheine, Schecks, Flugscheine, hochwertige Eintrittskarten, Produktsicherungsetiketten, Etiketten zur Produktsicherung, sowie Dokumente zur Identifizierung wie Reisepässe, Personalausweise, aber auch andere fälschungsgefährdete Dokumente. Aufgrund ihres erheblichen finanziellen, rechtlichen und identitätsbezogenen Wertes sind sie ein bevorzugtes Ziel von Fälschungsversuchen. Um die Echtheit solcher Dokumente sicherzustellen und Manipulationen zu verhindern, werden diverse Sicherheitsmerkmale integriert, die sowohl für das bloße Auge als auch mittels technischer Prüfverfahren überprüfbar sein sollen.

[0003] Sicherheitsmerkmale umfassen eine Vielzahl optischer und physikalischer Elemente, die gezielt so gestaltet sind, dass sie schwer kopierbar sind. Dazu gehören beispielsweise Hologramme, Wasserzeichen, spezielle Druckverfahren wie Intaglio-Prints und Mikrostrukturen, die durch präzise Oberflächenreliefs ihre charakteristischen optischen Eigenschaften erhalten. Die Kombination dieser Elemente sorgt dafür, dass bei der Betrachtung des Dokuments unterschiedliche optische Effekte wahrnehmbar werden, die als Echtheitsnachweis dienen.

[0004] Ein bekanntes Verfahren, das häufig in Banknoten und anderen Wertdokumenten eingesetzt wird, basiert auf reflektierenden Druckverfahren, bei denen durch präzise geprägte Oberflächen reliefartige Strukturen entstehen. Diese Verfahren erzeugen durch gezielte Metallisierung der geprägten Bereiche einen optischen Effekt, der dem Dokument ein unverwechselbares, dreidimensionales Erscheinungsbild verleihen kann.

[0005] Ein wesentliches Problem bei reflektierenden Sicherheitsmerkmalen ist jedoch die starke Abhängigkeit der optischen Effekte vom Betrachtungswinkel, auch Glanzwinkel genannt. Spiegelnde Oberflächen zeigen ihren charakteristischen Glanz ausschließlich im Glanzwinkel, während sie außerhalb dieses Bereichs dunkel erscheinen. Diese Eigenschaft beruht auf der Erzeugung der Farbe in der nullten Beugungsordnung - wie sie beispielsweise bei Subwellenlängengittern zum Einsatz kommt.

[0006] Der Glanzwinkel bezeichnet dabei den spezifischen Winkel, bei dem eine glatte, spiegelnde Oberfläche

das Licht so reflektiert, dass der Betrachter ein besonders intensives, direktes Spiegelbild wahrnimmt. Innerhalb dieses Winkels folgt der reflektierte Lichtstrahl dem Gesetz der Reflexion, das besagt, dass der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist. Dadurch wird Licht, das im Glanzwinkel von einer spiegelnd glatten Oberfläche reflektiert wird, als besonders hell und glänzend wahrgenommen. Außerhalb des Glanzwinkels verteilt sich das Licht diffus in viele Richtungen, womit die Intensität des reflektierten Lichts deutlich reduziert ist. Dadurch erscheint die reflektierte Fläche weniger intensiv und ein Bild verliert an Helligkeit und Schärfe. Diese Streuung des Lichts führt dazu, dass weniger Licht in die Blickrichtung eines Beobachters gelangt, was das allgemeine Erscheinungsbild der Oberfläche matter und weniger glänzend erscheinen lässt. In der Praxis führt dies dazu, dass ein Farbeindruck eines Sicherheitsmerkmals nur dann optimal ist, wenn eine Lichtquelle exakt in diesem Winkel liegt - ein Umstand, der insbesondere bei Punktlichtquellen zu einer geringen Winkeltoleranz und damit zu einer eingeschränkten Sichtbarkeit führt. Pigmentdarben haben dagegen eine lichtstreuende Wirkung. Wenn beispielsweise Echtfarbenbilder durch Subwellenlängenstruktur als Alternative zu herkömmlichen Pigmentfarben erzeugt werden, gilt es, diesen Nachteil der geringen Winkeltoleranzen zu überwinden.

[0007] Eine Möglichkeit, um den negativen Effekten der eingeschränkten Winkeltoleranz entgegenzuwirken, ist, das einfallende Licht durch eine raue Oberfläche diffus aufzustreuen. Jedoch geht dabei ein relativ großer Lichtanteil für einen Betrachter verloren, wenn das einfallende Licht gleichmäßig aufgestreut wird. Eine günstigere Situation kann sich durch Strukturelemente ergeben, die einfallendes paralleles Licht achromatisch in einen Fächer auffächern, wie in WO 2014 / 117 938 A1 beschrieben wird.

[0008] Darüber hinaus gibt es vielfältige Herstellungsverfahren, die auf der Erzeugung von diffusen Reflexionseffekten basieren. So werden etwa kontinuierlich variierende Gitterstrukturen, wie in DE 10 2004 003 984 A1 beschrieben, oder an der Oberfläche integrierte Mattstrukturen mit Mikroelementen, die in DE 10 2008 046 128 A1 dargestellt werden, eingesetzt. Ergänzend hierzu sind diffuse Reflektoren aus der US 7,446,915 B2 und Color-Shift Mattstrukturen aus der EP 1 506 096 B1 bekannt.

[0009] Der Ausdruck Color-Shift bezeichnet dabei einen optischen Effekt, bei dem sich eine wahrgenommene Farbe eines Materials in Abhängigkeit vom Betrachtungswinkel ändert. Dieser Effekt entsteht durch Interferenzeffekte in mehrschichtigen oder dünnfilmigen Systemen, die zu einer gezielten Verstärkung oder Abschwächung bestimmter Wellenlängen führen.

[0010] Ergänzend zu den rein reflexionsbasierten Verfahren werden in der Literatur auch Strukturen behandelt, die sowohl Reflexion als auch Transmission des Lichts zulassen. Halbdurchsichtige Subwellenlängen

genstrukturen, wie in WO 2013 / 053 435 A1 und DE 10 2011 101 635 A1 beschrieben, weisen entweder auf beiden Seiten raue Oberflächen oder streuende Partikel in den Deckschichten auf. In beiden Fällen wird das einfallende Licht sowohl in Reflexion als auch in Transmission gestreut. Ähnliche Effekte werden bei dünn-schichtigen Aufbauten beobachtet, die in WO 2011 / 082 761 A1 erläutert werden. Obwohl diese Methoden die optische Wahrnehmung durch kombinierte Reflexion und Transmission erhöhen können, führen sie durch die nicht vermeidbare Lichtaufstreuung in Transmission zu Trübungen in der Durchsicht, was die Schärfe hochauflösender Motive beeinträchtigt. Zudem erfordern raue Oberflächen zusätzliche Fertigungsschritte und sind anfällig gegenüber Verschmutzungen bei Umgebungsbedingungen - etwa beim Umlauf von Banknoten.

Zusammenfassung der Erfindung

[0011] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Sicherheitsmerkmal bereitzustellen, welches das einfallende Licht in Reflexion streut und somit für den Betrachter einen mattierenden Effekt bewirkt, während die Transmission unbeeinflusst bleibt.

[0012] Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0013] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Sicherheitsmerkmal für ein Wertdokument mit einer ersten Schichtstruktur, umfassend eine erste dielektrische Schicht mit einem ersten Brechungsindex; eine zweite dielektrische Schicht mit einem zweiten Brechungsindex; eine zwischen der ersten dielektrischen Schicht und der zweiten dielektrischen Schicht eingebettete halbtransparente Schicht, die einer Mikrostruktur überlagert ist, wobei die Mikrostruktur ein Wellenprofil aufweist, wobei die halbtransparente Schicht als eine halbtransparente Subwellenlängenstruktur, die ein regelmäßiges Gitter mit Perioden im Subwellenlängenbereich ist; oder eine farbgebende halbtransparente Mehrschichtstruktur, umfassend eine erste halbtransparente Schicht mit einem ersten Brechungsindex; eine zweite halbtransparente Schicht mit einem zweiten Brechungsindex; und eine zwischen den halbtransparenten Spiegelschichten eingebettete dielektrische Schicht mit einem dritten Brechungsindex, ausgebildet ist, wobei die erste Schichtstruktur dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes in einem Lichtkegel mit einem Öffnungswinkel zwischen 5° und 30°, vorzugsweise zwischen 5° und 20°, gestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren.

[0014] Im Sinne der Erfindung stellt eine dielektrische Schicht eine transparente Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex im sichtbaren Bereich dar, wobei

durch die Wahl einer kontrollierten Schichtdicke konstruktive oder destruktive Interferenzeffekte realisiert werden können, die zu einer selektiven Verstärkung oder Abschwächung bestimmter Wellenlängen führen.

[0015] Im Sinne der Erfindung ist ein Brechungsindex ein dimensionsloses Maß, das das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zur Lichtgeschwindigkeit in einem Medium angibt. Er bestimmt, wie stark Licht in einem Material verlangsamt wird. Dieser Wert beeinflusst, wie Licht beim Übergang zwischen verschiedenen Medien gebrochen wird, was im Snell'schen Gesetz $n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$ quantifiziert wird.

[0016] Eine Mikrostruktur ist im Sinne der Erfindung eine Struktur, die eine feine und gezielt angeordnete Oberfläche, deren geometrische Merkmale sich im Mikrometerbereich befinden, aufweist. Durch die im Mikrometerbereich ausgebildeten geometrischen Merkmale, kann eine Mikrostruktur derart ausgebildet sein, um einfallendes Licht zu streuen, zu lenken oder zu brechen, um bestimmte optische Effekte wie Entspiegelung, Diffusion oder gezielte Lichtverteilung zu erzeugen. Die Mikrostruktur ist dazu ausgebildet, einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes bevorzugt in einem Lichtkegel mit einem Öffnungswinkel zwischen 5° und 30°, weiter vorzugsweise zwischen 5° und 20°, gestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren.

[0017] Die erste Schichtstruktur ist dazu eingerichtet, einen ersten Teil eines einfallenden parallelen Lichtes in einem Lichtkegel mit einem Öffnungswinkel zwischen 5° und 30° gestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren. Bevorzugt ist die erste Schichtstruktur dazu eingerichtet, einen ersten Teil eines einfallenden parallelen Lichtes in einem Lichtkegel mit einem Öffnungswinkel zwischen 5° und 20° gestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren. Je größer der Öffnungswinkel des Lichtkegels ist, desto größer ist der Betrachtungswinkelbereich, aus dem ein Bewegungseffekt beobachtet werden kann, wenn das Sicherheitselement gedreht wird. Einem starken Effekt ist es weiter förderlich, wenn die Mikrostruktur das einfallende parallele Licht in Reflexion so streut, dass keine isotrope Streuung entsteht, sondern eine gerichtete Streuung innerhalb des Lichtkegels vorliegt. Eine zu starke Auffächerung würde die Mikrostruktur zunehmend isotrop streuen lassen und damit zu einem stärker matten Erscheinungsbild führen, wodurch kinematische Effekte reduziert werden können. Die Mikrostruktur ist bevorzugt so gestaltet, dass keine Mehrfachreflexionen des (senkrecht) einfallenden Lichts auftreten können, die eine sprunghafte Änderung der reflektierten Helligkeit verursachen. Vorteilhaft sind somit Reliefstrukturen, deren Steigung so klein ist, dass sie lokal mit der makroskopischen Ebene des Sicherheitselementes nur einen Winkel von höchstens 45°, bevorzugt höchstens 30° einschließen.

[0018] Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung

kann der Öffnungswinkel des Lichtkegels, in den der erste Teil des einfallenden Lichts gestreut reflektiert wird, über den Intensitätsverlauf des reflektierten Lichts definiert werden. Der Öffnungswinkel kann dabei als der Winkelbereich verstanden werden, innerhalb dessen die reflektierte Intensität mindestens 10 % des maximalen Reflexionsintensitätswertes beträgt. Der Intensitätsverlauf kann hierbei insbesondere glockenförmig oder glockenförmig angenähert ausgebildet sein.

[0019] Im Sinne der vorliegenden Anmeldung kann ein transmittierter Lichtanteil als im Wesentlichen ungestreut angesehen werden, wenn die transmittierte Intensität ein Intensitätsmaximum in einer Haupttransmissionsrichtung aufweist und der Winkelbereich, innerhalb dessen die transmittierte Intensität mindestens 10 % des maximalen Transmissionsintensitätswertes beträgt, höchstens 4° , vorzugsweise höchstens 2° , weiter vorzugsweise höchstens 1° , beträgt.

[0020] Mit anderen Worten kann der erste Teil des einfallenden Lichts in Reflexion in einen im Vergleich hierzu deutlich größeren Winkelbereich gestreut werden, während der zweite Teil des einfallenden Lichts in Transmission in einem über die 10%-Intensitätsgrenze definierten Winkelbereich gebündelt bleibt, dessen Öffnungswinkel deutlich kleiner ist als der des reflektierten Lichtkegels.

[0021] Das Wellenprofil kann stetig ausgebildet sein. Stetig bedeutet, dass eine Form oder ein Verlauf keine Sprünge, Knicke oder Unterbrechungen aufweist, d. h., dass beispielsweise eine Kurve kontinuierlich verläuft und differenzierbar ist, womit die Kurve keine Unstetigkeitsstellen, mit anderen Worten, keine Lücken, aufweist. Ein Verlauf bezeichnet dabei eine geometrische Erstreckung der Form im Querschnitt. Ein Wellenprofil beschreibt im Sinne der Erfindung eine räumliche oder zeitliche Form einer Welle, charakterisiert durch Merkmale wie Amplitude, Frequenz und Wellenlänge.

[0022] Als Subwellenlängenstruktur werden hier Strukturen verstanden, welche aus Strukturelementen aufgebaut sind, welche sich zumindest in einer Ebene des Sicherheitselements periodisch wiederholen, wobei eine Abmessung des einzelnen Strukturelementes unterhalb der Wellenlänge des verwendeten Lichts liegt. Die periodische Wiederholung der Strukturelemente kann in einer Richtung, also in einer Dimension, erfolgen, oder in zwei Richtungen, also in zwei Dimensionen. Als Subwellenlängenstruktur sind beispielsweise zweidimensional periodische Säulenstrukturen oder zweidimensional periodische Lochstrukturen bekannt, wie sie etwa in der DE 102012 015 900 A1 erläutert werden. Die Säulen ragen dabei von einer Schicht ab, während die Löcher durch Ausnehmungen in einer Schicht realisiert werden. Insofern sind Säulen die Negativform zu den Löchern. Dabei liegt der Durchmesser der Säule bzw. des Lochs in der Lochstruktur unter der Wellenlänge des zur Beleuchtung verwendeten Lichts, in der Regel ist dies sichtbares Licht. Die Höhe der Säule bzw. die Tiefe des Lochs ist so gewählt, dass

sich bestimmte Wellenlängen auslöschen und so das reflektierte Licht (und das gegebenenfalls transmittierte Licht) eine vom einfallenden Licht, in der Regel weißes Licht, andere Farbe hat.

[0023] Weiter sind Subwellenlängengitter bekannt, welche sich zur Farbgebung in Reflexion und auch in Transmission eignen. Metallische Strukturen, welche farbig im Glanzwinkel erscheinen und sich zusätzlich kostengünstig auf Folie prägen lassen, sind in WO 2013/ 053435 A1, DE 10 2011 101 635 A1 und DE 10 2015 008 655 A1 erläutert. Hier kann es sich sowohl um eindimensional als auch um zweidimensional periodische Strukturen handeln. Solche Subwellenlängengitter eignen sich ebenfalls zur Herstellung von Echtfarbenbildern.

[0024] Als Subwellenlängenbereich ist eine Größenordnung zu verstehen, die kleiner ist als die Wellenlänge des verwendeten Lichts, typischerweise im Nanometerbereich. In diesem Bereich kann Licht mit Strukturen interagieren, die kleiner als seine Wellenlänge sind, was zu spezifischen optischen Effekten führen kann.

[0025] Im Sinne der Erfindung kann eine halbtransparente Subwellenlängenstruktur eine halbtransparente Schicht darstellen, welche aus Strukturelementen aufgebaut ist. Mit anderen Worten kann die halbtransparente Schicht aus Strukturelementen ausgebildet sein, wobei die Strukturelemente eine Subwellenlängenstruktur ausbilden. Die Strukturelemente können jeweilige Abmessungen, die unterhalb der Wellenlänge des verwendeten Lichts liegen, aufweisen. Typischerweise sind die Abmessungen der Strukturelemente im Nanometerbereich.

[0026] Die Mehrfachsichtstruktur kann mehrere dünne Schichten, deren Material, Dicke und optische Eigenschaften gezielt zur Erzeugung von Interferenzeffekten gewählt werden, umfassen. Beispielsweise kann die Mehrfachsichtstruktur einem Aluminium-SiO₂-Aluminium-Aufbau aufweisen, wobei die SiO₂-Schicht als optische Abstandsschicht dient, um Phasenverschiebungen zwischen den an den Aluminium-Spiegelschichten reflektierten Lichtwellen zu erzeugen. Diese Interferenzeffekte können zu konstruktiven und destruktiven Mustern führen, die das reflektierte Farbspektrum bestimmen. Dadurch kann der sogenannte Color-Shift-Effekt realisiert werden, bei dem sich eine wahrgenommene Farbe in Abhängigkeit vom Betrachtungswinkel ändert.

[0027] "Überlagert" beschreibt in diesem Kontext, dass ein Element, beispielsweise eine halbtransparente Schicht bzw. Struktur (Subwellenlängenstruktur oder eine Schicht) derart einer Kontur bzw. einem Verlauf eines zweiten Elements (Mikrostruktur) folgt, dass es sich eng an die Form anpasst und deren räumlichen Verlauf mitnimmt, ohne diesen selbst zu verändern. Dieses Folgen der Kontur ist unabhängig davon, ob diese flach oder gekrümmt oder eine sonstige Form aufweist. Bevorzugt ist die Schichtdicke der halbtran-

sparenten Schicht konstant, sodass die Mikrostruktur in mindestens einer der beiden Oberflächen der halbtransparenten Schicht vorliegt oder auch in beiden Oberflächen der Schicht vorliegt. Dabei kann das Element oder die obere Schicht durch direktes Aufbringen, beispielsweise durch Beschichten, oder durch einen Übertragungsprozess überlagert, mit anderen Worten angebracht, werden. Die Subwellenlängenstruktur mit Strukturelementen im Nanometerbereich kann somit mit einer Mikrostruktur überlagert sein. Mit anderen Worten kann eine Nanostruktur einer Mikrostruktur folgen. Die erste dielektrische Schicht und die zweite dielektrische Schicht betten die halbtransparente Schicht, die der Mikrostruktur überlagert ist, ein. Mit anderen Worten folgen auch jeweils der halbtransparenten Schicht angrenzende Oberflächen der ersten dielektrischen Schicht und der zweiten dielektrischen Schicht der Mikrostruktur.

[0028] Der Begriff "Struktur" bezeichnet im Sinne der Erfindung nicht ausschließlich eine regelmäßige oder flächige Anordnung, sondern kann sich auch auf ein körperhaftes oder plastisches Gebilde beziehen, das sich durch bestimmte physikalische, optische oder funktionale Eigenschaften auszeichnet. "Struktur" umfasst somit auch mehrschichtige Aufbauten, z. B. farbbgebende Mehrschichtsysteme, Subwellenlängenstrukturen, als auch reliefartige oder volumenhafte Formationen, die funktionale Eigenschaften erzeugen, beispielsweise Mikrolinsen, Mikrospiegel, Nanogitter. Eine Struktur kann auch ein komplexes, 3D-gebildeartiges Element sein, das sich beispielsweise aus mehreren funktionalen Schichten oder Materialzonen zusammensetzt.

[0029] Die erste und zweite halbtransparente Schicht können aus dem gleichen Material ausgebildet sein. Die Schichten können jeweils aus einem metallischen Material ausgebildet sein, wie beispielsweise Aluminium, Silber, Kupfer, Palladium, Gold, Chrom, Nickel und/oder Wolfram sowie deren Legierungen. Die dazwischen liegende dielektrische Schicht kann beispielsweise aus ZnS , SiO_x , TiO_2 , Ta_2O_5 oder MgF_2 ausgebildet sein.

[0030] Die erste und die zweite dielektrische Schicht der Schichtstruktur können aus dem gleichen Material ausgebildet sein und können somit einen jeweiligen Brechungsindex aufweisen, der gleich sein kann. Die zwischen den dielektrischen Schichten eingebettete halbtransparente Schicht, die der Mikrostruktur überlagert ist, kann einen von den Brechungsindizes der dielektrischen Schichten unterschiedlichen Brechungsindex aufweisen.

[0031] Die Schichtdicke der halbtransparenten Schicht ist wesentlich kleiner als der mittlere Abstand von zwei benachbarten Erhebungen bzw. Vertiefungen der Mikrostruktur. Der erste Schichtaufbau kann in Reflexion eine Aufstreuung des einfallenden Lichts bewirken. Die Charakteristik der Streuung hängt von der Topologie der Mikrostruktur ab. Die Grenzfläche der halb-

transparenten Schicht kann entsprechend der Strukturgröße entweder refraktiv oder diffraktiv wirken, um das einfallende Licht in einen Lichtkegel zu streuen. In Transmission wird dabei das einfallende Licht nicht abgelenkt. Mit anderen Worten wird, wenn der Brechungsindex der dielektrischen Materialien gleich ist, das einfallende Licht in Transmission lediglich in Abhängigkeit des Brechungsindex der halbtransparenten Schicht versetzt. Der Austrittswinkel des transmittierten Lichts und der Eintrittswinkel des einfallenden Lichts sind dann gemäß dem Snell'schen Gesetz gleich. Bei einer verwölbten Schicht ist das Gesetz noch gültig, wenn ein Lichtpfad in etwa dieselben Steigungen an einem oberen Auftreffpunkt an der Schicht und an einem unteren Auftreffpunkt der Schicht durchläuft. Somit ist gewährleistet, dass auch feinste Strukturen von Motiven in Transmission noch erkennbar sind.

[0032] Das Wellenprofil der Mikrostruktur kann als ein Wellenberg oder eine Senke ausgebildet sein. In diesem Zusammenhang bezeichnet ein "Wellenberg" einen Hochpunkt der Mikrostruktur, bei dem die Oberfläche der Mikrostruktur über dem mittleren Niveau liegt, während eine "Senke" eine Vertiefung darstellt, in dem die Oberfläche unterhalb des durchschnittlichen Niveaus verläuft. Ein Wellenberg kann gekrümmt ausgebildet sein. Eine Senke kann gekrümmt ausgebildet sein. Ein Wellenberg kann als Anordnung einer Vielzahl linear verlaufender Abschnitte ausgebildet sein, wobei jeweils benachbarte Abschnitte eine unterschiedliche Steigung aufweisen. Eine Senke kann als Anordnung einer Vielzahl linear verlaufender Abschnitte ausgebildet sein, wobei jeweils benachbarte Abschnitte eine unterschiedliche Steigung aufweisen.

[0033] Unter dem ersten, gestreut reflektierten Teil eines einfallenden Lichtes und dem zweiten, im Wesentlichen ungestreut, transmittierten Teil des einfallenden Lichtes, sind spektrale Teile des einfallenden Lichts zu verstehen. Der erste Teil bezeichnet somit einem spektralen Anteil des einfallenden Lichtes, der beispielsweise winkelabhängig, diffus oder farbverändernd reflektiert bzw. gestreut wird, wodurch eine erste Farbwahrnehmung entsteht. Der zweite Teil ist der durchgelassene spektrale Anteil, der im Wesentlichen ungestreut transmittiert wird und zu einer zweiten Farbwahrnehmung beitragen kann, wobei die Farbwahrnehmung zusätzlich oder alternativ durch weitere Strukturen, beispielsweise eine darunterliegende Schicht, erzeugt werden kann. Mit anderen Worten kann eine zweite Farbe erzeugt werden, sodass beide Farbanteile für den Betrachter unterscheidbar sichtbar sind.

[0034] Durch die Erfindung wird somit ein Sicherheitsmerkmal bereitgestellt, das eine mattierende Wirkung der Farbe in Reflexion durch Streuung einfallenden Lichts ermöglicht, während das Licht in Transmission im Wesentlichen ungestreut bleibt. Im Gegensatz zu bekannten Methoden der Lichtaufstreuung bleibt somit die Transmission unbeeinflusst. Hochaufgelöste Motive sind dadurch in Transmission klar erkennbar.

Die geringere Aufstreuung in Transmission kann dabei gezielt dazu genutzt werden, dass ein Mikromotiv oder ein verstecktes Sicherheitsmerkmal in Transmission in Erscheinung tritt. Das versteckte Sicherheitsmerkmal kann in Reflexion aufgrund der dort bewirkten Streuung des einfallenden Lichts nicht oder nur unscharf erkennbar sein und demgegenüber in Transmission deutlich hervortreten. Das Mikromotiv kann in der Mikrostruktur und/oder in einer Nanostruktur der ersten Schichtstruktur ausgebildet sein. Insbesondere kann das Mikromotiv eine Strukturgröße von kleiner als 100 μm aufweisen. Ein derartiges Mikromotiv kann beispielsweise mikroskopisch erkennbar sein und aufgrund der geringeren Aufstreuung in Transmission nur in Transmission eindeutig wahrgenommen werden, während es in Reflexion infolge der Streuung verschwindet oder verschwindet.

[0035] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Sicherheitsmerkmal eine zweite Schichtstruktur, wobei die halbtransparente Schicht einer Planarstruktur überlagert ist, wobei die Planarstruktur einen ebenen glatten Verlauf aufweist, und wobei die zweite Schichtstruktur dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren. Es ist denkbar, dass die halbtransparente Schicht, die der Planarstruktur überlagert ist, unterschiedlich zu der halbtransparenten Schicht ausgebildet ist, die der Mikrostruktur überlagert ist. Die der ersten Schichtstruktur und der zweiten Schichtstruktur überlagerten Subwellenstrukturen können unterschiedliche Profilgeometrien aufweisen. Eine Profilgeometrie beschreibt in diesem Sinne eine Periodizität und/oder einen Profillequerschnitt der jeweiligen Subwellenstruktur. Es ist aber auch denkbar, dass die erste Schichtstruktur und die zweite Schichtstruktur identische Subwellenlängenstruktur umfassen, und dass ein Motiv in Reflexion durch ein unterschiedliches Streuverhalten in der ersten Schichtstruktur und der zweiten Schichtstruktur ausgebildet wird.

[0036] Die zweite Schichtstruktur kann angrenzend zur ersten Schichtstruktur angeordnet sein. Somit kann die erste Schichtstruktur beispielsweise nicht überlappend zur zweiten Schichtstruktur angeordnet sein. Damit sind in Aufsicht die erste Schichtstruktur und die zweite Schichtstruktur nebeneinander anstatt übereinander angeordnet.

[0037] Die zweite Schichtstruktur umfasst dabei die halbtransparente Schicht, die erste dielektrische Schicht und die zweite dielektrische Schicht. Die zweite Schichtstruktur unterscheidet sich von der ersten Schichtstruktur lediglich durch eine Planarstruktur, also eine als eben (flach) ausgebildete Struktur, der die halbtransparente Schicht überlagert ist. Im Gegensatz dazu ist die erste Schichtstruktur mit einer gewellten halbtransparenten Schicht überlagert. Der Begriff "Struktur" ist nicht zwingend als strukturiert zu verste-

hen ist, sondern stellt eine Form dar, d.h. die Form der Planarstruktur beziehungsweise eine Komposition mehrerer Schichten der jeweiligen ersten oder zweiten Schichtstruktur.

[0038] Ein Verlauf beschreibt in diesem Sinne eine kontinuierliche Erstreckung der Planarstruktur im Querschnitt. Eben bedeutet, dass eine Form oder ein Verlauf flach und nicht gekrümmt ist. Glatt bedeutet, dass eine Form oder ein Verlauf gekrümmt sein kann, aber differenzierbar ist und somit keine Unstetigkeit, mit anderen Worten keine Knicke, aufweist. Die Planarstruktur weist somit einen nicht gekrümmten Verlauf ohne Knicke auf.

[0039] Die Planarstruktur kann somit als eine im Wesentlichen ebene und glatte Struktur beschrieben werden, bei der keine signifikanten Erhebungen, Vertiefungen oder Knicke vorhanden sind. In diesem Zusammenhang bezeichnet die Planarstruktur eine Oberfläche, die weitgehend homogen und flach ist, sodass das Licht nicht in verschiedene Richtungen gestreut wird, sondern überwiegend reflektiert wird. Mit anderen Worten lässt sich die Planarstruktur als regelmäßig und symmetrisch ausgebildet charakterisieren, wodurch keine diffusionsartigen Streueffekte auftreten und stattdessen ein klar definierter Reflexionseffekt beobachtet wird. Die Oberfläche weist daher keine wiederkehrenden Reliefmuster auf, die eine optische Beugung verursachen könnten, sondern sorgt für eine konsistente und kontrollierte Lichtreflexion.

[0040] Die erste Schichtstruktur kann mit der zweiten Schichtstruktur kombiniert werden. Mit anderen Worten können die Mikrostruktur und die Planarstruktur derart kombiniert werden, dass sie aneinander angrenzen. Die Kombination der Mikrostruktur mit der Planarstruktur kann beispielsweise in Gestalt eines Motivs ausgebildet sein. Die Mikrostruktur kann beispielsweise in Gestalt eines Motivs, wie eine Zahl oder ein Symbol, ausgebildet sein, wobei einfallendes Licht gestreut wird. Die Planarstruktur kann das durch die Mikrostruktur gebildete Symbol komplementär umgeben und einen kontrastierenden Raum erzeugen, indem das einfallende Licht reflektiert und nicht gestreut wird. Mit anderen Worten kann die die Mikrostruktur umgebende Planarstruktur als komplementärer Rahmen fungieren, der das zentrale Motiv der Planarstruktur visuell abgrenzt und zugleich betont.

[0041] Gemäß einer Ausführungsform betragen die Brechungsindizes der ersten und der zweiten dielektrischen Schicht ungefähr 1.5. Vorzugsweise unterscheiden sich Brechungsindizes der dielektrischen Schichten um nicht mehr als 0.2. Die geringe Variation der Spiegelschichten kann eine konsistente Interferenzwirkung zwischen den Schichten, wodurch stabile optische Eigenschaften erzielt werden, bewirken. Durch die enge Abstimmung der Brechungsindizes können unerwünschte Streueffekte minimiert und präzise Farbabstimmungen realisiert werden. Das dielektrische Material kann beispielsweise aus Polymeren oder

auch SiO_2 ausgebildet sein. Das dielektrische Material ist bevorzugt ein UV Prägelack, mit anderen Worten ein Polymer, der sich auf einer Kunststoffolie befindet.

[0042] Gemäß einer Ausführungsform weist das Wellenprofil eine aperiodische Abfolge von Wellenbergen und dazwischen befindlichen Senken auf, wobei ein jeweiliger Höhenunterschied zwischen benachbarten Wellenbergen der Mikrostruktur kleiner als $10\text{ }\mu\text{m}$ ist, und wobei ein mittlerer Abstand zwischen benachbarten Wellenbergen zwischen $2\text{ }\mu\text{m}$ und $80\text{ }\mu\text{m}$ liegt. Durch die Spanne von $2\text{ }\mu\text{m}$ bis $80\text{ }\mu\text{m}$ kann jedes optisch wahrnehmbare Detail eines Motivs innerhalb eines Lichtkegels gestreut werden, da dadurch jede einzelne Streueinheit eine Mindestfläche von ca. $4\text{ }\mu\text{m}^2$ abdeckt. Liegt der Abstand zu klein, könnte es zu einer Überlagerung und damit zu ungewollten optischen Effekten kommen; ist er zu groß, bleiben Bereiche ungestreut und Streuelemente könnten körnig wirken. Durch die Abstände wird erreicht, dass ein gesamter Bereich homogen beleuchtet wird, ohne dass einzelne Streuelemente isoliert erkennbar sind. Gleichzeitig orientiert sich die Obergrenze an der Auflösung des menschlichen Auges, sodass die Mikrostruktur nicht als körnige Textur wahrgenommen wird.

[0043] Aperiodisch bedeutet, dass sich eine Form oder ein Verlauf nicht in festen Intervallen wiederholt und sich unvorhersehbar oder aperiodisch über die Zeit oder den Raum ändert. Ein Wellenprofil mit einer aperiodischen Abfolge von Wellenbergen und dazwischen befindlichen Senken kann somit als eine unregelmäßige Abfolge von Wellenbergen und/oder Senken ausgebildet sein. Die Wellenberge und/oder Senken können sich dabei, ohne eine periodische Wiederholung aufzuweisen, in Höhe und/Breite unterscheiden, wobei die Abfolge der Wellenberge und Senken keine Lücken aufweist. Die Mikrostruktur kann als zweidimensionale Struktur, die im Querschnitt ein Wellenprofil mit einer aperiodischen Abfolge von Wellenbergen und dazwischen befindlichen Senken aufweist, ausgebildet sein.

[0044] Mit anderen Worten lässt sich die Mikrostruktur auch als unregelmäßig, asymmetrisch und kontinuierlich variierend beschreiben, wodurch keine wiederkehrende Periodizität erkennbar ist und keine spektrale Lichtaufspaltung entsteht bzw. keine regenbogenfarbigen Säume zu erkennen sind. Sie kann wellenartige, zufällige Reliefmuster mit fließenden Übergängen aufweisen, was eine diffusionsartige Lichtstreuung ermöglichen kann und optische Beugungseffekte minimieren kann. Durch die Mikrostruktur kann ein homogenes Streuverhalten erzeugt werden, das durch fehlende regelmäßige Wiederholungsmuster unerwünschte Beugungseffekte minimiert. Die optische Rückstreuung kann durch die Mikrostruktur kontrolliert moduliert werden, wodurch stabile und diffusionsbasierte Reflexionseffekte erzielt werden können, die insbesondere in Sicherheitsanwendungen und optischen Filtern von Bedeutung sind. Zudem kann die optische Kohärenz zwischen den angrenzenden dielektrischen

Schichten optimiert werden.

[0045] Die aperiodische Abfolge von Wellenbergen und Senken kann als aperiodische Anordnung von linear verlaufenden Abschnitten ausgebildet sein, wobei jeweils benachbarte Abschnitte eine unterschiedliche Steigung aufweisen. Mit anderen Worten können die Wellenberge und Senken jeweils aus einer Vielzahl linear verlaufender Abschnitte ausgebildet sein, wobei die Abschnitte jeweils eine unterschiedliche Steigung aufweisen. Das Wellenprofil kann als Facettenstruktur ausgebildet sein. Eine Facettenstruktur beschreibt in diesem Sinne eine Sägezahnstruktur, die aus mehreren, nebeneinander angeordneten, linear verlaufenden Facetten zusammengesetzt ist, welche jeweils asymmetrisch geneigt sind und dadurch ein sägezahnartiges Wellenprofil bilden. Mit anderen Worten, kann die aperiodische Abfolge von Wellenbergen und Senken als Abfolge von steil ansteigenden und flach abfallenden Abschnitten ausgebildet sein. Die halbtransparente Schicht kann den steil ansteigenden Abschnitten der Facettenstruktur überlagert sein.

[0046] Die Wellenberge und Senken können jeweils aus einer kombinierten Anordnung gekrümmter Abschnitte und linear verlaufender Abschnitte, die zueinander jeweils eine unterschiedliche Steigung aufweisen, ausgebildet sein.

[0047] Gemäß einer Ausführungsform weist die Mehrfachsichtstruktur eine Schichtdicke kleiner als $1\text{ }\mu\text{m}$ auf. Falls die Mehrfachsichtstruktur eine höhere oder niedrigere Brechzahl als die sie umgebende erste und/oder zweite dielektrische Schicht hat, kann dies zu Brechungseffekten und gegebenenfalls Totalreflexionen an den Grenzflächen, also den Übergängen der Schichten der Mehrfachsichtstruktur, führen. Die Schichtdicke kann somit derart gewählt werden, dass bestimmte Reflexionseigenschaften erzielt werden, insbesondere wenn die Schichtdicke kleiner als die Wellenlänge des Lichts ist. Wenn ein Lichtstrahl durch eine dünne Schicht in eine andere Schicht eintritt und wieder austritt, kann sich ein lateraler Versatz d , der von der Schichtdicke h und den Winkeln der einfallenden und austretenden Strahlen abhängt, mit $d = \tan(\theta)$ ergeben. Der Winkel θ ist dabei der zum Lot gemessene Eintrittswinkels des Lichtstrahls. Falls die Schichtdicke sehr klein ist, beispielsweise kleiner $1\text{ }\mu\text{m}$, kann der laterale Versatz entsprechend klein sein, was bedeutet, dass Licht fast direkt durch die Struktur transmittiert werden kann, ohne große seitliche Ablenkungen zu erzeugen. Dadurch ist gewährleistet, dass hochauflösende Motive in Transmission klar erkennbar sind.

[0048] Gemäß einer Ausführungsform sind die Brechungsindizes jeweils benachbarter Schichten der Mehrfachsichtstruktur unterschiedlich. Der erste Brechungsindex der ersten halbtransparenten Spiegelschicht kann sich von dem dritten Brechungsindex der eingebetteten dielektrischen Schicht unterscheiden. Der zweite Brechungsindex der zweiten halbtransparenten Spiegelschicht kann sich von dem dritten Bre-

chungsindex der eingebetteten dielektrischen Schicht unterscheiden. Der erste Brechungsindex der ersten halbdurchsichtigen Spiegelschicht kann sich nicht von dem zweiten Brechungsindex der zweiten halbdurchsichtigen Spiegelschicht unterscheiden.

[0049] Die variierenden Brechungsindizes in der Mehrschichtstruktur lassen sich nutzen, um durch Interferenzeffekte eine farbverändernde Wirkung zu erzielen. Durch eine gezielte Abfolge von hoch- und niedrigbrechenden Schichten können Reflexions- und Transmissionsverhalten derart beeinflusst, dass die wahrgenommene Farbe je nach Betrachtungswinkel wechselt. Der Brechungsindexunterschied zwischen den Schichten hat somit einen Einfluss auf die Intensität der Interferenzeffekte, sodass sich präzise Farbverschiebungen für Sicherheitsmerkmale, holographische Effekte oder dekorative Anwendungen realisieren lässt.

[0050] Gemäß einer Ausführungsform liegen die Perioden der halbdurchsichtigen Subwellenlängenstruktur in einem Bereich zwischen 100 nm und 500 nm. Die Struktur der Perioden im Bereich von 100 nm bis 500 nm orientiert sich maßgeblich an den Wellenlängen des sichtbaren Lichts, sodass bei Perioden unterhalb der Lichtwellenlänge keine höheren Beugungsordnungen entstehen. Diese Dimensionierung ermöglicht es, die Subwellenlängenstruktur als quasi-homogenes Medium zu nutzen, das selektiv bestimmte Wellenlängen reflektiert oder transmittiert. Gleichzeitig wird durch die Wahl dieses Bereichs sichergestellt, dass unerwünschte Beugungseffekte minimiert und optische Interferenzeffekte präzise gesteuert werden können. Durch die Kombination aus Interferenzbedingungen und Brechungsindexunterschieden lassen sich so spezifische Farbverschiebungen, wie sie in Color-Shift-Elementen erwünscht sind, realisieren.

[0051] Gemäß einer Ausführungsform weist die halbdurchsichtige Subwellenlängenstruktur laterale variierende Bereiche auf. Die halbdurchsichtige Subwellenlängenstruktur kann laterale variierende Bereiche aufweisen, bei denen sich beispielsweise die Periodizität, Form oder Materialzusammensetzung unterscheiden kann. Solche lateralen Variationen ermöglichen es, lokal unterschiedliche optische Eigenschaften zu erzielen, wodurch gezielt Beugungsmuster, Interferenzeffekte oder Farbenwechsel erzeugt werden können.

[0052] Zudem können die hier beschriebenen Strukturen bereichsweise demetallisiert sein, sodass das Licht in diesen Bereichen ungehindert transmittiert wird, um einen sogenannten Cleartext auszubilden. Weiterhin sind auch Kombinationen dieser Strukturen mit bekannten Hologrammstrukturen, Mikrospiegelanordnungen oder lichtabsorbierende Mottenaugen- oder Mikrokavitätenstrukturen möglich.

[0053] Hologrammstrukturen sind dabei optische Elemente, die durch Erzeugen eines Interferenzmusters aus kohärenten Lichtstrahlen realisiert werden; sie erzeugen ein Bild, das bei Betrachtung aus unterschiedlichen Richtungen variiert. Dabei wird das einfallende

Licht in verschiedene Beugungsordnungen aufgeteilt. Mikrospiegelanordnungen bestehen aus einer Vielzahl kleiner Spiegel, die in festgelegten Mustern angeordnet sind und das Licht in definierte Richtungen reflektieren; das reflektierte Licht bildet dabei ein bei unterschiedlichen Betrachtungswinkeln veränderliches Muster. Lichtabsorbierende Mottenaugen- oder Mikrokavitätenstrukturen beruhen auf nanostrukturierten Oberflächen, die das Licht in bestimmten Bereichen absorbieren; sie erzeugen dadurch definierte optische Kontraste beispielsweise innerhalb eines Motivs oder eines Echtfarbenbilds, ohne das gesamte Licht zu reflektieren.

[0054] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Sicherheitselement, das zumindest einen Bereich mit einem Sicherheitsmerkmal gemäß dem oben genannten Aspekt der Erfindung umfasst. Das Sicherheitselement kann beispielsweise als Folienelement ausgeführt sein, das mehrere Sicherheitsmerkmale aufweist. Die Sicherheitsmerkmale können unterschiedlich sein.

[0055] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Wertdokument mit zumindest einem Sicherheitselement gemäß dem oben genannten Aspekt der Erfindung. Das Wertdokument kann beispielsweise eine Banknote sein, die mehrere Sicherheitselemente mit jeweils zumindest einen Bereich mit einem Sicherheitsmerkmal umfasst.

[0056] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Echtheitsprüfung eines Wertdokuments gemäß dem oben genannten Aspekt der Erfindung, wobei eine Reflexions- und/oder Transmissionscharakteristik einer auf zumindest ein Sicherheitsmerkmal einfallenden Laserstrahlung ausgewertet wird.

[0057] Laserstrahlung bezeichnet dabei einen kohärenten, monochromatischen Lichtstrahl, der durch stimulierte Emission in einer Laserdiode erzeugt wird. Vorzugsweise wird eine rote Laserdiode verwendet, die Licht im Bereich von etwa 635 nm bis 750 nm emittiert. Abhängig von dem zu verifizierenden Sicherheitsmerkmal kann auch eine Laserdiode mit anderen Wellenlängen eingesetzt werden, beispielsweise Grün (490 nm bis 575 nm), Orange bis Gelb (575 nm bis 635 nm) oder Blau (405 nm bis 490 nm).

[0058] Die Reflexions- und/oder Transmissionscharakteristik der auf das Sicherheitsmerkmal fallenden Laserstrahlung kann detailliert ausgewertet werden. Dabei können charakteristische Interferenzmuster und/oder spektrale Signaturen analysiert werden, die auf die ausgeführte Schichtdicke der Mehrschichtstruktur und/oder einen spezifischen Brechungsindexunterschied zurückzuführen sind. Alternativ können durch die Laserstrahlung optische Signaturen einer Subwellenlängenstruktur erzeugt werden, die ebenfalls zur sicheren Verifizierung der Echtheit des Wertdokuments herangezogen werden können.

[0059] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Sicherheitsmerkmals gemäß dem oben genannten Aspekt der Erfindung, wobei eine erste Schichtstruktur gebildet wird, bei der

zwischen einer ersten dielektrischen Schicht mit einem ersten Brechungsindex, und einer zweiten dielektrischen Schicht mit einem zweiten Brechungsindex, eine Mikrostruktur, die als ein stetiges Wellenprofil ausgebildet ist, eingebettet wird, wobei der Mikrostruktur eine halbttransparente Schicht überlagert wird, die eine halbttransparente Subwellenlängenstruktur, die ein regelmäßiges Gitter mit Perioden im Subwellenlängenbereich ist; oder eine farbgebende halbttransparente Mehrschichtstruktur, umfassend eine erste halbttransparente Schicht mit einem ersten Brechungsindex; eine zweite halbttransparente Schicht mit einem zweiten Brechungsindex; und eine zwischen den halbttransparenten Schichten eingebettete dielektrische Schicht mit einem dritten Brechungsindex, wobei die erste Schichtstruktur dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes gestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren.

[0060] Die Herstellung von Sicherheitsmerkmalen erfolgt heute über eine Vielzahl hochpräziser Verfahren, die es ermöglichen, sowohl Mikro- als auch Subwellenlängenstrukturen in sogenannte Prägestempel einzubringen und somit fälschungssichere Elemente im Prägeverfahren kostengünstig herzustellen. Bei der sogenannten Originalherstellung werden Mikrostrukturen bevorzugt im Laser-Direktbelichtungsverfahren direkt in einen Fotolack (Photoresist) geschrieben, um präzise Reliefmuster zu erzeugen. Ein derartiger Prozess, in dem ein Material unmittelbar durch einen Laser modifiziert wird, ist in WO 2016/188619 A1 beschrieben.

[0061] Alternativ kann die Mikrostruktur auch durch ein holographisches Interferenzverfahren hergestellt werden, bei dem mehrere kohärente Lichtstrahlen ein Interferenzmuster erzeugen, das in den Fotolack eingebracht wird. Dieses Verfahren ermöglicht die Erzeugung regelmäßiger, periodischer Strukturen mit hoher Auflösung.

[0062] Zur Erzeugung von Subwellenlängenstrukturen, kann ein photolithographisches Verfahren genutzt werden, das in Kombination mit einer e-Beam-basierten Photolithographie erfolgt. Bei dieser Methode, bei der ein hochfokussierter Elektronenstrahl (e-Beam) verwendet wird, um extrem feine Muster in resist- oder polymerbeschichteten Materialien zu schreiben, können Strukturen im Subwellenlängenbereich präzise realisiert werden. Die Methode wird beispielsweise in US 2013 052373A1 beschrieben.

[0063] Nach der Erzeugung der Originalmuster, also der Mikrostruktur und der Subwellenlängenstruktur, können diese durch Verfahren wie eine galvanische Abformung repliziert werden. Unter galvanischer Abformung versteht man ein elektrolytisches Verfahren, bei dem das jeweilige Originalmuster als Vorlage dient und durch gezielte Metallabscheidung mittels Elektrolyse exakte Kopien erstellt werden. Alternativ erfolgt die Reproduktion durch Abformen mit Photopolymeren, also durch den Einsatz lichtempfindlicher Kunststoffe, die

nach Bestrahlung aushärten und als Duplikationsform dienen.

[0064] Um beide Strukturtypen - Mikrostrukturen und Subwellenlängenstrukturen - zu kombinieren, kann ein Soft-Mold Nanoimprint Verfahren eingesetzt werden. Bei diesem Verfahren wird ein weicher, elastischer Stempel verwendet, der das gewünschte Muster trägt, um es mittels Druck in ein Prägesubstrat zu übertragen. Das Prägesubstrat ist dabei das Ausgangsmaterial, das beispielsweise eine Folie oder ein Papier sein kann, das für die weitere Verarbeitung vorbereitet wurde. Alternativ kann auch ein Verfahren unter Anwendung des Zwei-Photonenabsorptionsprozesses gewählt werden. Dieser Prozess nutzt nichtlineare optische Effekte, bei denen Material, aufgrund der simultanen Absorption von zwei Photonen modifiziert wird, um dreidimensionale, hochpräzise Strukturen in einem einzigen Schritt zu erzeugen.

[0065] Die belichteten Originalmuster können nach der Entwicklung des Fotolacks galvanisch oder unter der Verwendung von Photopolymeren, beispielsweise Poromere, in eine mechanisch stabile Matrice umkopiert. In der Anwendung für die Massenproduktion ist eine Vielfachanordnung der Originalmuster durch Heißprägen oder durch Nanoimprint auf einer Matrice erforderlich, um einen sogenannten Prägezylinder für eine spätere Vervielfältigung herzustellen. Solche Prägezylinder erlauben schließlich eine kontinuierliche Vervielfältigung der Originalmuster in UV-Lack oder Heißprägen auf Folien in einem Rolle-zu-Rolle Prozess. Hier kommen als Abformverfahren Heißprägen oder Nano-Casting in UV-Lack in Frage.

[0066] Nach der Prägung, die beispielsweise durch Heißprägen oder Nanoimprint-Techniken erfolgt, wird die geprägte Folie mittels Bedampfungsverfahren weiter modifiziert. Hierbei kommen Methoden wie Elektronenstrahl-Bedampfen, thermisches Verdampfen oder Sputtern zum Einsatz, um dünne metallische oder dielektrische Schichten aufzubringen. Vor dem Bedampfen kann zudem in bestimmten Bereichen Waschfarbe aufgedruckt werden. Unter Waschfarbe ist ein Druckmaterial zu verstehen, das nachfolgend wieder entfernt wird, um demetallisierte Bereiche zu erzeugen. Alternativ werden diese Bereiche durch eine Laserdemetallisierung selektiv entfernt.

[0067] Die beschriebenen Methoden und die damit verbundenen Prozessschritte sind unter anderem in den Veröffentlichungen WO2016188619A1, US2013052373A1, WO2014012667A1 und WO2017148575A1 dokumentiert, welche die technischen Details und Vorteile der jeweiligen Ansätze umfassend darstellen.

[0068] Als metallisches Material können Metalle, wie beispielsweise Aluminium, Silber, Kupfer, Palladium, Gold, Chrom, Nickel und/oder Wolfram sowie deren Legierungen eingesetzt werden. Als dielektrische Materialien können beispielsweise ZnS, SiO_x, TiO₂, Ta₂O₅ oder MgF₂ eingesetzt werden. Polymere oder anorga-

nische Beschichtungen können ebenfalls zum Einsatz kommen, ebenso Materialkombinationen und hochmolekulare Polymere. Nach dem Bedampfen kann die Struktur einkaschiert bzw. mit einer Deckfolie geschützt werden.

[0069] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Verfahren ein Ausbilden einer zweiten Schichtstruktur, bei der zwischen den dielektrischen Schichten eine Planarstruktur, die als eine im Wesentlichen durchgehend glatte, zweidimensionale Struktur ohne Krümmung ausgebildet ist, eingebettet wird, wobei die entsprechende Subwellenlängenstruktur oder Mehrfachschichtstruktur der Planarstruktur überlagert ist, und wobei die zweite Schichtstruktur dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0070] Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Schichtstruktur eines erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmals;

Fig. 2a eine schematische Darstellung einer Schichtstruktur eines Sicherheitsmerkmals gemäß einer Ausführungsform mit einer farbgebenden halbtransparenten Mehrfachschichtstruktur;

Fig. 2b eine schematische Darstellung einer Schichtstruktur eines Sicherheitsmerkmals gemäß einer weiteren Ausführungsform mit einer halbtransparenten Subwellenlängenstruktur;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Schichtstruktur eines Sicherheitsmerkmals gemäß einer Ausführungsform mit einer halbtransparenten Subwellenlängenstruktur, die einer Kombination einer Mikrostruktur mit einer Planarstruktur überlagert ist;

Fig. 4a und 4b schematische Darstellungen eines Sicherheitsmerkmals mit unterschiedlichen Schichtstrukturen;

Fig. 5a bis 5c und 6 weitere schematische Darstellungen einer jeweiligen Schichtstruktur gemäß Ausführungsformen.

Detaillierte Beschreibung von Ausführungsformen

[0071] Wie in Fig. 1a dargestellt, umfasst das Sicherheitsmerkmal 100 eine erste Schichtstruktur 10. Die

Schichtstruktur 10 umfasst eine erste dielektrische Schicht 12a mit einem ersten Brechungsindex n_1 und eine zweite dielektrische Schicht 12b mit einem zweiten Brechungsindex n_2 . Die dielektrischen Schichten 12a, 12b sind aus UV-Prägelack ausgebildet, wobei der Brechungsindex beider Schichten ungefähr 1.5 beträgt, sodass ein Einfallswinkel eines auf die erste dielektrische Schicht 12a einfallenden Lichtes I im Wesentlichen einem Austrittswinkel des an der zweiten dielektrischen Schicht 12b austretenden transmittierten Lichts T entspricht. Zwischen der ersten dielektrischen Schicht 12a und der zweiten dielektrischen Schicht 12b ist eine halbtransparente Schicht 16 eingebettet. Die halbtransparente Schicht 16 ist einer Mikrostruktur 14 überlagert.

[0072] Ein erster Teil des einfallenden Lichtes I wird von der ersten Schichtstruktur 10 als aufgestreutes Licht S reflektiert. Einfallendes paralleles Licht wird von der ersten Schichtstruktur 10 in einen Lichtkegel mit einem Öffnungswinkel in einer Raumrichtung zwischen 5° und 30° gestreut reflektiert. Ein zweiter Teil des einfallenden Lichtes I wird im Wesentlichen ungestreut transmittiert T. Zwischen der ersten dielektrischen Schicht 12a und der zweiten dielektrischen Schicht 12b ist eine halbtransparente Schicht 16 eingebettet. Die Mikrostruktur 14 weist ein stetiges Wellenprofil auf. Die Mikrostruktur 14 ist als eine aperiodische Abfolge von Wellenbergen und dazwischen befindlichen Senken ausgebildet. Ein jeweiliger Höhenunterschied zwischen benachbarten Wellenbergen der Mikrostruktur 14 ist kleiner als $10\text{ }\mu\text{m}$. Ein mittlerer Abstand zwischen benachbarten Wellenbergen liegt zwischen $2\text{ }\mu\text{m}$ und $80\text{ }\mu\text{m}$.

[0073] Wie in Figur 2a dargestellt, umfasst die erste Schichtstruktur 10 eine halbtransparente Schicht 16, die als eine farbgebende halbtransparente Mehrfachschichtstruktur 22 ausgebildet ist. Die Mehrfachschichtstruktur 22 weist eine Schichtdicke kleiner als $1\text{ }\mu\text{m}$ auf. Die farbgebende halbtransparente Mehrfachschichtstruktur 22 umfasst eine erste halbtransparente Spiegelschicht 24a mit einem ersten Brechungsindex n_{S1} , eine zweite halbtransparente Spiegelschicht 24b mit einem zweiten Brechungsindex n_{S2} und eine zwischen der ersten halbtransparenten Spiegelschicht 24a und der zweiten halbtransparenten Spiegelschicht 24b eingebettete dielektrische Schicht 26 mit einem dritten Brechungsindex n_{S3} . Die erste halbtransparente Spiegelschicht 24a und die zweite halbtransparente Spiegelschicht 24b sind aus Aluminium ausgebildet. Die dielektrische Schicht 26 ist aus SiO_2 ausgebildet. Jeweils benachbarten Brechungsindizes n_{S1} , n_{S2} , n_{S3} der Mehrfachschichtstruktur 22 sind unterschiedlich. Der Brechungsindex n_{S1} der ersten halbtransparenten Spiegelschicht 24a unterscheidet sich vom Brechungsindex n_{S3} der eingebetteten dielektrischen Schicht 26. Der Brechungsindex n_{S2} der zweiten halbtransparenten Spiegelschicht 24b unterscheidet sich vom Brechungsindex n_{S3} der eingebetteten dielektrischen

Schicht 26.

[0074] Die Mehrfachsichtstruktur 22 bewirkt charakteristische Interferenz- und Reflexionseffekte, womit ein optischer Eindruck, beispielsweise wie Farbe, Helligkeit oder Glanz - abhängig vom Betrachtungswinkel variiert. Ein Teil des einfallenden Lichtes I wird von der ersten Schichtstruktur 10 als aufgestreutes Licht S reflektiert. Ein zweiter Teil des einfallenden Lichtes I wird im Wesentlichen bezüglich des Austrittswinkels ungestreut transmittiert T.

[0075] Wie in Figur 2b dargestellt, umfasst die erste Schichtstruktur 10 eine halbtransparente Schicht 16, die als eine Subwellenlängenstruktur 18 ausgebildet ist. Die Subwellenlängenstruktur 18 ist als regelmäßiges Gitter mit Perioden im Subwellenlängenbereich ausgebildet. Die Perioden der halbtransparenten Subwellenlängenstruktur 18 liegen in einem Bereich zwischen 100 nm bis 500 nm. Die Subwellenlängenstruktur 18 bewirkt charakteristische Interferenz- und Reflexionseffekte, womit ein optischer Eindruck, beispielsweise wie Farbe, Helligkeit oder Glanz - abhängig vom Betrachtungswinkel variieren kann. Ein Teil des einfallenden Lichtes I wird von der ersten Schichtstruktur 10 als aufgestreutes Licht S reflektiert. Der zweite Teil des einfallenden Lichtes I wird im Wesentlichen ungestreut transmittiert T. Die Subwellenlängenstruktur 18 ist der Mikrostruktur 14 überlagert. Die Subwellenlängenstruktur kann sowohl eindimensional als auch zweidimensional periodisch sein.

[0076] Wie in Figur 3 dargestellt, umfasst das Sicherheitsmerkmal 100 neben der ersten Schichtstruktur 10 eine zweite Schichtstruktur 30. Die zweite Schichtstruktur 30 ist angrenzend zur ersten Schichtstruktur 10 angeordnet. Die erste Schichtstruktur 10 und die zweite Schichtstruktur 30 umfassen jeweils eine erste dielektrische Schicht 12a und eine zweite dielektrische Schicht 12b. Zwischen der jeweiligen ersten dielektrischen Schicht 12a und der jeweiligen zweiten dielektrischen Schicht 12b ist eine jeweilige halbtransparente Schicht 16 eingebettet. Die in der ersten Schichtstruktur 10 eingebettete halbtransparente Schicht 16 ist einer Mikrostruktur 14 überlagert. Die in der zweiten Schichtstruktur 30 eingebettete halbtransparente Schicht 16 ist einer Planarstruktur 34 überlagert. Die Mikrostruktur 14 in der ersten Schichtstruktur 10 ist als stetiges Wellenprofil, mit einer aperiodischen Abfolge von Wellenbergen und dazwischen befindlichen Senken, ausgebildet. Die Planarstruktur 34 in der zweiten Schichtstruktur 30 weist einen ebenen glatten Verlauf auf. Die in der ersten Schichtstruktur 10 durch die Mikrostruktur 14 überlagerte halbtransparente Schicht 16 und die in der zweiten Schichtstruktur 30 durch die Planarstruktur 34 überlagerte halbtransparente Schicht 16 fließend ineinander übergehend angeordnet. Die halbtransparente Schicht 16 in der ersten Schichtstruktur 10 ist als Subwellenlängenstruktur 18 ausgebildet. Die Subwellenlängenstruktur 18 in der ersten Schichtstruktur 10 ist der Mikrostruktur 14 überlagert. Die halbtransparente

Schicht 16 in der zweiten Schichtstruktur 30 ist als Subwellenlängenstruktur 18 ausgebildet. Die Subwellenlängenstruktur 18 in der zweiten Schichtstruktur 30 ist der Planarstruktur 34 überlagert. Ein erster Teil eines einfallenden Lichtes I wird von der ersten Schichtstruktur 10 als aufgestreutes Licht S reflektiert. Ein zweiter Teil des einfallenden Lichtes I wird von der ersten Schichtstruktur 10 im Wesentlichen ungestreut transmittiert T. Ein weiterer erster Teil des einfallenden Lichtes I wird im Bereich der zweiten Schichtstruktur 30 ohne das Licht zu streuen reflektiert R. Ein weiterer zweiter Teil des einfallenden Lichtes I wird in diesem Bereich im Wesentlichen ungestreut transmittiert T.

[0077] Die Figuren 4a und 4b zeigen Sicherheitsmerkmale 100 mit ersten Schichtstrukturen 10 und zweiten Schichtstrukturen 30. Figur 4a zeigt eine erste Schichtstruktur 10 in Form eines zentralen Sterns 10, der einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes I als gestreutes Licht S reflektiert und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes I als im Wesentlichen ungestreutes Licht T transmittiert. Den Stern 10 bzw. die erste Schichtstruktur 10 umgibt eine zweite Schichtstruktur 30. Die zweite Schichtstruktur 30 reflektiert einen weiteren ersten Teil des einfallenden Lichtes I als ungestreutes Licht R, wobei ein weiterer zweiter Teil des einfallenden Lichtes I als im Wesentlichen ungestreutes Licht T transmittiert wird. Figur 4b zeigt ein Sicherheitsmerkmal 100 mit einer zusätzlichen, unterschiedlichen zweiten Schichtstruktur 40, die als optischer Effekt erkennbar ist. Die zusätzliche, unterschiedliche zweite Schichtstruktur 40 ist in Form eines Sterns 40 als optischer Effekt erkennbar. Die erste Schichtstruktur 10 ist in Form eines Euro-Symbols 10 erkennbar. Die zusätzliche, unterschiedliche zweite Schichtstruktur 40 reflektiert einen weiteren ersten Teil des einfallenden Lichtes I als ungestreutes Licht R', wobei ein weiterer zweiter Teil des einfallenden Lichtes I als im Wesentlichen ungestreutes Licht T transmittiert wird. Die jeweiligen Subwellenstrukturen in den Schichtstrukturen 10, 30, 40 weisen jeweils unterschiedliche Profilgeometrien auf.

[0078] Die Figuren 5a bis 5c zeigen Sicherheitsmerkmale 100 mit ersten Schichtstrukturen 10 und einer Subwellenlängenstruktur im Querschnitt entlang einer Raumrichtung, welche eine jeweils unterschiedlich ausgebildete Verwölbung ihrer Oberfläche aufweist. Wie in Fig. 5a dargestellt, ist das Wellenprofil der Mikrostruktur 14a als eine Senke ausgebildet, so dass eine Lichtstreuung in Reflexion erfolgt. Wie in Fig. 5b dargestellt, ist das Wellenprofil der Mikrostruktur 14b als aperiodische Abfolge von Wellenbergen und Senken ausgebildet. Die Mikrostruktur 14b umfasst eine Vielzahl linear verlaufender Abschnitte, die eine unterschiedliche Steigung aufweisen. Wie in Fig. 5c dargestellt, ist das Wellenprofil der Mikrostruktur 14c aus einer kombinierten Anordnung gekrümmter Abschnitte und linear verlaufender Abschnitte, die zueinander jeweils eine unterschiedliche Steigung aufweisen, ausgebildet. Wie in Fi-

gur 6 dargestellt, umfasst die erste Schichtstruktur 10 eine Mikrostruktur 14d, die als Facettenstruktur mit einer Abfolge von steil ansteigenden und flach abfallenden Abschnitten ausgebildet ist. Der Mikrostruktur 14d ist eine Subwellenlängenstruktur 18 überlagert. Die Subwellenlängenstruktur 18 ist mit einer Dreifach-Beschichtung aus zwei halbtransparenten Metallschichten 50a, 50b und einer dazwischenliegenden dielektrischen Abstandsschicht 52 überzogen. Der Einfachheit halber ist in diesen Beispielen jeweils eine Subwellenlängenstruktur mit konstanten Strukturparametern dargestellt. Diese Erfindung umfasst jedoch auch Subwellenlängengitter, bei denen die Periode und die Profilparameter lateral variieren. Weiterhin ist in dieser Erfindung eingeschlossen, dass die dargestellten Sicherheitsmerkmale in der zweiten Raumrichtung der Ebene ebenfalls eine Vorwölbung aufweisen, welche entweder gleich oder ungleich zur Verwölbung in der ersten Raumrichtung ausgeprägt sein kann.

Patentansprüche

1. Sicherheitsmerkmal (100) für ein Wertenkument mit einer ersten Schichtstruktur (10), umfassend

eine erste dielektrische Schicht (12a) mit einem ersten Brechungsindex (n_1);
eine zweite dielektrische Schicht (12b) mit einem zweiten Brechungsindex (n_2);
eine zwischen der ersten dielektrischen Schicht (12a) und der zweiten dielektrischen Schicht (12b) eingebettete halbtransparente Schicht (16), die einer Mikrostruktur (14) überlagert ist, wobei die Mikrostruktur (14) ein Wellenprofil aufweist, wobei die halbtransparente Schicht (16) ausgebildet ist als:

eine halbtransparente Subwellenlängenstruktur (18), die ein regelmäßiges Gitter mit Perioden im Subwellenlängenbereich ist; oder

eine farbgebende halbtransparente Mehrfachschichtstruktur (22), umfassend eine erste halbtransparente Schicht (24a) mit einem ersten Brechungsindex (n_{S1}); eine zweite halbtransparente Schicht (24b) mit einem zweiten Brechungsindex (n_{S2}); und eine zwischen den halbtransparenten Schichten (24a, 24b) eingebettete dielektrische Schicht (26) mit einem dritten Brechungsindex (n_{S3}), und

wobei die erste Schichtstruktur (10) dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil (S) eines einfallenden Lichtes (I) in einem Lichtkegel mit einem Öffnungswinkel zwischen 5° und 30° , vorzugsweise zwischen 5° und 20° , gestreut zu

reflektieren und einen zweiten Teil (T) des einfallenden Lichtes (I) im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren.

2. Sicherheitsmerkmal nach Anspruch 1, mit einer zweiten Schichtstruktur (30),

wobei die halbtransparente Schicht (16) einer Planarstruktur (34) überlagert ist, wobei die Planarstruktur (34) einen ebenen glatten Verlauf aufweist, und

wobei die zweite Schichtstruktur (30) dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil (R) eines einfallenden Lichtes (I) im Wesentlichen ungestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil (T) des einfallenden Lichtes (I) im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren.

3. Sicherheitsmerkmal nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Brechungsindizes (n_1 , n_2) der ersten (12a) und der zweiten dielektrischen Schicht (12b) ungefähr 1.5 betragen.

4. Sicherheitsmerkmal nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Wellenprofil eine aperiodische Abfolge von Wellenbergen und dazwischen befindlichen Senken aufweist, wobei ein jeweiliger Höhenunterschied zwischen benachbarten Wellenbergen der Mikrostruktur (14) kleiner als $10 \mu\text{m}$ ist, und wobei ein mittlerer Abstand zwischen benachbarten Wellenbergen zwischen $2 \mu\text{m}$ und $80 \mu\text{m}$ liegt.

5. Sicherheitsmerkmal nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Mehrfachschichtstruktur (22) eine Schichtdicke kleiner als $1 \mu\text{m}$ aufweist.

6. Sicherheitsmerkmal nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Brechungsindizes (n_{S1} , n_{S2} , n_{S3}) jeweils benachbarter Schichten (24a, 24b, 26) der Mehrfachschichtstruktur (22) unterschiedlich sind.

7. Sicherheitsmerkmal nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Perioden der halbtransparenten Subwellenlängenstruktur (18) in einem Bereich zwischen 100 nm bis 500 nm liegen.

8. Sicherheitsmerkmal nach Anspruch 7, wobei die halbtransparente Subwellenlängenstruktur (18) lateral variierende Bereiche aufweist.

9. Sicherheitselement, das zumindest einen Bereich mit einem Sicherheitsmerkmal nach einem der Ansprüche 1 bis 8 umfasst.

10. Wertenkument mit zumindest einem Sicherheitselement nach Anspruch 9.

11. Verfahren zur Echtheitsprüfung eines Wertdokuments nach Anspruch 10, wobei eine Reflexions- und/oder Transmissionscharakteristik einer auf zumindest ein Sicherheitsmerkmal einfallenden Laserstrahlung ausgewertet wird. 5
12. Verfahren zum Herstellen eines Sicherheitsmerkmals nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei eine erste Schichtstruktur gebildet wird, bei der zwischen einer ersten dielektrischen Schicht mit einem ersten Brechungsindex, und einer zweiten dielektrischen Schicht mit einem zweiten Brechungsindex, eine Mikrostruktur, die als ein stetiges Wellenprofil ausgebildet ist, eingebettet wird, wobei der Mikrostruktur eine halbtransparente Schicht überlagert wird, die eine halbtransparente Subwellenlängenstruktur, die ein regelmäßiges Gitter mit Perioden im Subwellenlängenbereich ist; oder eine farbgebende halbtransparente Mehrschichtstruktur, umfassend eine erste halbtransparente Schicht mit einem ersten Brechungsindex; eine zweite halbtransparente Schicht mit einem zweiten Brechungsindex; und eine zwischen den halbtransparenten Schichten eingebettete dielektrische Schicht mit einem dritten Brechungsindex, wobei die erste Schichtstruktur dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes in einem Lichtkegel mit einem Öffnungswinkel zwischen 5° und 30° , vorzugsweise zwischen 5° und 20° , gestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren. 10 15 20 25 30
13. Verfahren zum Herstellen eines Sicherheitsmerkmals nach Anspruch 12, wobei eine zweite Schichtstruktur gebildet wird, bei der zwischen den dielektrischen Schichten eine Planarstruktur, die als eine im Wesentlichen durchgehend glatte, zweidimensionale Struktur ohne Krümmung ausgebildet ist, eingebettet wird, wobei die entsprechende Subwellenlängenstruktur oder Mehrschichtstruktur der Planarstruktur überlagert ist, und wobei die zweite Schichtstruktur dazu eingerichtet ist, einen ersten Teil eines einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu reflektieren und einen zweiten Teil des einfallenden Lichtes im Wesentlichen ungestreut zu transmittieren. 35 40 45

50

55

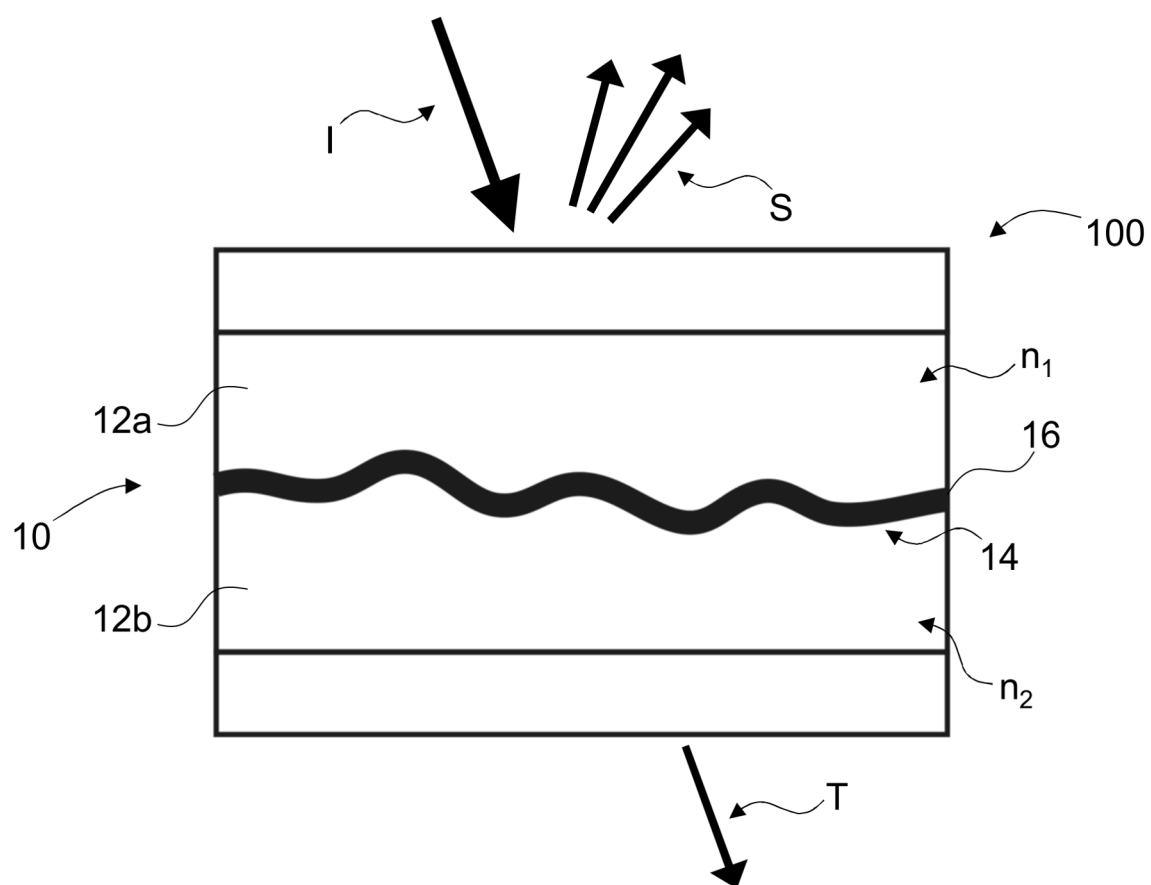
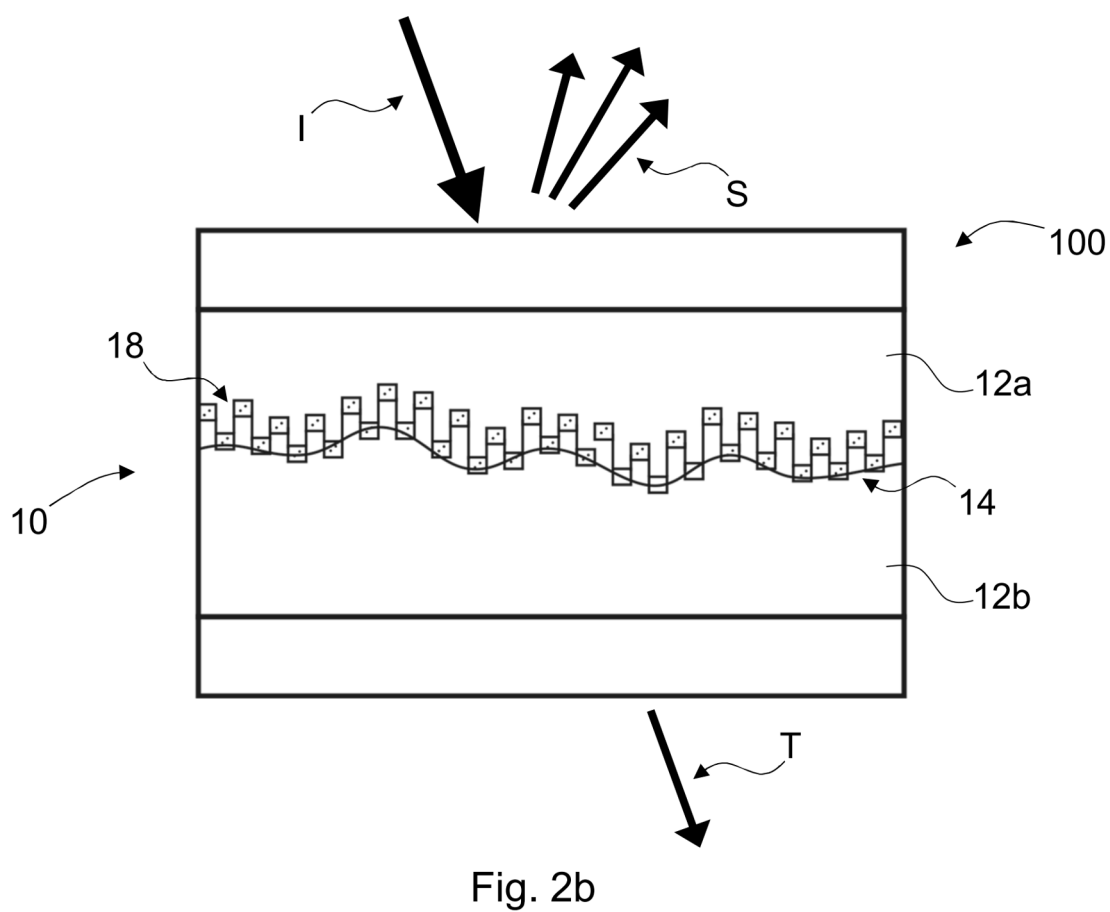
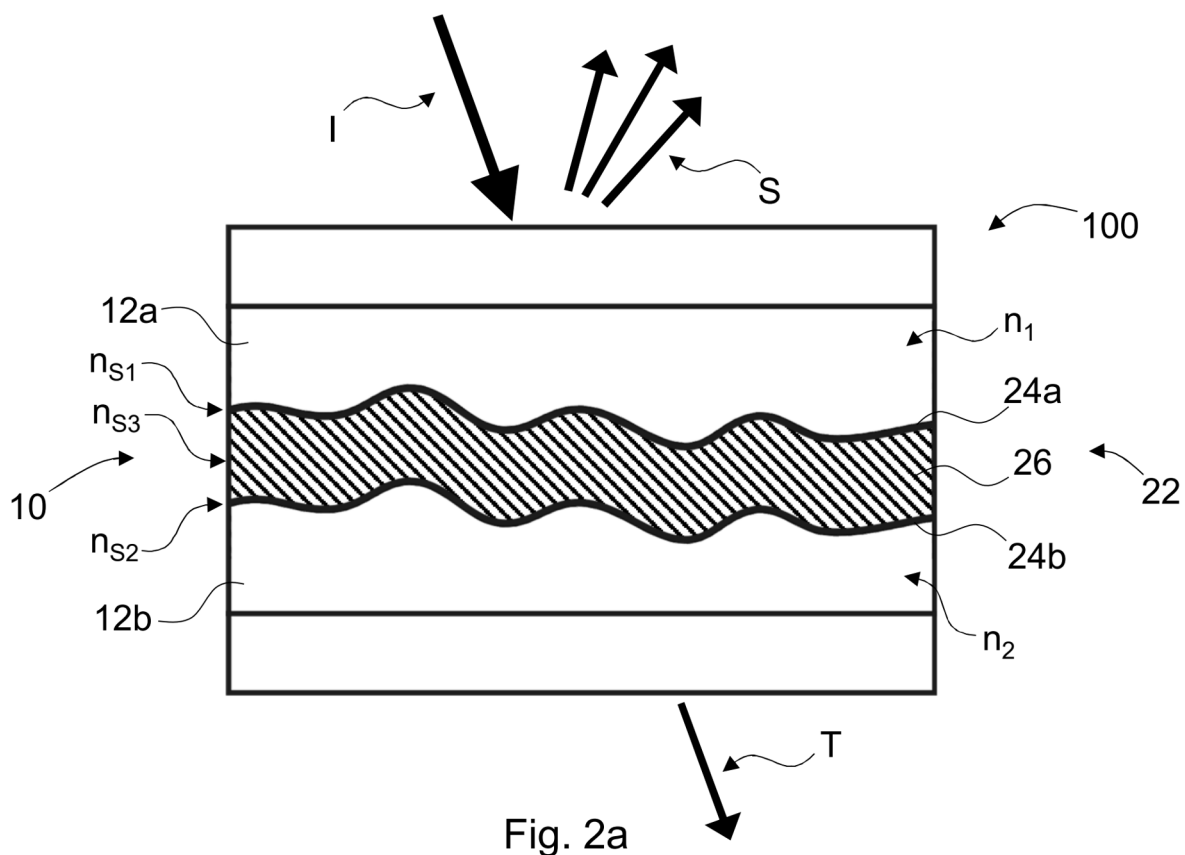


Fig. 1



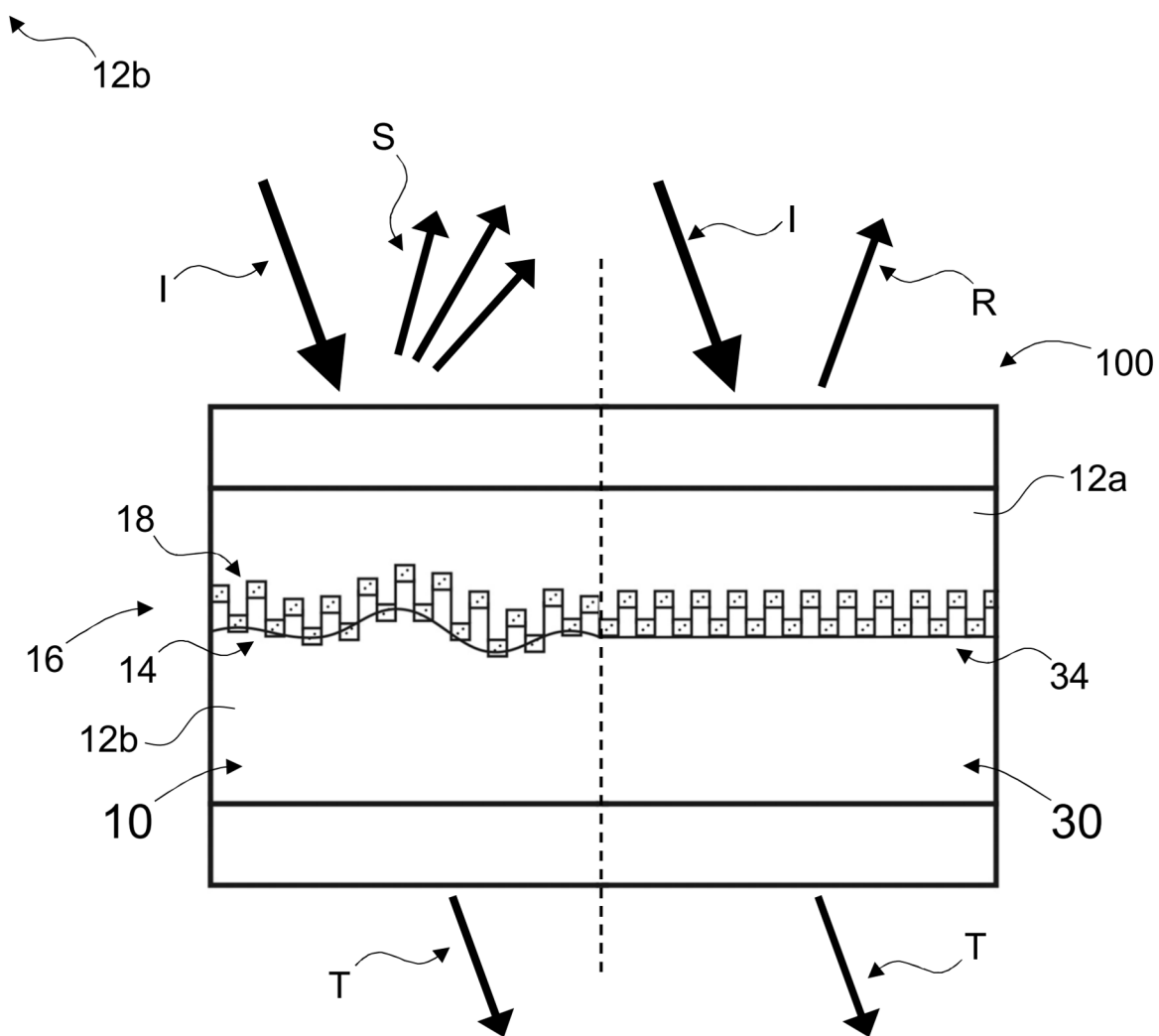


Fig. 3

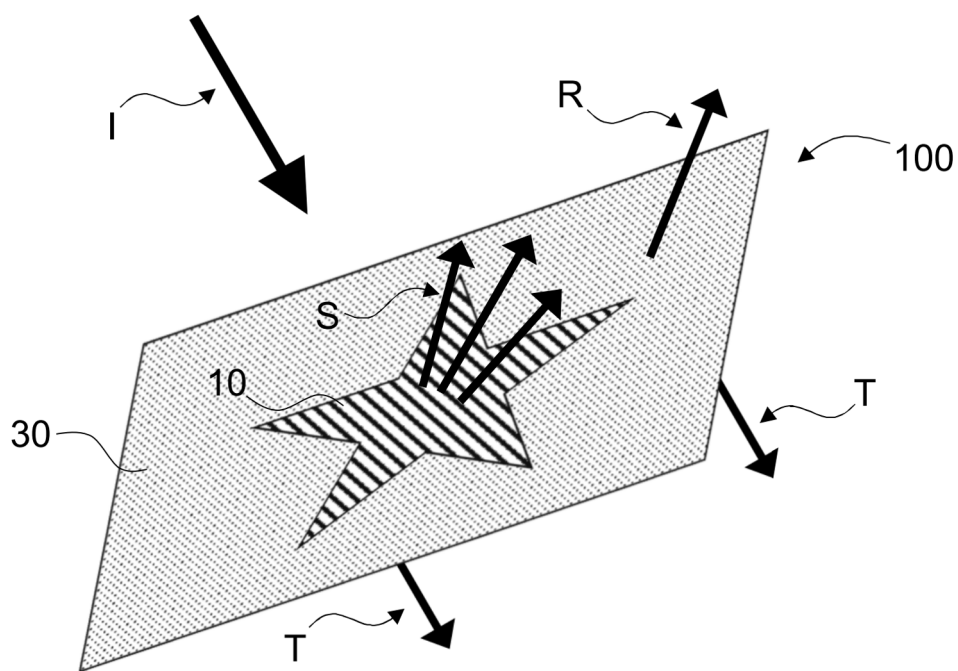


Fig. 4a

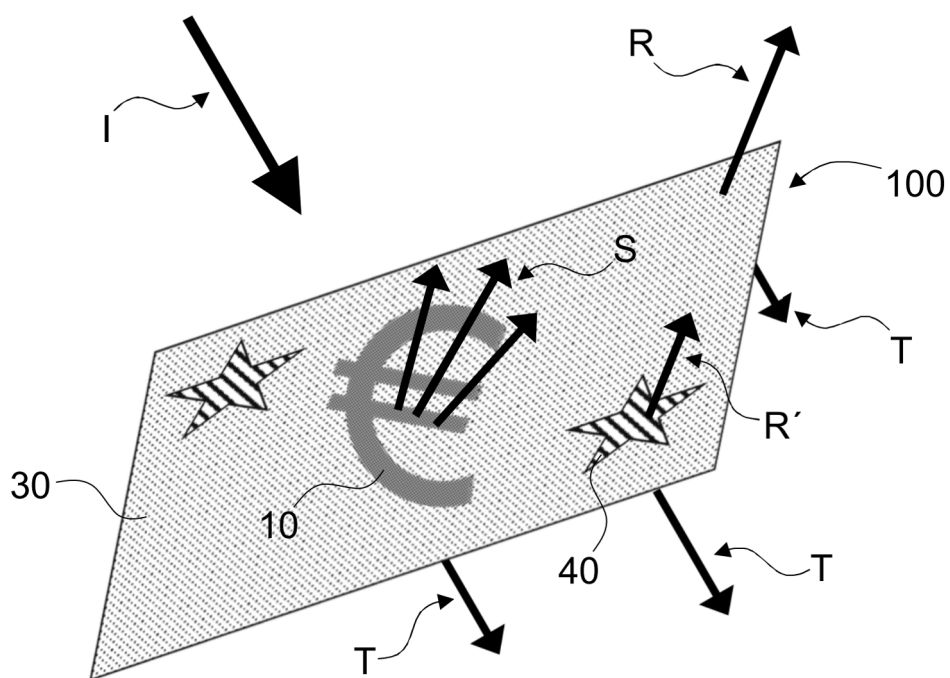


Fig. 4b

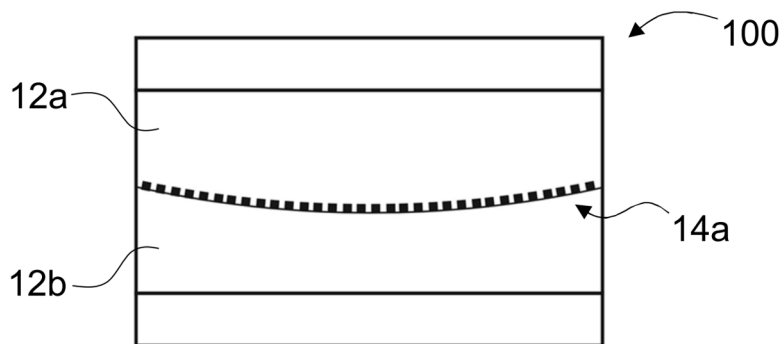


Fig. 5a

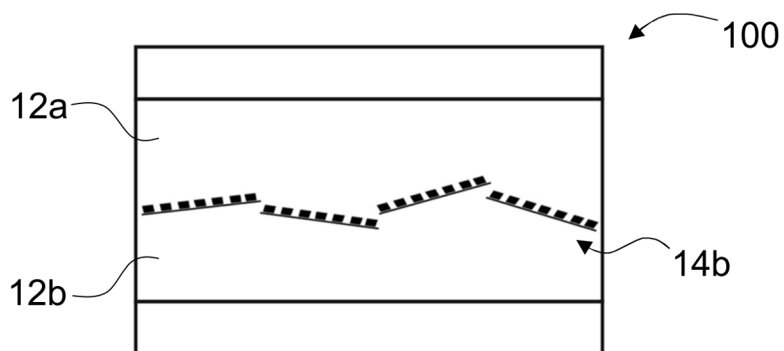


Fig. 5b

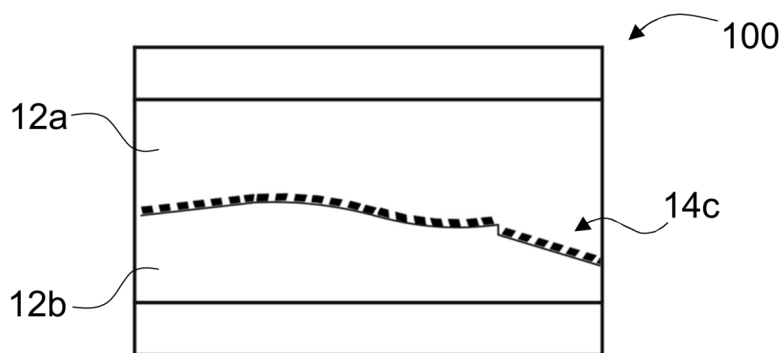


Fig. 5c

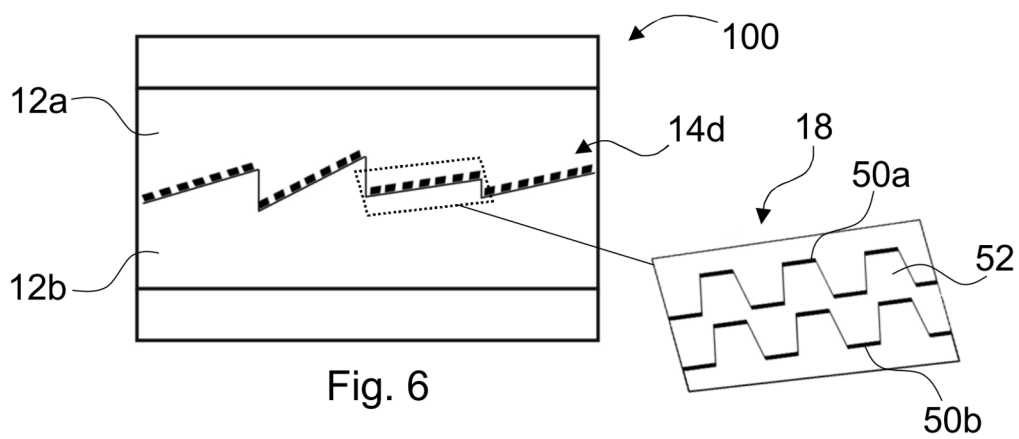


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 26 17 1929

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P24C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	DE 10 2015 008655 A1 (GIESECKE & DEVRIENT GMBH [DE]) 5. Januar 2017 (2017-01-05) * Absätze [0005] - [0015] * * Absätze [0027] - [0032]; Abbildungen 1-3 *	1-3,5-13	INV. B42D25/324 B42D25/36 B42D25/328 B42D25/351
X	DE 10 2020 005522 A1 (GIESECKE & DEVRIENT CURRENCY TECHNOLOGY GMBH [DE]) 10. März 2022 (2022-03-10) * Absätze [0008] - [0012], [0016], [0025] * * Absätze [0045] - [0054]; Abbildung 2 *	1-13	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B42D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		25. August 2026	Achermann, Didier
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 26 17 1929

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-08-2026

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015008655 A1	05-01-2017	CN 107743446 A	27-02-2018
		DE 102015008655 A1	05-01-2017
		EP 3317111 A1	09-05-2018
		WO 2017005346 A1	12-01-2017

DE 102020005522 A1	10-03-2022	DE 102020005522 A1	10-03-2022
		EP 3967508 A1	16-03-2022

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2014117938 A1 [0007]
- DE 102004003984 A1 [0008]
- DE 102008046128 A1 [0008]
- US 7446915 B2 [0008]
- EP 1506096 B1 [0008]
- WO 2013053435 A1 [0010] [0023]
- DE 102011101635 A1 [0010] [0023]
- WO 2011082761 A1 [0010]
- DE 102012015900 A1 [0022]
- DE 102015008655 A1 [0023]
- WO 2016188619 A1 [0060] [0067]
- US 2013052373 A1 [0062] [0067]
- WO 2014012667 A1 [0067]
- WO 2017148575 A1 [0067]