

(19)



(11)

EP 3 000 613 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
15.11.2017 Patentblatt 2017/46

(51) Int Cl.:
B42D 25/324^(2014.01) B42D 25/328^(2014.01)

(21) Anmeldenummer: **15002683.9**

(22) Anmeldetag: **16.09.2015**

(54) **OPTISCH VARIABLES SICHERHEITSELEMENT MIT REFLEKTIVEM FLÄCHENBEREICH**

OPTICALLY VARIABLE SECURITY ELEMENT HAVING REFLECTIVE SURFACE AREA

ÉLÉMENT DE SÉCURITÉ OPTIQUE VARIABLE AYANT UNE ZONE DE SURFACE
RÉFLÉCHISSANTE

(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 MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **23.09.2014 DE 102014014079**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.03.2016 Patentblatt 2016/13

(73) Patentinhaber: **Giesecke+Devrient Currency
Technology GmbH
81677 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **Scherer, Maik Rudolf Johann
82491 Grainau (DE)**
• **Fuhse, Christian
83624 Otterfing (DE)**
• **Rahm, Michael
83646 Bad Tölz (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-97/21121 AU-B4- 2013 101 172
DE-A1-102010 049 831**

EP 3 000 613 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisch variables Sicherheitselement zur Absicherung von Wertgegenständen, mit einem Träger mit einem reflektiven Flächenbereich, dessen Ausdehnung eine x-y-Ebene und eine darauf senkrecht stehende z-Achse definiert. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Sicherheitselements und einen entsprechend ausgestatteten Datenträger.

[0002] Datenträger, wie etwa Wert- oder Ausweisdokumente, oder andere Wertgegenstände, wie etwa Markenartikel, werden zur Absicherung oft mit Sicherheitselementen versehen, die eine Überprüfung der Echtheit der Datenträger gestatten und die zugleich als Schutz vor unerlaubter Reproduktion dienen.

[0003] Eine besondere Rolle bei der Echtheitsabsicherung spielen Sicherheitselemente mit betrachtungswinkelabhängigen Effekten, da diese selbst mit modernsten Kopiergeräten nicht reproduziert werden können. Die Sicherheitselemente werden dabei mit optisch variablen Elementen ausgestattet, die dem Betrachter unter unterschiedlichen Betrachtungswinkeln einen unterschiedlichen Bildeindruck vermitteln und beispielsweise je nach Betrachtungswinkel einen anderen Farb- oder Helligkeitseindruck und/oder ein anderes graphisches Motiv zeigen.

[0004] In letzter Zeit werden dabei oft Sicherheitselemente mit kinematischen/ stereographischen Effekten auf Basis von Mikrospiegelstrukturen eingesetzt. Typischerweise erzeugen die Mikrospiegelstrukturen wegen der Größe der Mikrospiegel oberhalb von 5 µm selbst keine Farbeffekte, eine Farbgebung kann jedoch durch eine zusätzliche farbkippende Beschichtung bereitgestellt werden. Die Erzeugung solcher farbkippender Beschichtungen erfolgt in der Regel durch Vakuumbedampfungsverfahren und ist daher zeit- und kostenintensiv. Auch ist die Bandbreite der möglichen Farbeffekte beschränkt. So ist beispielsweise die Farbänderung einer farbkippenden Beschichtung stets isotrop, also unabhängig von der Kipprichtung des Sicherheitselements.

[0005] Dokument DE 10 2010 049 831 offenbart ein Sicherheitselement nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0006] Ausgehend davon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein optisch variables Sicherheitselement der eingangs genannten Art anzugeben, das kostengünstig mit farbgebenden Strukturen ausgestattet werden kann. Idealerweise sollen die farbgebenden Strukturen zudem ein attraktives optisches Erscheinungsbild aufweisen und dem Sicherheitselement hohe Fälschungssicherheit verleihen.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0008] Gemäß der Erfindung ist bei einem gattungsgemäßen Sicherheitselement vorgesehen, dass

- der reflektive Flächenbereich eine Vielzahl von reflektiven Pixeln enthält, die jeweils eine oder mehrere, gleich orientierte reflektive Facetten aufweisen, wobei eine Neigung jeder Facette gegen die x-y-Ebene durch die Angabe ihres normalisierten Normalenvektors bestimmt ist,
- der reflektive Flächenbereich eine durch die x-Achse angegebene Vorzugsrichtung aufweist, so dass mehr als 80% der Facetten des Flächenbereichs einen in der y-z-Ebene liegenden Normalenvektor aufweisen, und
- zumindest ein Teil der Facetten mit einem diffraktiven Gittermuster aus einer Vielzahl von Gitterlinien versehen ist, dessen Gittervektor parallel zur x-Achse liegt.

[0009] Die Wahl der x-Achse bzw. der angesprochenen Vorzugsrichtung ist dabei nicht beliebig, sondern ist vielmehr dadurch eindeutig definiert, dass mehr als 80% der Facetten des Flächenbereichs einen in der y-z-Ebene (also der Ebene senkrecht zur Vorzugsrichtung) liegenden Normalenvektor aufweisen. Wie weiter unten im Detail erläutert, stellt das Sicherheitselement durch die Abstimmung der Orientierung der Facetten des Flächenbereichs und dem Verlauf der Gitterlinien der diffraktiven Gittermuster zwei unterschiedliche Kippeffekte bereit, die bei einer Verkipfung des Sicherheitselements um zueinander orthogonale Kippachsen auftreten und die mit Vorteil vollständig voneinander entkoppelt sind. Insbesondere tritt beim Kippen des Sicherheitselements um die x-Achse als erster Kippeffekt ein kinematischer Effekt in Erscheinung, der in vorteilhaften Gestaltungen nicht von einer Farbänderung, also einem chromatischen Kippeffekt begleitet ist, und beim Kippen des Sicherheitselements um die y-Achse tritt der zweite Kippeffekt in Erscheinung, nämlich ein chromatischer Effekt, der in einer reinen Farbänderung ohne Bewegungseffekt besteht.

[0010] Der Gittervektor eines Gittermusters ist dabei wie üblich ein Vektor, der senkrecht auf den Gitterlinien steht und dessen Betrag die Gitterperiode angibt.

[0011] Insbesondere ist zumindest der Teil der Facetten, die einen in der y-z-Ebene liegenden Normalenvektor aufweisen, mit einem diffraktiven Gittermuster aus einer Vielzahl von Gitterlinien versehen, dessen Gittervektor parallel zur x-Achse liegt.

[0012] Die reflektiven Pixel enthalten vorzugsweise jeweils zwei oder mehr gleich orientierte Facetten, es ist jedoch auch möglich, dass ein Teil der Pixel oder alle Pixel jeweils nur eine Facette enthalten. Zumindest ein Teil der Pixel und/ oder der Facetten ist vorteilhaft mit einem Umriss in Form eines Motivs, insbesondere in Form von Zeichen oder Symbolen ausgebildet. Die besonderen Umrisse können als zusätzliches Echtheitsmerkmal verwendet werden, das nur unter Vergrößerung sichtbar wird. Weiter kann in einen Teil der Pixel oder Facetten zusätzlich ein Mikrotext eingeschrieben sein.

Der Mikrotex kann dabei sowohl auf die Facetten geschrieben sein oder auch anstelle einiger der Facetten auf dem Träger vorliegen.

[0013] In einer bevorzugten Ausgestaltung weisen die Gitterlinien von allen der mit einem diffraktiven Gittermuster versehenen Facetten einen Gittervektor parallel zur x-Achse auf. Die diffraktiven Gittermuster weisen mit Vorteil eine Gitterperiode zwischen 0,3 µm und 4 µm, vorzugsweise zwischen 0,6 µm und 3 µm auf.

[0014] In einer vorteilhaften Erfindungsvariante weisen alle Gittermuster des Flächenbereichs dieselbe Gitterperiode auf. Alternativ kann auch die Gitterperiode einzelner Facetten abweichend gewählt werden, wodurch allerdings der kinematische und der chromatische Kippeffekt teilweise miteinander gekoppelt werden. Beim Kippen um die x-Achse erzeugen die (jeweils hell aufleuchtenden) Facetten mit abweichenden Gitterperioden auch andere Beugungsfarben, so dass es während des kinematischen Effekts zusätzlich zu einer Farbänderung bzw. zu einem chromatischen Effekt kommt. Der chromatische Effekt beruht dabei allerdings nicht auf einer Änderung der Ausbreitungsebene des gebeugten Lichts, wie weiter unter im Detail erläutert, sondern auf einer Änderung der Reflexionsbedingung für die Facetten. Beim Kippen um die y-Achse wird dagegen auch in diesem Fall nur der chromatische Effekt, nicht aber der kinematische Effekt ausgelöst, so dass die orthogonalen Kippeffekte nicht vollständig, sondern nur teilweise miteinander gekoppelt sind.

[0015] Die Facetten sind bevorzugt im Wesentlichen als ebene Flächenelemente ausgebildet. Die Formulierung "im Wesentlichen" trägt dabei der Tatsache Rechnung, dass sich in der Praxis herstellungsbedingt keine perfekt ebenen Flächenelemente erzeugen lassen. Alternativ können die Facetten auch als gekrümmte, insbesondere konkave, konvexe oder gewellte Flächenelemente ausgebildet sein. Der Normalenvektor ändert sich dann über der Flächenausdehnung der Flächenelemente, liegt jedoch stets in der y-z-Ebene. Allgemein lässt sich eine Facette durch die Angabe der Facettenfläche $h(x,y)$ beschreiben, wobei eine ebene Facette eine Facettenfläche der Form

$$h_1(x,y) = c \cdot y + c_0, \quad \text{für } (x,y) \in B$$

mit Konstanten c und c_0 und einem zusammenhängenden Bereich B der x-y-Ebene aufweist. Eine gekrümmte Facette hat allgemein eine Facettenfläche der Form

$$h_2(x,y) = f(y), \quad \text{für } (x,y) \in B$$

mit einer nur von y abhängigen glatten Funktion $f(y)$.

[0016] In einer zweckmäßigen Ausgestaltung sind die

reflektiven Facetten in einem periodischen Raster angeordnet und bilden insbesondere ein Sägezahngritter. Alternativ sind die reflektiven Facetten aperiodisch angeordnet, wobei eine aperiodische Anordnung der Facetten derzeit bevorzugt ist, da dadurch unerwünschte Beugungseffekte, die von einer regelmäßigen Anordnung der Facetten herrühren, vermieden werden können.

[0017] Eine weitere Möglichkeit, unerwünschte Beugungseffekte zu unterdrücken, besteht darin, die Facetten in ihrer Höhe über dem Flächenbereich aperiodisch gegeneinander zu versetzen. Bei einer aperiodischen Versetzung der Facetten gibt es keinen einfachen, regelmäßigen Zusammenhang zwischen den Höhen benachbarter Facetten, so dass eine konstruktive Interferenz des an benachbarten Facetten reflektierten Lichts und damit das Entstehen eines überlagerten Beugungsmusters zuverlässig verhindert werden. Einzelheiten einer solchen aperiodischen Versetzung können der Druckschrift WO 2012/055506 A1 entnommen werden, deren Offenbarungsgehalt insoweit in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

[0018] Die Facetten weisen mit Vorteil in der durch die x-Achse angegebenen Vorzugsrichtung eine Abmessung von 10 µm oder mehr, bevorzugt von 20 µm oder mehr, besonders bevorzugt von 30 µm oder mehr, auf. In der auf der Vorzugsrichtung senkrecht stehenden y-Richtung weisen die Facetten mit Vorteil eine Abmessung zwischen 5 µm und 30 µm, bevorzugt zwischen 7,5 µm und 15 µm auf, und die Höhe der Facetten liegt vorteilhaft zwischen 0 und 10 µm, vorzugsweise zwischen 0 und 5 µm.

[0019] Die reflektiven Facetten weisen in vorteilhaften Gestaltungen eine metallische Beschichtung oder eine hochbrechende Beschichtung auf. Die reflektiven Facetten können jedoch auch eine farbkippende Beschichtung aufweisen.

[0020] Der reflektive Flächenbereich kann in zumindest zwei Teilbereiche unterteilt sein, in denen die Facetten unterschiedliche mittlere Orientierungen aufweisen, wodurch der Bildeindruck beim Kippen um die x-Achse plötzlich wechselt und dadurch ein sogenanntes Flip-Bild entsteht. Die Orientierung der Facetten kann auch in zumindest einem Teilbereich des reflektiven Flächenbereichs einen sich kontinuierlich ändernden Verlauf aufweisen. Auf diese Weise lässt sich ein Wölbeffekt erzeugen, bei dem der reflektive Flächenbereich die Wölbung einer dreidimensionalen Vorlage nachstellt. Beim Kippen um die x-Achse führt die Rotation der Beugungsebenen zu einem stereographischen Effekt, wobei der Eindruck einer spiegelnden und gewölbten Oberfläche entsteht. Beim Kippen um die y-Achse ändern sich die Farbe und/oder die Intensität des nachgestellten Spiegelreflexes.

[0021] Mit Vorteil ist die Orientierung der Facetten so aufeinander abgestimmt, dass das Sicherheitselement beim Kippen um die x-Achse einen Bewegungseffekt, insbesondere einen orthoparallaktischen Bewegungseffekt oder einen stereographischen Effekt zeigt.

[0022] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist ein Teil der Facetten ohne diffraktives Gittermuster ausgebildet. Auf diese Weise kann eine Überstruktur geschaffen werden, die sich durch das unterschiedliche Kippverhalten von Facetten mit und ohne Gittermuster ergibt.

[0023] In einer vorteilhaften Ausgestaltung weisen alle Facetten des Flächenbereichs einen in der y-z-Ebene liegenden Normalenvektor auf. Alternativ kann in einer ebenfalls vorteilhaften Ausgestaltung ein kleiner Anteil von weniger als 20%, insbesondere von weniger als 10% der Facetten des Flächenbereichs einen normalisierten Normalenvektor mit einer im Wesentlichen zufällig gewählten x-Komponente ungleich Null aufweisen. Die Facetten mit einer von Null verschiedenen x-Komponente sind dabei ohne diffraktives Gittermuster ausgebildet. Die zufällig verkippten Facetten leuchten unter bestimmten Kippstellungen jeweils hell und farblos auf und erzeugen dadurch einen visuell attraktiven Glitzereffekt, der den beschriebenen orthogonalen Kippeffekten überlagert ist.

[0024] Ein Sicherheitselement kann auch zwei oder mehr reflektive Flächenbereiche der beschriebenen Art enthalten, welche sich vorzugsweise durch die aufgezeichneten Kipprichtungen und/oder die Gitterkonstante der Gittermuster unterscheiden. Insbesondere kann jeder der reflektiven Flächenbereiche eines Sicherheitselements eine eigene, durch die x-Achse des Flächenbereichs angegebene Vorzugsrichtung aufweisen. Beispielsweise enthält das Sicherheitselement zwei reflektive Flächenbereiche der beschriebenen Art, deren durch die x-Achse des jeweiligen Flächenbereichs angegebene Vorzugsrichtungen aufeinander senkrecht stehen. Beim Kippen des Sicherheitselements um eine der Vorzugsrichtungen zeigt dann einer der beiden Flächenbereiche einen rein kinematischen Kippeffekt, während der andere Flächenbereich einen rein chromatischen Kippeffekt zeigt. Beim Kippen um die orthogonale Vorzugsrichtung vertauschen die beiden Flächenbereiche ihre Rollen.

[0025] Alternativ oder zusätzlich kann das Sicherheitselement zwei oder mehr reflektive Flächenbereiche der beschriebenen Art enthalten, wobei in jedem Flächenbereich alle Gittermuster dieselbe Gitterperiode aufweisen, sich die Gitterperioden unterschiedlicher Flächenbereiche aber unterscheiden.

[0026] Der beschriebene reflektive Flächenbereich kann mit anderen Sicherheitsmerkmalen kombiniert werden, beispielsweise mit Hologrammen, insbesondere Echtfarbenhologrammen, mit Subwellenlängengittern oder anderen Subwellenlängenstrukturen, mit Mikrospiegelanordnungen ohne diffraktive Gitter, oder auch mit Sicherheitsmerkmalen, die auf speziellen Materialeigenschaften, wie elektrischer Leitfähigkeit, magnetischen Eigenschaften, Lumineszenz, Fluoreszenz oder dergleichen basieren. Die anderen Sicherheitsmerkmale können beispielsweise in Lücken des reflektiven Flächenbereichs vorgesehen und mit diesem verschachtelt

sein.

[0027] Schließlich sei bemerkt, dass die angegebenen Bedingungen, dass der Normalenvektor der Facetten in der y-z-Ebene liegt und dass der Gittervektor parallel zur x-Achse liegt, für reale Strukturen natürlich nicht mathematisch exakt erfüllt sein müssen oder können, sondern dass es sich für den Fachmann versteht, dass kleine, beispielsweise fabrikationstechnische unvermeidliche Abweichungen von den mathematisch exakten Bedingungen die beschriebenen Kippeffekte und die Funktionsweise der Sicherheitselemente nicht beeinträchtigen.

[0028] Die Erfindung enthält auch einen Datenträger mit einem Sicherheitselement der beschriebenen Art. Bei dem Datenträger kann es sich insbesondere um ein Wertdokument, wie eine Banknote, insbesondere eine Papierbanknote, eine Polymerbanknote oder eine Folienverbundbanknote, um eine Aktie, eine Anleihe, eine Urkunde, einen Gutschein, einen Scheck, eine hochwertige Eintrittskarte, aber auch um eine Ausweiskarte, wie etwa eine Kreditkarte, eine Bankkarte, eine Barzahlungskarte, eine Berechtigungskarte, einen Personalausweis oder eine Passpersonalisierungsseite handeln.

[0029] Die Erfindung enthält weiter ein Verfahren zur Herstellung eines optisch variablen Sicherheitselements der oben beschriebenen Art, bei dem

- ein Träger bereitgestellt und mit einem reflektiven Flächenbereich versehen wird, dessen Ausdehnung eine x-y-Ebene und eine darauf senkrecht stehende z-Achse definiert,
- wobei der reflektive Flächenbereich mit einer Vielzahl von reflektiven Pixeln ausgebildet wird, die jeweils eine oder mehrere, gleich orientierte reflektive Facetten aufweisen, wobei eine Neigung jeder Facette gegen die x-y-Ebene durch die Angabe ihres normalisierten Normalenvektors bestimmt ist,
- der reflektive Flächenbereich mit einer durch die x-Achse angegebenen Vorzugsrichtung erzeugt wird, so dass mehr als 80% der Facetten des Flächenbereichs einen in der y-z-Ebene liegenden Normalenvektor aufweisen, und
- zumindest ein Teil der Facetten mit einem diffraktiven Gittermuster aus einer Vielzahl von Gitterlinien versehen wird, dessen Gittervektor parallel zur x-Achse liegt.

[0030] Zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Sicherheitselements können die reflektiven Facetten zusammen mit den diffraktiven Gittermustern beispielsweise mittels Graustufenlithographie in einen Fotolack geschrieben, anschließend entwickelt, galvanisch abgeformt, in einen UV-Lack geprägt und verspiegelt werden. Die Verspiegelung kann beispielsweise durch eine aufgebrachte, beispielsweise aufgedampfte Metallschicht

verwirklicht werden. Typischerweise wird dabei eine Aluminiumschicht mit einer Stärke von beispielsweise 50 nm aufgebracht. Natürlich können auch andere Metalle, wie etwa Silber, Kupfer, Chrom, Eisen, Nickel oder Legierungen davon verwendet werden. Auch können alternativ zu Metallen Halbleiter wie etwa Silizium, hochbrechende Beschichtungen, beispielsweise aus ZnS, Al₂O₃ oder TiO₂, oder auch farbkippende Schichten aufgebracht werden. Das Aufbringen, insbesondere Bedampfen kann vollflächig erfolgen, es ist jedoch auch möglich, eine nur bereichsweise bzw. rasterförmige Beschichtung durchzuführen, so dass das Sicherheitselement teilweise transparent bzw. transluzent ist.

[0031] Weitere Ausführungsbeispiele sowie Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand der Figuren erläutert, bei deren Darstellung auf eine maßstabs- und proportionsgetreue Wiedergabe verzichtet wurde, um die Anschaulichkeit zu erhöhen.

[0032] Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Banknote mit einem erfindungsgemäßen optisch variablen Sicherheitselement in Form eines breiten Sicherheitsstreifens,
- Fig. 2 jeweils für einen Abschnitt des Sicherheitselements der Fig. 1 schematisch das vom Betrachter wahrgenommene Erscheinungsbild bei unterschiedlichen Kippstellungen des Sicherheitselements,
- Fig. 3 einen Detailausschnitt des reflektiven Flächenbereichs eines erfindungsgemäßen Sicherheitselements schematisch in Aufsicht,
- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht der beiden Pixel am linken Rand des Detailausschnitts von Fig. 3,
- Fig. 5 einen Ausschnitt eines reflektiven Flächenbereichs eines erfindungsgemäßen Sicherheitselements, bei dem jedes Pixel aus nur einer Facette besteht und bei dem die Pixel bzw. Facetten aperiodisch in der x-y-Ebene angeordnet sind,
- Fig. 6 den reflektiven Flächenbereich eines Sicherheitselements nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung im Querschnitt,
- Fig. 7 ein Sicherheitselement, dessen reflektiver Flächenbereich in zwei Teilbereiche unterteilt ist, in denen die Facetten jeweils eine unterschiedliche mittlere Orientierung aufweisen, und
- Fig. 8 in (a) und (b) jeweils ein Sicherheitselement mit mehreren reflektiven Flächenbereichen, die sich durch die ausgezeichneten Kipprichtun-

gen bzw. die Gitterkonstante der Gittermuster unterscheiden.

[0033] Die Erfindung wird nun am Beispiel von Sicherheitselementen für Banknoten erläutert. Figur 1 zeigt dazu eine schematische Darstellung einer Banknote 10 mit einem erfindungsgemäßen optisch variablen Sicherheitselement 12 in Form eines breiten Sicherheitsstreifens. Es versteht sich allerdings, dass die Erfindung nicht auf Sicherheitsstreifen und Banknoten beschränkt ist, sondern bei allen Arten von Sicherheitselementen eingesetzt werden kann, beispielsweise bei Etiketten auf Waren und Verpackungen oder bei der Absicherung von Dokumenten, Ausweisen, Pässen, Kreditkarten, Gesundheitskarten und dergleichen. Bei Banknoten und ähnlichen Dokumenten kommen neben Sicherheitsstreifen beispielsweise auch Sicherheitsfäden oder Transfer-elemente in Betracht.

[0034] Das in Fig. 1 gezeigte Sicherheitselement 12 zeigt zwei unterschiedliche Kippeffekte, die bei einer Verkipfung 14, 16 des Sicherheitselements um zueinander orthogonale Kippachsen auftreten und die vollständig voneinander entkoppelt sind. Zur Beschreibung dieser orthogonalen, entkoppelten Kippeffekte wird ergänzend auf Fig. 2 Bezug genommen, die jeweils für einen Abschnitt des Sicherheitselements 12 schematisch das vom Betrachter wahrgenommene Erscheinungsbild bei unterschiedlichen Kippstellungen des Sicherheitselements 12 zeigt.

[0035] Das optisch variable Sicherheitselement 12 enthält einen reflektiven Flächenbereich 20, dessen Ausdehnung eine x-y-Ebene definiert, die hier mit der Oberfläche der Banknote 10 zusammenfällt. Die x- und y-Achse der x-y-Ebene stellen dabei zwei ausgezeichnete Kipprichtungen dar, wobei bei Verkipfung um eine der ausgezeichneten Achsen jeweils nur einer der beiden orthogonalen Kippeffekte auftritt. Im Ausführungsbeispiel erstreckt sich die x-Achse entlang der Längskante und die y-Achse entlang der Querkante der Banknote 10. Eine Verkipfung 14 der Banknote nach vorne oder hinten stellt daher eine Verkipfung um die x-Achse dar und wird nachfolgend der Anschaulichkeit halber auch als "Nord-Süd-Verkipfung" bezeichnet. Eine Verkipfung 16 der Banknote nach rechts oder links stellt eine Verkipfung um die y-Achse dar und wird nachfolgend auch als "Ost-West-Verkipfung" bezeichnet. Die z-Achse steht senkrecht auf der x-y-Ebene, so dass das durch die drei Achsen gebildete Koordinatensystem ein Rechtssystem bildet.

[0036] Der Flächenbereich 20 zeigt ein sogenanntes RollingCube-Muster, bei dem in jeder Kippstellung zwei parallele Reihen kleiner Rechtecke 22 zu sehen sind, die, wie in Fig. 1 illustriert, einen bestimmten Abstand voneinander aufweisen und mit einem bestimmten Farbeindruck, beispielsweise mit rotem Farbeindruck, erscheinen.

[0037] Beim Kippen der Banknote um die x-Achse, also einer Nord-Süd-Verkipfung 14 des Sicherheitsele-

ments 12, tritt der erste der beiden angesprochenen Kippeffekte in Erscheinung, nämlich ein kinematischer Effekt, bei dem sich die beiden Rechteck-Reihen 22 ohne Farbänderung entlang der Pfeile 24 der Fig. 1 aufeinander zu bzw. voneinander weg bewegen.

[0038] Beim Kippen der Banknote um die y-Achse, also einer Ost-West-Verkipfung 16 des Sicherheitselements 12, tritt der zweite Kippeffekt in Erscheinung, nämlich ein chromatischer Effekt, bei dem die Rechteck-Reihen 22 ohne Änderung ihres Abstands ihre Farbe verändern, beispielsweise zwischen Rot und Grün.

[0039] Die beiden Kippeffekte werden als orthogonal bezeichnet, da sie beim Kippen um zueinander orthogonale Kippachsen 14, 16 auftreten. Die beiden Kippeffekte sind zudem vollständig entkoppelt, da beim Kippen 14 um die x-Achse nur der kinematische Effekt aber kein chromatischer Effekt auftritt, während beim Kippen 16 um die y-Achse nur der chromatische Effekt, aber kein kinematischer Effekt auftritt.

[0040] Figur 2 illustriert das Erscheinungsbild des Sicherheitselements 12 vor und nach den verschiedenen Verkipfungen 14, 16. Dabei wird von dem Erscheinungsbild der Fig. 1 ausgegangen, das in Fig. 2 links oben als Erscheinungsbild 26-A gezeigt ist und das die Rechteck-Reihen 22 mit großem Abstand und rotem Farbeindruck zeigt.

[0041] Eine Nord-Süd-Verkipfung 14 der Banknote 10 führt zu dem in Fig. 2 links unten gezeigten Erscheinungsbild 26-B, bei dem die Rechteck-Reihen 22 sich ohne Farbänderung für den Betrachter aufeinander zu bewegt haben, also nunmehr bei unverändert rotem Farbeindruck einen geringen Abstand aufweisen. Durch Zurückkippen wird das ursprüngliche Erscheinungsbild 26-A wiederhergestellt. Wird dagegen ausgehend von dem Erscheinungsbild 26-A eine Ost-West-Verkipfung 16 durchgeführt, so ändern die Rechteck-Reihen 22 ihre Farbe, beispielsweise von Rot nach Grün, während die Position der Rechtecke und damit der Abstand der Rechteck-Reihen 22 unverändert bleibt. Es ergibt sich das in Fig. 2 rechts oben gezeigte Erscheinungsbild 26-C mit großem Abstand der Rechteck-Reihen 22 und grünem Farbeindruck. Wird aus dieser Kippstellung eine Nord-Süd-Verkipfung 14 durchgeführt, so bewegen sich die Rechteck-Reihen 22 wieder ohne Farbänderung aufeinander zu, so dass das rechts unten gezeigte Erscheinungsbild 26-D entsteht, bei dem die Rechteck-Reihen bei grünem Farbeindruck einen geringen Abstand aufweisen. Eine weitere (zur ersten Ost-West-Verkipfung entgegengesetzte) Ost-West-Verkipfung 16 führt zurück zum Erscheinungsbild 26-B mit geringem Abstand und rotem Farbeindruck.

[0042] Es versteht sich, dass die Abstandsänderungen und die Farbänderungen der Rechteck-Reihen 22 in der Realität kontinuierlich sind und in Fig. 2 nur zur Illustration auf zwei Abstandswerte und zwei Farbeindrücke beschränkt wurden.

[0043] Weiter ergibt sich aus der beschriebenen Funktionsweise auch, dass eine Verkipfung um eine Achse,

die nicht mit der x- oder y-Achse zusammenfällt, einen kombinierten Kippeffekt bewirkt, der sowohl einen kinematischen als auch einen chromatischen Anteil aufweist. Die Orientierung der x- und y-Achse in der Ebene des Flächenbereichs 20 ist gerade durch die ausgezeichneten Kippachsen für die Verkipfungen 14, 16 definiert, bei denen ein rein kinematischer Effekt (Verkipfung 14) bzw. ein rein chromatischer Effekt (Verkipfung 16) auftreten. Im Ausführungsbeispiel liegen diese ausgezeichneten Kippachsen parallel zu den Kanten des Sicherheitselements 12 und der Banknote 10, im Allgemeinen können die ausgezeichneten Kippachsen jedoch eine beliebige Orientierung relativ zu den Kanten des Sicherheitselements aufweisen.

[0044] Der Aufbau erfindungsgemäßer Sicherheitselemente und das Zustandekommen der beiden orthogonalen, entkoppelten Kippeffekte wird nun mit Bezug auf die Figuren 3 und 4 näher erläutert. Dabei zeigt Fig. 3 einen Detailausschnitt des reflektiven Flächenbereichs eines erfindungsgemäßen Sicherheitselements schematisch in Aufsicht, und Fig. 4 zeigt eine perspektivische Ansicht der beiden Pixel 30-A, 30-B am linken Rand des Detailausschnitts von Fig. 3.

[0045] Der reflektive Flächenbereich 20 eines erfindungsgemäßen Sicherheitselements ist aus einer Vielzahl reflektiver Pixel 30 aufgebaut, von denen in den Detailansichten der Figuren 3 und 4 nur einige gezeigt sind. Im Ausführungsbeispiel sind die Pixel mit quadratischem Umriss ausgebildet, sie können aber im Allgemeinen auch andere Umrissformen, insbesondere eine Motivform wie Zeichen oder Symbole aufweisen. Die Kantenlänge der Pixel 30 liegt unterhalb von 300 µm und liegt insbesondere im Bereich von 20 µm bis 100 µm.

[0046] Jedes reflektive Pixel 30 enthält eine oder mehrere, im Ausführungsbeispiel zwei ebene, reflektive Facetten 32 mit gleicher Orientierung. Länge und Breite der Facetten 32 liegen oberhalb von 5 µm, um Farbaufspaltungen durch die Facettenanordnung zu vermeiden. Die Länge der Facetten (Abmessung in x-Richtung) beträgt vorzugsweise mehr als 10 µm, insbesondere mehr als 20 µm und die Breite der Facetten (Abmessung in y-Richtung) liegt mit Vorteil zwischen 7,5 und 15 µm. Mit Facetten dieser Größe lassen sich mit den nachfolgend beschriebenen Gittermustern klare Beugungsfarben erhalten.

[0047] Die Orientierung der Facetten 32, das heißt insbesondere die Neigung der Facetten gegen die x-y-Ebene, ist durch die Angabe ihres normalisierten Normalenvektor $n_0 = (n_x, n_y, n_z)$ mit $|n_0| = 1$ und positiver z-Komponente bestimmt. Während die Orientierung der Facetten 32 innerhalb eines Pixels 30 stets gleich ist, wird sie sich in der Praxis von Pixel zu Pixel unterscheiden um für den Betrachter in verschiedenen Betrachtungsrichtungen ein oder mehrere gewünschte, aus den Pixeln 30 aufgebaute Motive zu zeigen.

[0048] Die Facetten 32 des Flächenbereichs 20 weisen erfindungsgemäß zum überwiegenden Teil, im gezeigten Ausführungsbeispiel sogar zu 100%, einen in der

y-z-Ebene liegenden Normalenvektor auf, d.h. die x-Komponente n_x des Normalenvektors ist Null. Wegen der Normierung ist der Normalenvektor einer Facette dann bereits durch die y-Komponente n_y eindeutig bestimmt und hängt über die Beziehung

$$n_y = \sin \gamma$$

mit dem Neigungswinkel γ zusammen, den die Facette 32 mit der x-y-Ebene und damit der makroskopischen Oberfläche des Flächenmusters 20 einschließt (Fig. 4).

[0049] Die reflektiven Facetten 32 sind weiter mit einem diffraktiven Gittermuster 34 versehen, das jeweils aus einer Vielzahl paralleler Gitterlinien 36 besteht. Der Übersichtlichkeit halber sind die Gitterlinien 36 in Fig. 4 nur für eine der Facetten 32 des Pixels 30-A eingezeichnet. Die Orientierung der Gitterlinien 36 ist im Rahmen der Erfindung gerade so gewählt, dass der Gittervektor g des Gittermusters 34, der definitionsgemäß senkrecht auf den Gitterlinien 36 steht und dessen Betrag die Gitterperiode angibt, parallel zur x-Achse liegt. Der Gittervektor kann daher allgemein als $g = (g_x, 0, 0)$ mit der Gitterperiode g_x geschrieben werden.

[0050] Die Gitterperiode g_x der Gittermuster 34 liegt im Rahmen der Erfindung meist zwischen $0,6 \mu\text{m}$ und $3 \mu\text{m}$ und wird konkret so gewählt, dass in einem vorgegebenen gewünschten Kippwinkelbereich der gewünschte chromatische Effekt erzeugt wird. Im Ausführungsbeispiel sind alle Facetten 32 mit demselben Gittermuster 34 mit derselben Gitterperiode g_x belegt. Es ist grundsätzlich jedoch auch möglich, die Gitterperiode für einen Teil des Pixels zu variieren, wodurch der kinematische und der chromatische Kippeffekt teilweise miteinander gekoppelt werden, wie bereits oben erläutert.

[0051] Eine alternative Formulierung der Bedingung, dass der Gittervektor des Gittermusters 34 parallel zur x-Achse liegen soll, kann mit Hilfe der Facettenfläche $h(x,y)$ formuliert werden. Da der Gradient ∇h die Richtung der stärksten Steigung der Facettenfläche angibt, kann die Bedingung an das Gittermuster 34 auch so formuliert werden, dass die Gitterlinien 36 an jedem Punkt der Facettenfläche parallel zu dem Tangentialvektor t des stärksten Anstiegs verlaufen müssen.

[0052] Der Tangentialvektor t des stärksten Anstiegs der Facettenfläche ist für eine allgemeine Facettenfläche $h(x,y)$ gegeben durch

$$t(x,y) = (h_x / |\nabla h|, h_y / |\nabla h|, |\nabla h|),$$

wobei $h_x = \partial h(x,y) / \partial x$ und $h_y = \partial h(x,y) / \partial y$ die partiellen Ableitungen darstellen und $\nabla h = (h_x, h_y)$ der Gradient der Facettenfläche ist.

[0053] Da die Facetten 32 erfindungsgemäß einen in der y-z-Ebene liegenden Normalenvektor aufweisen,

welcher in normalisierter Form allgemein durch

$$n_0 = n / |n|, \quad \text{mit } n = (-h_x, -h_y, 1)$$

gegeben ist, ist $h_x = 0$ und der Tangentialvektor des stärksten Anstiegs liegt ebenfalls in der y-z-Ebene:

$$t(x,y) = (0, h_y / |\nabla h|, |\nabla h|).$$

[0054] Für die oben genannten Beispiele einer ebenen Facettenfläche

$$h_1(x,y) = c \cdot y + c_0, \quad \text{für } (x,y) \in B$$

ist der Tangentialvektor des stärksten Anstiegs ortsunabhängig, nämlich

$$t_1(x,y) = (0, 1, c),$$

und für die allgemeine gekrümmte Facettenfläche

$$h_2(x,y) = f(y), \quad \text{für } (x,y) \in B$$

ergibt sich für den Tangentialvektor des stärksten Anstiegs

$$t_2(x,y) = (0, f'(y) / |f'(y)|, |f'(y)|).$$

[0055] Werden zur Erklärung des kinematischen Effekts zunächst die reflektiven Facetten 32 ohne die diffraktiven Gittermuster 34 betrachtet, so wirken die gitterfreien Facetten 32 als achromatisch reflektierende Mikrospiegel, die einfallendes Licht ohne Farbaufspaltung nach den Gesetzen der geometrischen Optik reflektieren. Ist aus einer Betrachtungsrichtung für eine Facette die Reflexionsbedingung "Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel" erfüllt, erscheint die Facette farblos hell, ansonsten dunkel. Da die Reflexionsbedingung nur für einen Kippwinkel exakt erfüllt ist (unter der Bedingung, dass es nur eine dominante Lichtquelle gibt), ergibt sich beim Kippen des Sicherheitselements in Nord-Süd-Richtung eine abrupte, diskrete Helligkeitsänderung.

[0056] Das Flächenmuster 20 weist eine Vielzahl von Facetten 32 mit unterschiedlichen Neigungswinkeln γ auf, wobei die gleich orientierten Facetten 32 so angeordnet sind, dass die Gesamtheit der hell aufleuchtenden bzw. dunklen Facetten dem Betrachter ein gewünschtes Motiv zeigt. Die Normalenvektoren aller Facetten 32 liegen in der y-z-Ebene, so dass sich die Reflexionsbedingung beim Kippen des Sicherheitselements 12 in Nord-Süd-Richtung für alle Facetten 32 gleichzeitig und in glei-

chem Maß ändert. Facetten, die vor der Verkipfung die Reflexionsbedingung erfüllt haben und hell erschienen, können die Reflexionsbedingung nach der Nord-Süd-Verkipfung nicht mehr erfüllen und erscheinen daher dunkel. Umgekehrt können Facetten, die vor der Verkipfung noch dunkel waren, bei passender Neigung nach der Nord-Süd-Verkipfung hell erscheinen. Durch geeignete Anordnung der Facetten und ihrer Neigungswinkel können so alle gewünschten Bewegungseffekte, insbesondere auch orthoparallaktische Bewegungseffekte erzeugt werden. Auch stereographische Effekte sind möglich. Die Gesamtheit der möglichen Bewegungseffekte und stereographischen Effekte wird im Rahmen dieser Beschreibung unter dem Begriff "kinematische Effekte" zusammengefasst.

[0057] Werden zur Erklärung des chromatischen Effekts nun die diffraktiven Gittermuster 34 hinzugenommen, so dass zusätzlich die Beugung des einfallenden Lichts an den Gittermustern berücksichtigt werden muss, so tritt anstelle der Richtung des geometrisch gerichtet reflektierten Lichtstrahls die Richtung der 0-ten Beugungsordnung der Gittermuster. In der Richtung der 0-ten Beugungsordnung ist die Reflexionsbedingung "Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel" erfüllt, die Facette erscheint hell und farblos, wenngleich typischerweise mit etwas geringerer Helligkeit als im oben beschriebenen gitterfreien Fall, da ein Teil des Lichts in andere Raumrichtungen gebeugt wird.

[0058] Bei den Gittermustern 34 liegt die Ausbreitungsrichtung des gebeugten Lichts in einer Ebene, die durch den Gittervektor g und die Richtung der 0-ten Beugungsordnung aufgespannt wird. Innerhalb dieser Ebene wird die Richtung des gebeugten Lichts durch die Gittergleichung

$$\sin \alpha + \sin \beta = m \lambda / g_x$$

angegeben, in der m die Beugungsordnung, g_x die Gitterperiode und λ die Wellenlänge bedeuten. Die Winkel α bzw. β sind die Winkel des einfallenden bzw. reflektierenden Lichts, projiziert in die von dem Gittervektor g und dem Normalenvektor n aufgespannte Ebene. Der Winkel α wird dabei stets positiv genommen, der Winkel β positiv, wenn er, wie bei den erfindungsgemäßen Gestaltungen üblich, bezüglich der Gitternormalen auf derselben Seite wie α liegt, ansonsten negativ.

[0059] Für eine bestimmte Betrachtungsrichtung und Kippstellung des Sicherheitselements 12, wie beispielsweise in Fig. 1 dargestellt, ergibt sich dann ein bestimmtes Erscheinungsbild des Flächenbereichs, das einerseits durch den Neigungswinkel der Facetten 32 und andererseits durch die Beugungswirkung der Gittermuster 34 bestimmt ist.

[0060] Bei einer Nord-Süd-Verkipfung 14 des Sicherheitselements 12, also einer Verkipfung um die x-Achse, ändert sich die Reflexionsbedingung für alle Facetten 32

gleichzeitig, so dass durch die Anordnung der Facetten 32 der gewünschte kinematische Effekt entsteht. Aufgrund der besonderen Ausrichtung der Gittermuster 34 mit den Gitterlinien parallel zur y-z-Ebene bzw. einem Gittervektor g parallel zur x-Achse, ändern sich die Winkel α und β der Gittergleichung bei einer Nord-Süd-Verkipfung 14 nicht. Der Farbeindruck der Facetten 32 bleibt bei einer Nord-Süd-Verkipfung 14 daher unverändert, und der kinematische Effekt ist nicht von einem chromatischen Effekt begleitet.

[0061] Umgekehrt verändert eine Ost-West-Verkipfung 16, also eine Verkipfung des Sicherheitselements um die y-Achse, wegen der besonderen Orientierung der Facetten 32 nicht die Ausbreitungsebene des gebeugten Lichts, die durch den Gittervektor g und die Richtung der 0-ten Beugungsordnung aufgespannt wird, so dass bei einer Ost-West-Verkipfung keine abrupte und diskrete Änderung der Sichtbarkeit einzelner Facetten eintritt, vielmehr das räumliche Erscheinungsbild, wie etwa der Abstand der Rechteck-Reihen 22 der Figuren 1 und 2, erhalten bleibt.

[0062] Die Ost-West-Verkipfung 16 verläuft in der Beugungsebene der Gittermuster 34, so dass sich mit der Verkipfung auch die Winkel α und β in der Gittergleichung graduell ändern. Bei einer Ost-West-Verkipfung tritt daher eine graduelle Farb- und/ oder Intensitätsänderung auf, durch die sich insbesondere der Farbeindruck der Facetten 32 kontinuierlich verändert. Da das räumliche Erscheinungsbild jedoch erhalten bleibt, ist der chromatische Effekt nicht von einem kinematischen Effekt begleitet. Insgesamt sind die beiden orthogonalen Effekte somit vollständig entkoppelt.

[0063] Die reflektiven Pixel 30 bzw. die reflektiven Facetten 32 können, wie in Fig. 3 gezeigt, in einem regelmäßigen Raster angeordnet sein und beispielsweise ein regelmäßiges Blazegitter bilden. Die erfindungsgemäßen Flächenbereiche sind allerdings nicht auf regelmäßige Pixel- oder Facettenanordnungen beschränkt, vielmehr werden sogar bevorzugt aperiodische Pixel- oder Facettenanordnungen verwendet, da dadurch unerwünschte Beugungseffekte, wie sie durch regelmäßige Anordnungen entstehen können, vermieden werden.

[0064] Figur 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem der einfacheren Darstellung halber jedes Pixel 30 aus nur einer Facette 32 besteht und bei dem die Pixel bzw. Facetten aperiodisch in der x-y-Ebene angeordnet sind. Um trotz der Höhendifferenzen benachbarter Facetten und dem damit einhergehenden Phasensprung einen Flächenbereich mit klaren Beugungsfarben zu erhalten, beträgt die Abmessung der Facetten in x-Richtung mindestens 10 μm , bevorzugt mindestens 20 μm , besonders bevorzugt mindestens 30 μm . In y-Richtung beträgt die Abmessung der Facetten zwischen 5 μm und 30 μm , bevorzugt zwischen 7,5 μm und 15 μm . Die Höhe der Facetten liegt zwischen 0 und 10 μm , vorzugsweise zwischen 0 und 5 μm .

[0065] Eine weitere Möglichkeit, unerwünschte Beugungseffekte durch die Aufteilung in Facetten zu unter-

drücken, besteht darin, die Facetten in ihrer Höhe über dem Flächenbereich aperiodisch gegeneinander zu versetzen. Beispielsweise zeigt Fig. 6 den reflektiven Flächenbereich 40 eines Sicherheitselements 12 im Querschnitt, bei dem die im Ausschnitt gezeigten Facetten 42 zwar alle gleiche Neigung aufweisen, jedoch in aperiodischer, insbesondere in unregelmäßiger Weise um einen Höhenversatz zwischen Null und mindestens einer halben Wellenlänge aus ihrer regelmäßigen Ausgangslage versetzt sind. Dadurch werden die Gangunterschiede zwischen unterschiedlichen Facetten 42 -j, 42 -k in unregelmäßiger Weise um einen Wert zwischen Null und mindestens einer ganzen Wellenlänge verändert. Die von den unterschiedlichen Facetten 42 -j, 42 -k reflektierten Lichtstrahlen 44-j und 44-k stehen dann in einer zufälligen Phasenbeziehung, so dass das Raster der Facetten 42 trotz einer periodischen Anordnung gleich ausgerichteter Facetten 42 nicht als beugende Struktur wirkt und daher keine störenden sekundären Beugungseffekte auftreten.

[0066] Figur 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem der reflektive Flächenbereich 50 des Sicherheitselements in zwei Teilbereiche 52, 54 unterteilt ist, in denen die Facetten 32 jeweils eine unterschiedliche mittlere Orientierung aufweisen. Beispielsweise können die Facetten 32 in dem Teilbereich 52, der in Form der Wertzahl "20" ausgebildet ist, einen Neigungswinkel γ aufweisen, der zufällig zwischen 10° und 20° gewählt ist, während die Facetten 32 in dem Hintergrundbereich 54 einen Neigungswinkel γ aufweisen, der zufällig zwischen -10° und -20° gewählt ist. Beim Kippen des Sicherheitselements in Nord-Süd-Richtung erscheint dann je nach Kippstellung der erste oder zweite Teilbereich 52, 54 hell und farbig, so dass die Darstellung der Wertzahl "20" zwischen einer Positivdarstellung (Wertzahl hell, Hintergrund dunkel) und einer Negativdarstellung (Wertzahl dunkel, Hintergrund hell) wechselt und ein sogenanntes Flip-Bild entsteht. Beim Kippen in Ost-West-Richtung bleibt die Positiv- oder Negativdarstellung als solche grundsätzlich erhalten, zeigt aber die Farbänderung des oben beschriebenen chromatischen Effekts.

[0067] Die Facetten können auch in dem Teilbereich 52 mit Gittermustern einer ersten Gitterperiode g_{x1} und in dem Teilbereich 54 mit Gittermustern einer zweiten Gitterperiode g_{x2} versehen sein, so dass die Teilbereiche 52, 54 beim Nord-Süd-Kippen zwar mit konstanter, aber unterschiedlicher Farbe erscheinen.

[0068] Ein Sicherheitselement kann auch mehrere reflektive Flächenbereiche der beschriebenen Art aufweisen, die sich beispielsweise durch die ausgezeichneten Kipprichtungen oder die Gitterkonstante der Gittermuster unterscheiden. Figur 8(a) zeigt zur Illustration ein Sicherheitselement 60 mit zwei reflektiven Flächenbereichen 62, 64 der oben beschriebenen Art. Jeder der Flächenbereiche 62, 64 definiert durch seine Ausdehnung eine x-y-Ebene, wobei die orthogonalen ausgezeichneten Kippachsen, nämlich die x-Achse für den rein kinematischen Effekt und die y-Achse für den rein chromatischen

Effekt, im Flächenbereich 64 um 90° gegenüber dem Flächenbereich 62 gedreht sind.

[0069] Wie aus der obigen Schilderung ersichtlich, kann dies dadurch erreicht werden, dass die Facetten im Flächenbereich 62 so orientiert sind, dass sie einen in der dortigen y-z-Ebene liegenden Normalenvektor aufweisen, während die Facetten im Flächenbereich 64 so orientiert sind, dass sie einen Normalenvektor in der y-z-Ebene des Flächenbereichs 64 aufweisen. Entsprechend sind auch die Orientierungen der Gitterlinien im Flächenbereich 62, 64 um 90° gegeneinander gedreht, verlaufen nämlich senkrecht zur jeweiligen x-Achse.

[0070] Beim Kippen um die Achse 66 zeigt das Sicherheitselement 60 im Flächenbereich 62 einen rein kinematischen Kippeffekt, da die Verkipfung um die dortige x-Achse erfolgt. Gleichzeitig zeigt das Sicherheitselement 60 im Flächenbereich 64 einen rein chromatischen Kippeffekt, da die Verkipfung 66 um die dortige y-Achse erfolgt. Entsprechend zeigt das Sicherheitselement 60 beim Kippen um die Achse 68 im Flächenbereich 62 einen rein chromatischen Kippeffekt und im Teilbereich 64 gleichzeitig einen rein kinematischen Kippeffekt.

[0071] Das Sicherheitselement 70 der Fig. 8(b) enthält zwei reflektive Flächenbereiche 72, 74 der oben beschriebenen Art, die dieselben ausgezeichneten Kippachsen aufweisen. Allerdings sind die Facetten 32 in dem Flächenbereich 72 mit Gittermustern 76 einer ersten Gitterperiode g_{x1} und in dem Flächenbereich 74 mit Gittermustern 78 einer zweiten Gitterperiode g_{x2} versehen und zeigen daher unterschiedliche Beugungsfarben.

[0072] Beim Kippen um die Achse 66 zeigt das Sicherheitselement 70 in beiden Flächenbereichen 72, 74 einen rein kinematischen Kippeffekt, da die Verkipfung jeweils um die x-Achse erfolgt. Entsprechend zeigt das Sicherheitselement 70 beim Kippen um die Achse 68 in beiden Flächenbereichen 72, 74 einen rein chromatischen Kippeffekt, da die Verkipfung jeweils um die y-Achse erfolgt. Wegen der unterschiedlichen Gitterperioden g_{x1} und g_{x2} unterscheiden sich allerdings die Beugungsfarben in den beiden Flächenbereichen 72, 74, und zwar sowohl der konstante Farbeindruck bei einer Verkipfung um die Achse 66, also auch der sich ändernde Farbeindruck bei einer Verkipfung um die Achse 68.

45 Bezugszeichenliste

[0073]

10	Banknote
12	Sicherheitselement
14, 16	Kippachsen
20	reflektiver Flächenbereich
22	kleine Rechtecke
24	Pfeile der Bewegungsrichtung
26-A bis 26-D	Erscheinungsbilder
30, 30-A, 30-B	Pixel
32	reflektive Facetten
34	diffraktives Gittermuster

36	Gitterlinien
40	reflektiver Flächenbereich
42, 42-j, 42-k	Facetten
44-j, 44-k	reflektierte Lichtstrahlen
50	reflektiver Flächenbereich
52, 54	Teilbereiche
60	Sicherheitselement
62, 64	Teilbereiche
66, 68	Kippachsen
70	Sicherheitselement
72, 74	Teilbereiche
76, 78	Gittermuster

Patentansprüche

1. Optisch variables Sicherheitselement (12) zur Absicherung von Wertgegenständen (10), wobei das Sicherheitselement einen Träger mit einem reflektiven Flächenbereich aufweist, dessen Ausdehnung eine x-y-Ebene und eine darauf senkrecht stehende z-Achse definiert,

wobei

- der reflektive Flächenbereich eine Vielzahl von reflektiven Pixeln (30) enthält, die jeweils eine oder mehrere, gleich orientierte reflektive Facetten (32) aufweisen, wobei eine Neigung jeder Facette gegen die x-y-Ebene durch die Angabe ihres normalisierten Normalenvektors bestimmt ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der reflektive Flächenbereich eine durch die x-Achse angegebene Vorzugsrichtung aufweist, so dass mehr als 80% der Facetten des Flächenbereichs einen in der y-z-Ebene liegenden Normalenvektor (n) aufweisen, und
- zumindest ein Teil der Facetten mit einem diffraktiven Gittermuster (34) aus einer Vielzahl von Gitterlinien (36) versehen ist, dessen Gittervektor (g) parallel zur x-Achse liegt.

2. Sicherheitselement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gitterlinien von allen mit einem diffraktiven Gittermuster versehenen Facetten einen Gittervektor parallel zur x-Achse aufweisen.
3. Sicherheitselement nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die diffraktiven Gittermuster eine Gitterperiode zwischen 0,3 μm und 4 μm , vorzugsweise zwischen 0,6 μm und 3 μm aufweisen.
4. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, dass alle Gittermuster des reflektiven Flächenbereichs dieselbe Gitterperiode aufweisen.

5. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Facetten im Wesentlichen als ebene Flächenelemente ausgebildet sind.
6. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die reflektiven Facetten in einem periodischen Raster angeordnet sind und insbesondere ein Sägezahngritter bilden.
7. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die reflektiven Facetten aperiodisch angeordnet sind.
8. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Facetten in ihrer Höhe über dem Flächenbereich aperiodisch gegeneinander versetzt sind.
9. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Facetten in der durch die x-Achse angegebenen Vorzugsrichtung eine Abmessung von 10 μm oder mehr, bevorzugt von 20 μm oder mehr, besonders bevorzugt von 30 μm oder mehr, aufweisen, und/oder dass die Facetten in der auf der Vorzugsrichtung senkrecht stehenden y-Richtung eine Abmessung zwischen 5 μm und 30 μm , bevorzugt zwischen 7,5 μm und 15 μm aufweisen, und/oder dass die Höhe der Facetten zwischen 0 und 10 μm , vorzugsweise zwischen 0 und 5 μm liegt.
10. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die reflektiven Facetten eine metallische Beschichtung oder eine hochbrechende Beschichtung aufweisen.
11. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der reflektive Flächenbereich in zumindest zwei Teilbereiche unterteilt ist, in denen die Facetten unterschiedliche mittlere Orientierungen aufweisen.
12. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Orientierung der Facetten zumindest in einem Teilbereich des re-

flektiven Flächenbereichs einen sich kontinuierlich ändernden Verlauf aufweist.

13. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 12,
5
dadurch gekennzeichnet, dass die Orientierung der Facetten so aufeinander abgestimmt ist, dass das Sicherheitselement beim Kippen um die x-Achse einen Bewegungseffekt, insbesondere einen orthoparallaktischen Bewegungseffekt, oder einen stereographischen Effekt zeigt. 10
14. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 13,
15
dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil der Facetten ohne diffraktives Gittermuster ausgebildet ist.
15. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 14,
20
dadurch gekennzeichnet, dass ein Anteil von weniger als 20%, insbesondere von weniger als 10% der Facetten des Flächenbereichs einen normalisierten Normalenvektor mit einer im Wesentlichen zufällig gewählten x-Komponente ungleich Null aufweist, und die Facetten mit einer von Null verschiedenen x-Komponente ohne diffraktives Gittermuster ausgebildet sind. 25
16. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 15,
30
dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der Pixel mit einem Umriss in Form eines Motivs, insbesondere in Form von Zeichen oder Symbolen ausgebildet ist. 35
17. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 16,
40
dadurch gekennzeichnet, dass das Sicherheitselement zwei oder mehr reflektive Flächenbereiche nach Anspruch 1 enthält, wobei jeder reflektive Flächenbereich eine eigene, durch die x-Achse des Flächenbereichs angegebene Vorzugsrichtung aufweist, vorzugsweise, dass das Sicherheitselement zwei reflektive Flächenbereiche nach Anspruch 1 enthält, deren durch die x-Achse des Flächenbereichs angegebene Vorzugsrichtungen aufeinander senkrecht stehen. 45
18. Sicherheitselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 17,
50
dadurch gekennzeichnet, dass das Sicherheitselement zwei oder mehr reflektive Flächenbereiche nach Anspruch 1 enthält, wobei in jedem Flächenbereich alle Gittermuster dieselbe Gitterperiode aufweisen, sich die Gitterperioden unterschiedlicher Flächenbereiche aber unterscheiden. 55
19. Datenträger mit einem Sicherheitselement nach we-

nigstens einem der Ansprüche 1 bis 18.

20. Verfahren zum Herstellen eines optisch variablen Sicherheitselements nach einem der Ansprüche 1 bis 18, bei dem

- ein Träger bereitgestellt und mit einem reflektiven Flächenbereich versehen wird, dessen Ausdehnung eine x-y-Ebene und eine darauf senkrecht stehende z-Achse definiert,
- wobei der reflektive Flächenbereich mit einer Vielzahl von reflektiven Pixeln ausgebildet wird, die jeweils eine oder mehrere, gleich orientierte reflektive Facetten aufweisen, wobei eine Neigung jeder Facette gegen die x-y-Ebene durch die Angabe ihres normalisierten Normalenvektors bestimmt ist,
- der reflektive Flächenbereich mit einer durch die x-Achse angegebenen Vorzugsrichtung erzeugt wird, so dass mehr als 80% der Facetten des Flächenbereichs einen in der y-z-Ebene liegenden Normalenvektor aufweisen, und
- zumindest ein Teil der Facetten mit einem diffraktiven Gittermuster aus einer Vielzahl von Gitterlinien versehen wird, dessen Gittervektor parallel zur x-Achse liegt.

Claims

1. An optically variable security element (12) for securing valuable articles (10), the security element comprising a carrier having a reflective surface region whose dimension defines an x-y plane and a z-axis perpendicular thereto,
35
wherein

- the reflective surface region includes a plurality of reflective pixels (30) that each comprise one or more, identically oriented reflective facets (32), an incline of each facet against the x-y plane being determined by the specification of its normalized normal vector,

characterized in that

- the reflective surface region has a preferred direction that is specified by the x-axis, such that more than 80% of the facets of the surface region have a normal vector (n) that lies in the y-z plane, and
- at least a portion of the facets is provided with a diffractive grating pattern (34) composed of a plurality of grating lines (36) whose grating vector (g) is parallel to the x-axis.

2. The security element according to claim 1, **characterized in that** the grating lines of all facets provided

with a diffractive grating pattern have a grating vector parallel to the x-axis.

3. The security element according to claim 1 or 2, **characterized in that** the diffractive grating patterns have a grating period between 0.3 μm and 4 μm , preferably between 0.6 μm and 3 μm . 5
4. The security element according to at least one of claims 1 to 3, **characterized in that** all grating patterns in the reflective surface region have the same grating period. 10
5. The security element according to at least one of claims 1 to 4, **characterized in that** the facets are developed substantially as planar surface elements. 15
6. The security element according to at least one of claims 1 to 5, **characterized in that** the reflective facets are arranged in a periodic grid and especially form a sawtooth grating. 20
7. The security element according to at least one of claims 1 to 5, **characterized in that** the reflective facets are arranged aperiodically. 25
8. The security element according to at least one of claims 1 to 7, **characterized in that** the facets are offset from each other aperiodically in their height above the surface region. 30
9. The security element according to at least one of claims 1 to 8, **characterized in that** the facets have, in the preferred direction specified by the x-axis, a dimension of 10 μm or more, preferably of 20 μm or more, particularly preferably of 30 μm or more, and/or in that the facets in the y-direction perpendicular to the preferred direction have a dimension between 5 μm and 30 μm , preferably between 7.5 μm and 15 μm and/or in that the height of the facets is between 0 and 10 μm , preferably between 0 and 5 μm . 35 40 45
10. The security element according to at least one of claims 1 to 9, **characterized in that** the reflective facets comprise a metallic coating or a high-index coating. 50
11. The security element according to at least one of claims 1 to 10, **characterized in that** the reflective surface region is divided into at least two sub-regions in which the facets have different average orientations. 55

12. The security element according to at least one of claims 1 to 11, **characterized in that** the orientation of the facets changes, at least in a subregion of the reflective surface region, in a continuous manner.
13. The security element according to at least one of claims 1 to 12, **characterized in that** the orientations of the facets are coordinated with each other in such a way that, when tilted about the x-axis, the security element displays a movement effect, especially an orthoparallactic movement effect, or a stereographic effect.
14. The security element according to at least one of claims 1 to 13, **characterized in that** a portion of the facets is developed without a diffractive grating pattern.
15. The security element according to at least one of claims 1 to 14, **characterized in that** a share of less than 20%, especially of less than 10% of the facets of the surface region has a normalized normal vector having a substantially randomly chosen x-component that is not equal to zero, and the facets having a non-zero x-component are developed without a diffractive grating pattern.
16. The security element according to at least one of claims 1 to 15, **characterized in that** at least one portion of the pixels is developed having a contour in the form of a motif, especially in the form of characters or symbols.
17. The security element according to at least one of claims 1 to 16, **characterized in that** the security element includes two or more reflective surface regions according to claim 1, each reflective surface region having its own preferred direction specified by the x-axis of the surface region, preferably in that the security element includes two reflective surface regions according to claim 1 whose preferred directions specified by the x-axis of the surface region are perpendicular to one another.
18. The security element according to at least one of claims 1 to 17, **characterized in that** the security element includes two or more reflective surface regions according to claim 1, wherein, in each surface region, all grating patterns have the same grating period, but the grating periods of different surface regions differ.
19. A data carrier having a security element according to at least one of claims 1 to 18.

20. A method for manufacturing an optically variable security element according to one of claims 1 to 18, in which

- a carrier is provided and is provided with a reflective surface region whose dimension defines an x-y plane and a z-axis perpendicular thereto,
- the reflective surface region being developed having a plurality of reflective pixels that each comprise one or more, identically oriented reflective facets, an incline of each facet against the x-y plane being determined by the specification of its normalized normal vector,
- the reflective surface region being produced having a preferred direction specified by the x-axis such that more than 80% of the facets of the surface region have a normal vector that lies in the y-z plane, and
- at least a portion of the facets being provided with a diffractive grating pattern composed of a plurality of grating lines whose grating vector is parallel to the x-axis.

Revendications

1. Élément de sécurité optique variable (12) pour la sécurisation d'objets de valeur (10), l'élément de sécurité comportant un support avec une zone de surface réfléchissante dont l'extension définit un plan x-y et un axe z situé perpendiculairement dessus,
 - la zone de surface réfléchissante contenant une pluralité de pixels réfléchissants (30), qui comportent respectivement une ou plusieurs facettes (32) réfléchissantes orientées de la même façon, une inclinaison de chaque facette par rapport au plan x-y étant déterminée par l'indication de son vecteur normal normalisé, **caractérisé en ce que**
 - la zone de surface réfléchissante comporte une direction préférentielle indiquée par l'axe x de telle manière que plus de 80 % des facettes de la zone de surface comportent un vecteur perpendiculaire (n) situé dans le plan y-z, et
 - au moins une partie des facettes est dotée d'un motif de réseau diffractif (34) avec une pluralité de lignes de réseau (36), dont le vecteur de réseau (g) est parallèle à l'axe x.
2. Élément de sécurité selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les lignes de réseau de toutes les facettes dotées d'un motif de réseau diffractif comportent un vecteur de réseau parallèlement à l'axe x.
3. Élément de sécurité selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les motifs de réseau diffractifs comportent une période de réseau entre 0,3 μm

et 4 μm , de préférence entre 0,6 μm et 3 μm .

4. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** tous les motifs de réseau de la zone de surface réfléchissante comportent cette même période de réseau.
5. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les facettes sont constituées pour l'essentiel comme des éléments de surface plans.
6. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les facettes réfléchissantes sont disposées dans une trame périodique et forment notamment un réseau en dents de scie.
7. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les facettes réfléchissantes sont disposées de façon aperiodique.
8. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les facettes sont décalées de façon aperiodique l'une contre l'autre dans leur hauteur au-dessus de la zone de surface.
9. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** les facettes comportent, dans la direction préférentielle indiquée par l'axe x, une dimension de 10 μm ou plus, de préférence de 20 μm ou plus, de façon plus particulièrement préférentielle de 30 μm ou plus, et/ou **en ce que** les facettes comportent dans la direction y perpendiculairement à la direction préférentielle, une dimension entre 5 μm et 30 μm , de préférence entre 7,5 μm et 15 μm , et/ou **en ce que** la hauteur des facettes est entre 0 et 10 μm , de préférence entre 0 et 5 μm .
10. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** les facettes réfléchissantes comportent un revêtement métallique ou un revêtement hautement réfractif.
11. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** la zone de surface réfléchissante est subdivisée au moins en deux parties de zone dans lesquelles les facettes comportent différentes orientations centrales.
12. Élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce**

que l'orientation des facettes présente au moins dans une partie de zone de la zone de surface réfléchissante une allure à variation continue.

13. Elément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** l'orientation des facettes est harmonisée les unes sur les autres de telle manière que l'élément de sécurité présente un effet de mouvement, notamment un effet de mouvement orthoparallactique ou un effet stéréographique lors du basculement autour de l'axe x. 5
14. Elément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce qu'**une partie des facettes est constituée sans motif de réseau diffractif. 10
15. Elément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce qu'**une portion inférieure à 20 %, notamment inférieure à 10 % des facettes de la zone de surface comporte un vecteur normal normalisé avec un composant x choisi pour l'essentiel par hasard différent de zéro et les facettes sont constituées de composants x différents de zéro sans motif de réseau diffractif. 20
16. Elément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce qu'**au moins une partie des pixels est constituée d'un contour ayant la forme d'un motif, notamment en forme de signes ou de symboles. 25
17. Elément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 16, **caractérisé en ce que** l'élément de sécurité contient deux zones de surface réfléchissantes ou plus selon la revendication 1, chaque zone de surface réfléchissante comportant une direction préférentielle propre indiquée par l'axe x de la zone de surface, de préférence, **en ce que** l'élément de sécurité contient deux zones de surface réfléchissantes selon la revendication 1, dont les directions préférentielles indiquées par l'axe x de la zone de surface se situent perpendiculaires l'une sur l'autre. 30
18. Elément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que** l'élément de sécurité contient deux zones de surfaces réfléchissantes ou plus selon la revendication 1, tous les motifs de réseau comportant dans chaque zone de surface cette même période de réseau, mais les périodes de réseau se différenciant des zones de surface différentes. 35
19. Support de données avec un élément de sécurité selon au moins l'une quelconque des revendications 40

1 à 18.

20. Procédé de fabrication d'un élément de sécurité optique variable selon au moins l'une quelconque des revendications 1 à 18, 45

- pour lequel un support est préparé et est doté d'une zone de surface réfléchissante, dont l'extension définit un plan x-y et un axe z situé perpendiculairement dessus,
- la zone de surface réfléchissante étant constituée d'une pluralité de pixels réfléchissants, qui comportent respectivement une ou plusieurs facettes réfléchissantes ayant une orientation identique, une inclinaison de chaque facette par rapport au plan x-y étant déterminée par l'indication de son vecteur normal normalisé,
- la zone de surface réfléchissante étant produite avec une direction préférentielle indiquée par l'axe x de telle manière que plus de 80 % des facettes de la zone de surface comportent un vecteur normal situé dans le plan y-z, et
- au moins une partie des facettes étant dotée d'un motif de réseau diffractif composé d'une pluralité de lignes de réseau, dont le vecteur de réseau est parallèle à l'axe x. 50

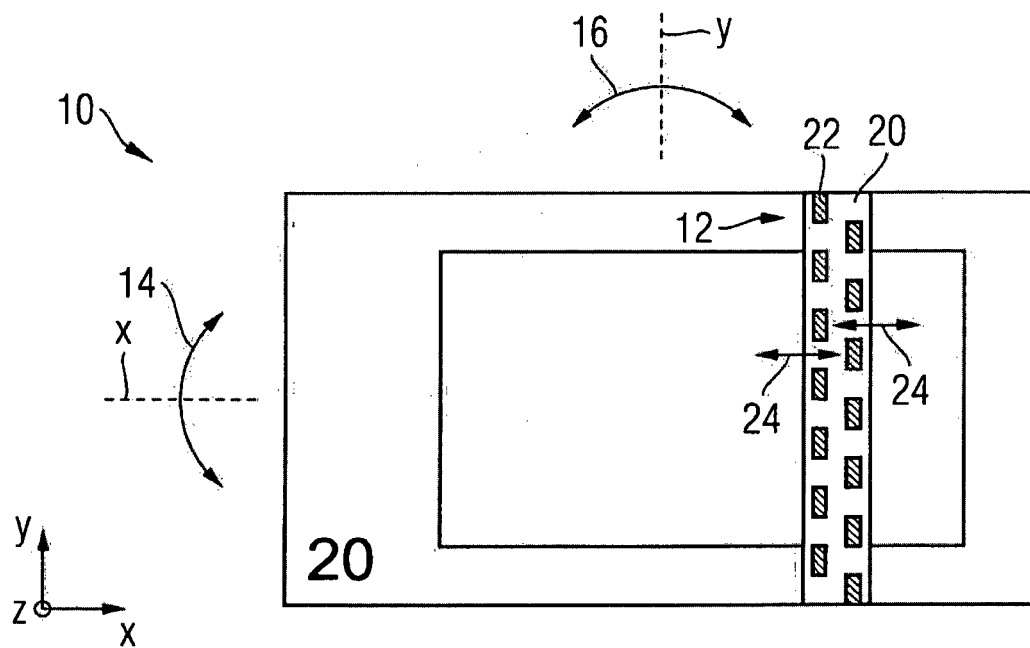


Fig. 1

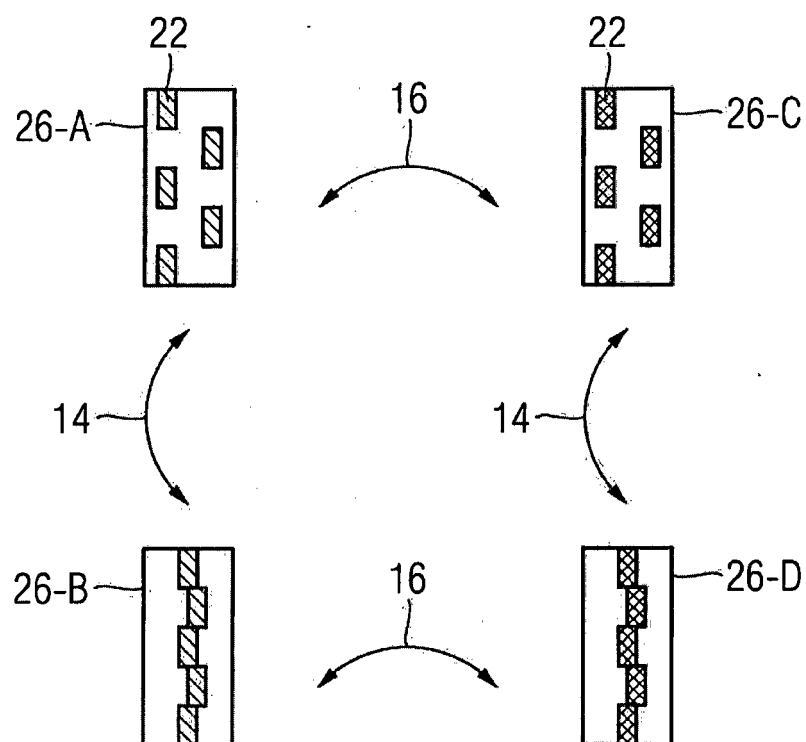


Fig. 2

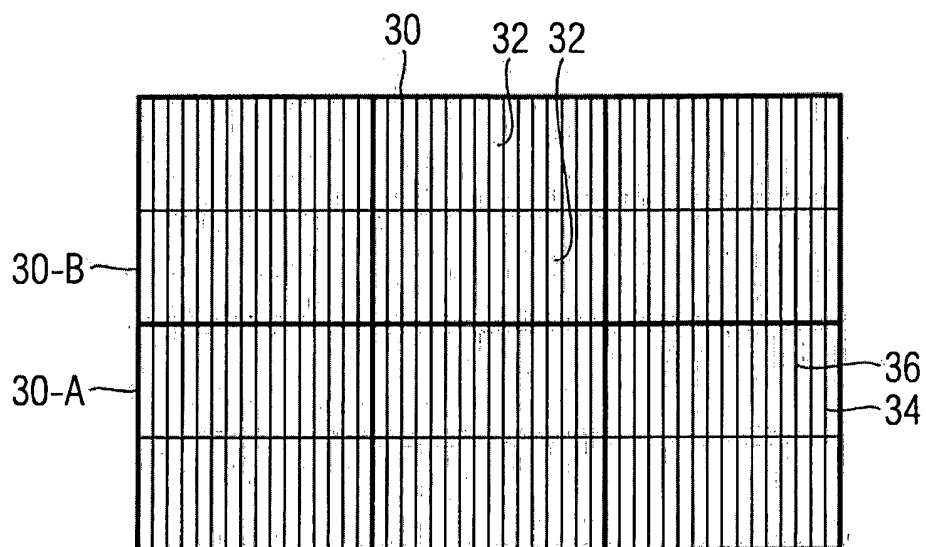


Fig. 3

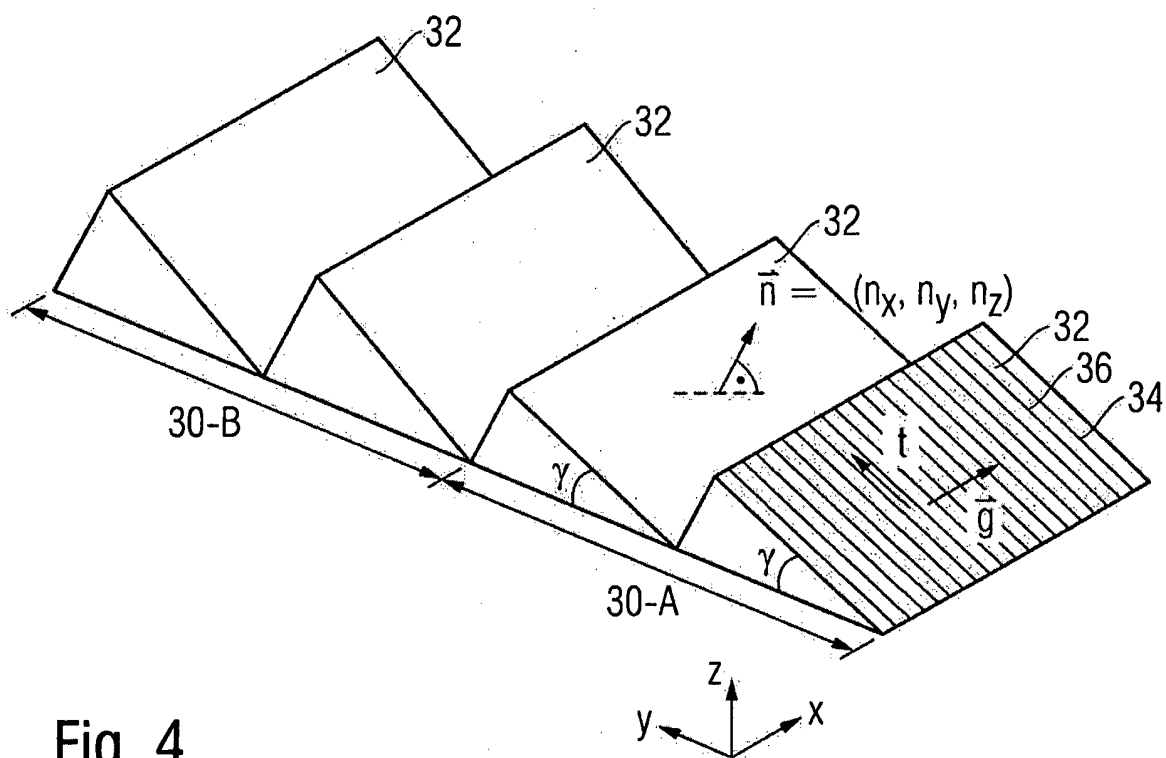


Fig. 4

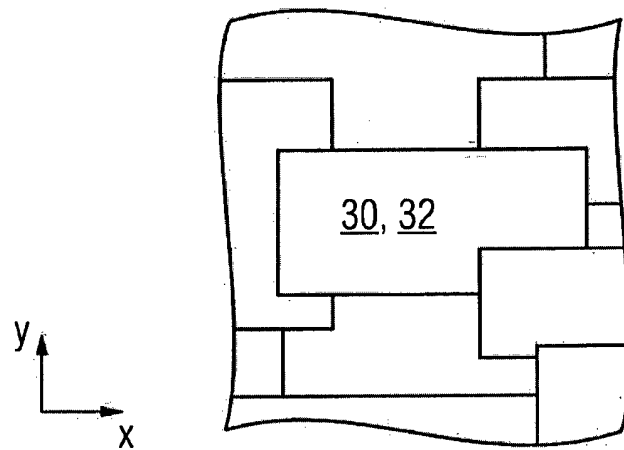


Fig. 5

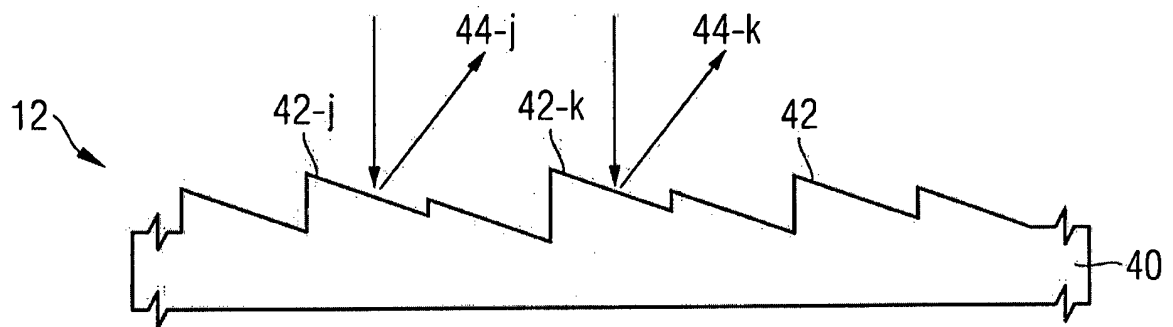


Fig. 6

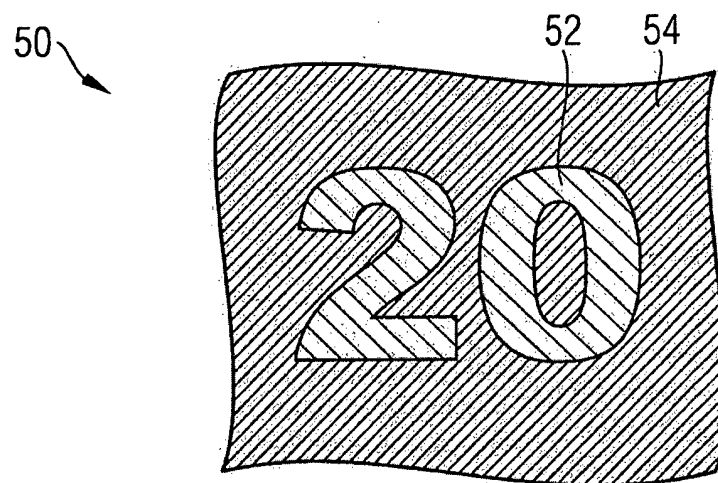


Fig. 7

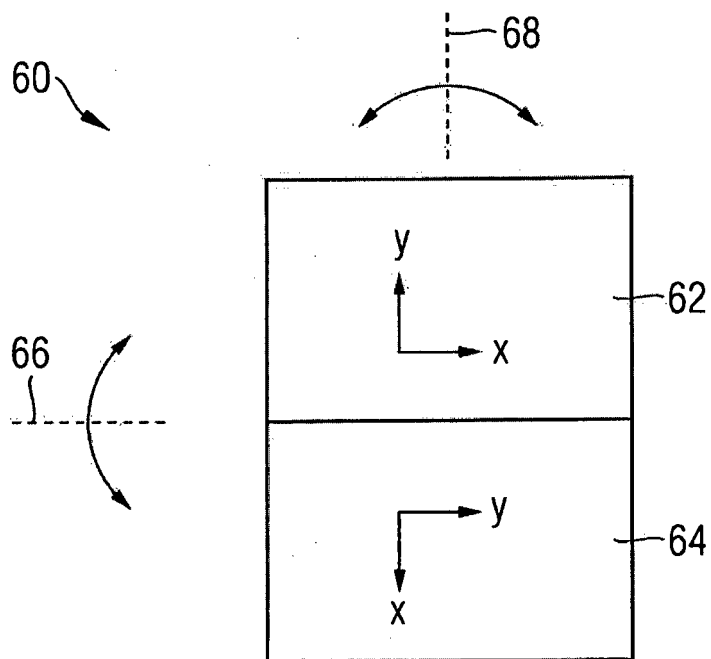


Fig. 8a

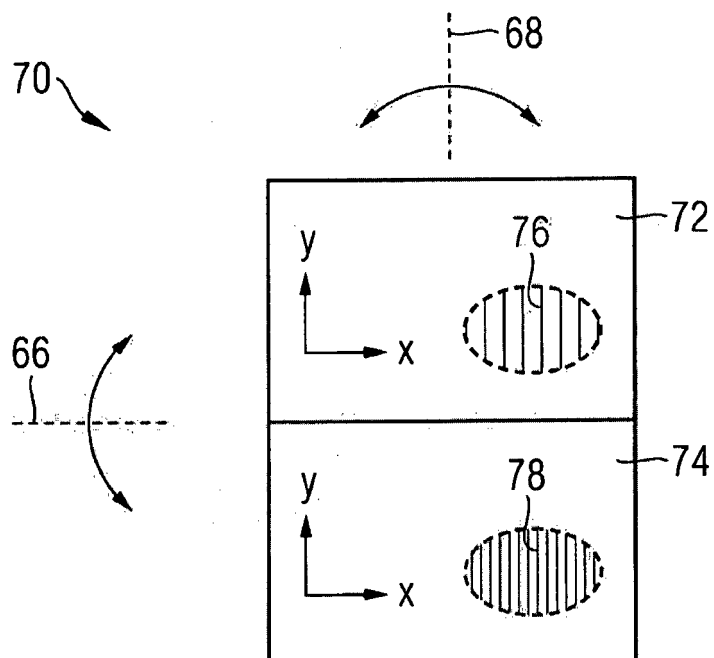


Fig. 8b

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

- DE 102010049831 [0005]
- WO 2012055506 A1 [0017]