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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. Juni 2011 (09.06.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/066990 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B42D 15/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/007368

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. Dezember 2010 (03.12.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 056 934.0
4. Dezember 2009 (04.12.2009) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **GIESECKE & DEVRIENT GMBH** [DE/DE]; Prinzregentenstraße 159, 81677 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **FUHSE, Christian** [DE/DE]; Bahnhofstraße 22, 83624 Otterfing (DE). **RAHM, Michael** [DE/DE]; Akeleistraße 27, 83646 Bad Tölz (DE). **RAUCH, Andreas** [DE/DE]; Hochwiesenweg 8, 82441 Ohlstadt (DE). **KAULE, Wittich** [DE/DE]; Lindacher Weg 13, 82275 Emmering (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **GIESECKE & DEVRIENT GMBH**; Patent- und Lizenzabteilung, Prinzregentenstraße 159, 81677 München (DE).

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

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

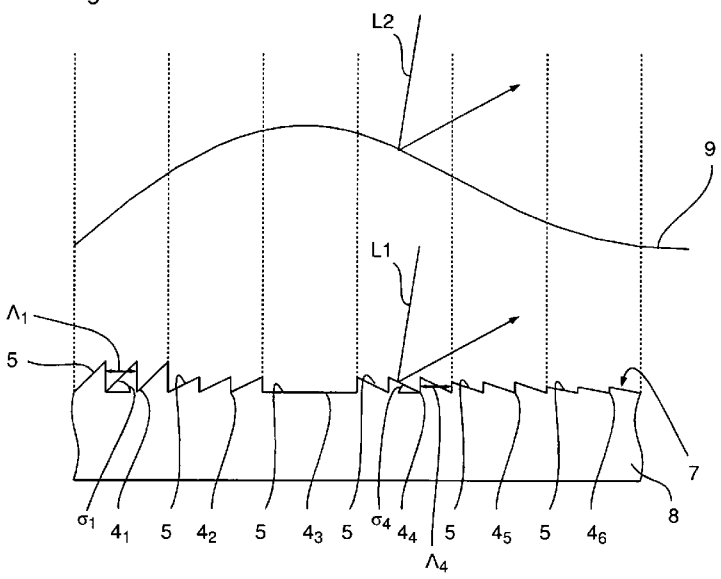
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SECURITY ELEMENT, VALUE DOCUMENT COMPRISING SUCH A SECURITY ELEMENT, AND METHOD FOR PRODUCING SUCH A SECURITY ELEMENT

(54) Bezeichnung : SICHERHEITSELEMENT, WERTDOKUMENT MIT EINEM SOLCHEN SICHERHEITSELEMENT SOWIE HERSTELLUNGSVERFAHREN EINES SICHERHEITSELEMENTES

Fig. 3



(57) Abstract: The invention relates to a security element (1) for a security paper, value document or the like, comprising a carrier (8) having a surface area (3) which is subdivided into a plurality of pixels (4) which in each case comprise at least one optically active facet (5). According to the invention, the plurality of pixels (4) comprises respectively several of the optically active facets (5) having the same orientation per pixel (4), and the facets (5) are oriented in such a way that the surface area (3) can be perceived by a viewer as a surface that projects to the front and/or the rear relative to its actual three-dimensional shape.

(57) Zusammenfassung: Es wird bereitgestellt ein Sicherheitselement (1) für ein Sicherheitspapier, Wertdokument oder dergleichen, mit einem Träger (8), der einen Flächenbereich (3) aufweist, der in eine Vielzahl von Pixeln (4), die jeweils zumindest eine optisch wirksame Facette (5) umfassen, aufgeteilt ist, wobei die Mehrzahl der Pixel (4) jeweils mehrere der optisch wirksamen Facetten (5) mit gleicher

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/066990 A2

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)*

Veröffentlicht:

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

Orientierung pro Pixel (4) aufweisen und die Facetten (5) so orientiert sind, dass für einen Betrachter der Flächenbereich (3) als gegenüber seiner tatsächlichen Raumform vor- und/ oder zurückspringende Fläche wahrnehmbar ist.

einem solchen Sicherheitselement sowie Herstellungsverfahren eines Sicherheitselementes

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Sicherheitselement für ein Sicherheitspapier, Wertdokument oder dergleichen, ein Wertdokument mit einem solchen Sicherheitselement sowie ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Sicherheitselementes.

Zu schützende Gegenstände werden häufig mit einem Sicherheitselement ausgestattet, das die Überprüfung der Echtheit des Gegenstandes erlaubt und zugleich als Schutz vor unerlaubter Reproduktion dient.

Zu schützende Gegenstände sind beispielsweise Sicherheitspapiere, Ausweis- und Wertdokumente (wie z.B. Banknoten, Chipkarten, Pässe, Identifikationskarten, Ausweiskarten, Aktien, Anlagen, Urkunden, Gutscheine, Schecks, Eintrittskarten, Kreditkarten, Gesundheitskarten, etc.) sowie Produktsicherungselemente, wie z.B. Etiketten, Siegel, Verpackungen, etc.

Eine gerade im Bereich von Sicherheitselementen weit verbreitete Technik, die einer praktisch ebenen Folie eine dreidimensionale Erscheinung gibt, sind diverse Formen der Holographie. Für die Anwendung eines Sicherheitsmerkmals, insbesondere auf Banknoten, haben diese Techniken jedoch einige Nachteile. Zum einen hängt die Qualität der dreidimensionalen Darstellung eines Hologramms stark von den Beleuchtungsverhältnissen ab. Insbesondere bei diffuser Beleuchtung sind die Darstellungen von Hologrammen oft kaum zu erkennen. Weiterhin haben Hologramme den Nachteil, dass sie im Alltag inzwischen an vielen Stellen präsent sind und daher ihre besondere Stellung als Sicherheitsmerkmal schwindet.

Davon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden und insbesondere, ein Sicherheitselement für ein Sicherheitspapier, Wertdokument oder dergleichen bereitzustellen, bei dem eine gute dreidimensionale Erscheinung bei einer äußerst flachen Ausbildung des Sicherheitselementes erzielt wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch ein Sicherheitselement für ein Sicherheitspapier, Wertdokument oder dergleichen, mit einem Träger, der einen Flächenbereich aufweist, der in eine Vielzahl von Pixeln, die jeweils zumindest eine optisch wirksame Facette umfassen, aufgeteilt ist, wobei die Mehrzahl der Pixel jeweils mehrere der optisch wirksamen Facetten mit gleicher Orientierung pro Pixel aufweisen und die Facetten so orientiert sind, dass für einen Betrachter der Flächenbereich als gegenüber seiner tatsächlichen Raumform vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnehmbar ist.

Damit kann ein äußerst flaches Sicherheitselement, bei dem z.B. die maximale Höhe der Facetten nicht größer als 10 µm ist, bereitgestellt werden, das dennoch einen sehr guten dreidimensionalen Eindruck bei Betrachtung erzeugt. Es ist daher möglich, mittels eines (makroskopisch) ebenen Flächenbereichs eine stark gewölbt erscheinende Fläche für den Betrachter nachzustellen. Grundsätzlich lassen sich in dieser Art und Weise beliebig geformte dreidimensionale Ausbildungen der wahrnehmbaren Fläche erzeugen. So können Portraits, Gegenstände, Motive oder sonstige dreidimensional erscheinende Objekte nachgestellt werden. Der dreidimensionale Eindruck wird dabei stets auf die tatsächliche Raumform des Flächenbereiches bezogen. So kann der Flächenbereich flach oder auch selbst gekrümmt ausgebildet sein. Es wird jedoch stets eine auf diese Grundflächenform bezogene

dreidimensionale Erscheinung erreicht, so dass für einen Betrachter der Flächenbereich dann nicht eben oder in der gleichen Art und Weise gekrümmt erscheint wie der Flächenbereich selbst.

Unter den als vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnehmbaren Flächenbereich wird hier insbesondere verstanden, dass der Flächenbereich als kontinuierlich gewölbte Fläche wahrnehmbar ist. So kann der Flächenbereich z. B. als Fläche mit einer scheinbaren Wölbung, die von der Krümmung oder tatsächlichen Raumform des Flächenbereiches abweicht, wahrgenommen werden. Mit dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement kann entsprechend z. B. eine gewölbte Oberfläche durch Nachstellung des entsprechenden Reflexionsverhaltens imitiert werden.

Der Flächenbereich ist insbesondere ein zusammenhängender Flächenbereich. Der Flächenbereich kann jedoch auch Lücken aufweisen oder sogar nicht zusammenhängende Teilbereiche umfassen. In dieser Art und Weise kann der Flächenbereich mit anderen Sicherheitsmerkmalen verschachtelt sein. Bei den anderen Sicherheitsmerkmalen kann es sich z. B. um ein Echtfarbenhologramm handeln, so dass ein Betrachter das Echtfarbenhologramm und die vor- und/oder zurückspringende Fläche, die durch den erfindungsgemäßen Flächenbereich bereitgestellt werden, zusammen wahrnehmen kann.

Die Orientierung der Facetten ist insbesondere so gewählt, dass für einen Betrachter der Flächenbereich als nicht ebene Fläche wahrnehmbar ist.

Die Mehrzahl der Pixel, die jeweils mehrere der optisch wirksamen Facetten mit gleicher Orientierung pro Pixel aufweisen, kann 51 % der Pixelanzahl

sein. Es ist jedoch auch möglich, dass die Mehrzahl größer als 60 %, 70 %, 80 % oder insbesondere größer als 90 % der Pixelanzahl ist.

Ferner ist es auch möglich, dass alle Pixel des Flächenbereiches jeweils mehrere der optisch wirksamen Facetten mit gleicher Orientierung aufweisen.

Die optisch wirksamen Facetten können als reflektive und/oder transmissive Facetten ausgebildet sein.

Die Facetten können in einer Oberfläche des Trägers ausgebildet sein. Ferner ist es möglich, dass die Facetten sowohl in der Ober- als auch in der Unterseite des Trägers ausgebildet sind und sich einander gegenüberliegen. In diesem Fall sind die Facetten bevorzugt als transmissive Facetten mit brechender Wirkung ausgebildet, wobei natürlich der Träger selbst auch transparent oder zumindest transluzent ist. Die Abmessungen und Orientierungen der Facetten sind dann insbesondere so gewählt, dass für einen Betrachter eine Fläche so wahrnehmbar ist, dass sie gegenüber der tatsächlichen Raumform der Ober- und/oder Unterseite des Trägers vor- und/oder zurückspringt.

Der Träger kann als Schichtverbund ausgebildet sein. In diesem Fall können die Facetten an einer Grenzfläche innerhalb des Schichtverbundes liegen. So können die Facetten z. B. in einen auf einer Trägerfolie befindlichen Prägelack geprägt, anschließend metallisiert und in einer weiteren Lackschicht (z. B. Schutzlack oder Klebelack) eingebettet sein.

Insbesondere können bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement die Facetten als eingebettete Facetten ausgebildet sein.

Insbesondere sind die optisch wirksamen Facetten so ausgebildet, dass die Pixel keine optisch diffraktive Wirkung aufweisen.

Die Abmessungen der optisch wirksamen Facetten können zwischen 1 µm und 300 µm, bevorzugt zwischen 3 µm und 100 µm und besonders bevorzugt zwischen 5 µm und 30 µm liegen. Insbesondere liegt bevorzugt ein im Wesentlichen strahlenoptisches Reflexionsverhalten bzw. eine im Wesentlichen strahlenoptische Brechungswirkung vor.

Die Abmessungen der Pixel sind so gewählt, dass die Fläche der Pixel um zumindest eine Größenordnung und bevorzugt um zumindest zwei Größenordnungen kleiner ist als die Fläche des Flächenbereiches. Unter der Fläche des Flächenbereiches sowie der Fläche der Pixel wird hier insbesondere jeweils die Fläche bei Projektion in Richtung der makroskopischen Flächennormalen des Flächenbereiches auf eine Ebene verstanden.

Insbesondere können die Abmessungen der Pixel so gewählt sein, dass die Abmessungen der Pixel zumindest in einer Richtung um zumindest eine Größenordnung und bevorzugt um zumindest zwei Größenordnungen kleiner sind als die Abmessungen der Fläche des Flächenbereiches.

Die maximale Ausdehnung eines Pixels liegt vorzugsweise zwischen 5 µm und 5 mm, bevorzugt zwischen 10 µm und 300 µm, besonders bevorzugt zwischen 20µm und 100 µm. Die Pixelform und/oder die Pixelgröße kann, muss aber nicht, innerhalb des Sicherheitselementes variieren.

Die Gitterperiode der Facetten pro Pixel (die Facetten können ein periodisches oder aperiodisches Gitter, z. B. ein Sägezahngitter, bilden) liegt vorzugsweise zwischen 1 µm und 300 µm oder zwischen 3 µm und 300 µm, be-

vorzugt zwischen 3 µm und 100 µm oder zwischen 5 µm und 100 µm, besonders bevorzugt zwischen 5 µm und 30 µm oder zwischen 10 µm und 30 µm. Die Gitterperiode wird insbesondere so gewählt, dass pro Pixel zumindest zwei Facetten gleicher Orientierung enthalten sind und dass Beugungseffekte praktisch keine Rolle mehr spielen für einfallendes Licht (z.B. aus dem Wellenlängenbereich von 380 nm bis 750 nm). Da keine bzw. keine praktisch relevanten Beugungseffekte auftreten, können die Facetten als achromatische Facetten bzw. die Pixel als achromatische Pixel bezeichnet werden, die eine gerichtet achromatische Reflexion bewirken. Das Sicherheitselement weist somit bezüglich der durch die Facetten der Pixel vorhandenen Gitterstruktur eine achromatische Reflektivität auf.

Die Facetten sind bevorzugt als im Wesentlichen ebene Flächenstücke ausgebildet. Die gewählte Formulierung, nach der die Facetten als im Wesentlichen ebene Flächenstücke ausgebildet sind, trägt dabei der Tatsache Rechnung, dass sich in der Praxis herstellungsbedingt in der Regel nie perfekt ebene Flächenstücke herstellen lassen.

Die Orientierung der Facetten wird insbesondere durch ihre Neigung und/oder ihren Azimut-Winkel bestimmt. Natürlich kann die Orientierung der Facetten auch durch andere Parameter bestimmt sein. Insbesondere handelt es sich dabei um zwei zueinander orthogonale Parameter, wie z. B. die zwei Komponenten des Normalenvektors der jeweiligen Facette.

Auf den Facetten kann zumindest bereichsweise eine reflektierende oder reflexionserhöhende Beschichtung (insbesondere eine metallische oder hochbrechende Beschichtung) ausgebildet sein. Die reflektierende oder reflexionserhöhende Beschichtung kann eine metallische Beschichtung sein, die beispielsweise aufgedampft ist. Als Beschichtungsmaterial kann insbesonde-

re Aluminium, Gold, Silber, Kupfer, Palladium, Chrom, Nickel und/oder Wolfram sowie deren Legierungen verwendet werden. Alternativ kann die reflektierende oder reflexionserhöhende Beschichtung durch eine Beschichtung mit einem Material mit hohem Brechungsindex gebildet werden.

Die reflektierende oder reflexionserhöhende Beschichtung kann insbesondere als teildurchlässige Beschichtung ausgebildet sein.

In einer weiteren Ausgestaltung kann auf den Facetten zumindest bereichsweise eine farbkippende Beschichtung ausgebildet sein. Die farbkippende Beschichtung kann insbesondere als Dünnschichtsystem bzw. Dünnfilm-Interferenzbeschichtung ausgebildet sein. Dabei kann z.B. eine Schichtfolge Metallschicht - dielektrische Schicht - Metallschicht oder eine Schichtfolge aus drei dielektrischen Schichten, wobei die Brechzahl der mittleren Schicht geringer ist als die Brechzahl der beiden anderen Schichten, verwirklicht werden. Als dielektrisches Material kann z.B. ZnS, SiO_2, TiO_2, MgF_2 verwendet werden.

Die farbkippende Beschichtung kann auch als Interferenzfilter, dünne semitransparente Metallschicht mit selektiver Transmission durch Plasmaresonanzeffekte, Nanopartikel, etc. ausgebildet sein. Die farbkippende Schicht kann insbesondere auch als Flüssigkristallschicht, diffraktive Reliefstruktur oder Sub-Wellenlängengitter realisiert sein. Auch ein Dünnfilmsystem mit einem Aufbau Reflektor, Dielektrikum, Absorber (in dieser Reihenfolge auf den Facetten ausgebildet) ist möglich.

Das Dünnfilmsystem plus Facette kann nicht nur, wie bereits beschrieben, als Facette/Reflektor/Dielektrikum/Absorber ausgebildet sein, sondern auch als Facette/Absorber/Dielektrikum/ Reflektor. Die Reihenfolge hängt insbe-

sondere davon ab, von welcher Seite das Sicherheitselement betrachtet werden soll. Ferner sind auch beidseitig sichtbare Farbkippeffekte möglich, wenn das Dünnfilmsystem plus Facette beispielsweise als Absorber/Dielektrikum/Absorber/Facette oder Absorber/Dielektrikum/Reflektor/Dielektrikum/Absorber/Facette ausgebildet ist.

Die farbkippende Beschichtung kann nicht nur als Dünnfilmsystem, sondern auch als Flüssigkristallschicht (insbesondere aus cholesterischem flüssigkristallinem Material) ausgebildet sein.

Soll ein diffus streuender Gegenstand nachgestellt werden, kann eine streuende Beschichtung oder Oberflächenbehandlung der Facetten vorgesehen werden. Eine solche Beschichtung oder Behandlung kann nach dem Lambert'schen Cosinus-Gesetz streuen oder es kann eine Streureflexion mit einer vom Lambert'schen Cosinus-Gesetz abweichenden Richtungsverteilung vorliegen. Insbesondere ist hier Streuung mit ausgeprägter Vorzugsrichtung interessant.

Bei der Herstellung der Facetten über einen Prägevorgang kann die Prägefläche des Prägewerkzeugs, mit der die Form der Facetten in den Träger bzw. in eine Schicht des Trägers geprägt werden kann, zusätzlich mit einer Mikrostruktur versehen sein, um bestimmte Effekte zu erzeugen. Beispielsweise kann die Prägefläche des Prägewerkzeugs mit einer rauen Oberfläche versehen sein, so dass beim Endprodukt Facetten mit Streureflexion entstehen.

Bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement können pro Pixel bevorzugt zumindest zwei Facetten vorgesehen sein. Es können auch drei, vier, fünf oder mehr Facetten sein.

Bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement kann die Anzahl der Facetten pro Pixel insbesondere so gewählt sein, dass eine maximale vorgegebene Facettenhöhe nicht überschritten wird. Die maximale Facettenhöhe kann beispielsweise 20 µm oder auch 10 µm betragen.

Ferner kann bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement die Gitterperiode der Facetten für alle Pixel gleich gewählt sein. Es ist jedoch auch möglich, dass einzelne oder mehrere der Pixel unterschiedliche Gitterperioden aufweisen. Ferner ist es möglich, dass die Gitterperiode innerhalb eines Pixels variiert und somit nicht konstant ist. Des Weiteren kann in die Gitterperiode noch eine Phaseninformation eingeprägt sein, die zur Codierung weiterer Informationen dient. Insbesondere kann eine Verifikationsmaske mit Gitterstrukturen bereitgestellt werden, die die gleichen Perioden und Azimut-Winkel aufweisen wie die Facetten bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement. In einem Teilbereich der Verifikationsmaske können die Gitter den gleichen Phasenparameter aufweisen wie das zu verifizierende Sicherheitselement und in anderen Bereichen eine bestimmte Phasendifferenz. Wenn die Verifikationsmaske über das Sicherheitselement gelegt wird, werden die verschiedenen Bereiche aufgrund des Moiré-Effekts dann unterschiedlich hell oder dunkel erscheinen. Insbesondere kann die Verifikationsmaske auf dem gleichen zu schützenden Gegenstand vorgesehen sein wie das erfindungsgemäße Sicherheitselement.

Bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement kann der Flächenbereich so ausgebildet sein, dass er für einen Betrachter als imaginäre Fläche wahrnehmbar ist. Darunter soll hier insbesondere verstanden werden, dass das erfindungsgemäße Sicherheitselement ein Reflexionsverhalten zeigt, das mit einer realen makroskopisch gewölbten Oberfläche nicht erzeugt werden

kann. Insbesondere kann die imaginäre Fläche als Drehspiegel wahrnehmbar sein, der das sichtbare Spiegelbild z. B. um 90° dreht.

Eine solche imaginäre Fläche und insbesondere ein solcher Drehspiegel ist für einen Betrachter sehr leicht erfassbar und zu verifizieren.

Im Prinzip kann jede reale gewölbte reflektierende bzw. transmittierende Oberfläche mittels des Flächenbereichs des erfindungsgemäßen Sicherheitselementes in eine imaginäre Fläche abgewandelt werden. Dies kann z. B. dadurch realisiert werden, dass die Azimutwinkel aller Facetten verändert werden, beispielsweise um einen bestimmten Winkel verdreht werden. Damit lassen sich interessante Effekte erzielen. Dreht man beispielsweise alle Azimutwinkel um 45° nach rechts, so ist der Flächenbereich für einen Betrachter, wenn er direkt von oben beleuchtet wird, eine gewölbte Fläche, die scheinbar von rechts oben beleuchtet wird. Verdreht man alle Azimutwinkel um 90°, so bewegen sich die Lichtreflexe beim Kippen in eine Richtung, die senkrecht auf der Richtung steht, die ein Betrachter erwarten würde. Dieses unnatürliche Reflexionsverhalten macht es einem Betrachter dann beispielsweise auch nicht mehr möglich, zu entscheiden, ob die gewölbt wahrnehmbare Fläche nach vorne oder nach hinten (bezogen auf den Flächenbereich) vorliegt.

Ferner können durch ein aperiodisches Gitter oder die Einführung zufälliger Phasenparameter gezielt Beugungseffekte unterdrückt werden.

Auch ist es möglich, die Orientierungen der Facetten zu „verrauschen" (also geringfügig gegenüber der optimalen Form für die nachzustellende Fläche zu ändern), um beispielsweise matt erscheinende Oberflächen nachzustellen. Damit scheint der Flächenbereich nicht nur vor- und/oder zurückspringend

gegenüber seiner tatsächlichen Raumform, sondern ihm kann auch noch eine registergenaue positionierte Textur verliehen werden.

Des Weiteren kann der Träger neben dem Flächenbereich einen weiteren Flächenbereich aufweisen, der bevorzugt mit dem einen Flächenbereich verschachtelt und insbesondere als weiteres Sicherheitsmerkmal ausgebildet ist. Eine solche Ausbildung kann z. B. als Verschachtelung oder als Mehrkanalbild bezeichnet werden. Der weitere Flächenbereich kann in gleicher Weise wie der eine Flächenbereich in eine Vielzahl von Pixeln, die jeweils zumindest eine optisch wirksame Facette umfassen, aufgeteilt sein, wobei bevorzugt die Mehrzahl der Pixel jeweils mehrere der optisch wirksamen Facetten mit gleicher Orientierung pro Pixel aufweisen und die Facetten so orientiert sind, dass für einen Betrachter der weitere Flächenbereich als gegenüber seiner tatsächlichen Raumform gewölbte bzw. vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnehmbar ist. Dadurch können z. B. zwei verschiedene dreidimensionale Darstellungen realisiert werden.

Mittels der Verschachtelung kann der eine Flächenbereich z. B. mit zusätzlicher registergenauer Farb- oder Graustufeninformation (Kombination beispielsweise mit Echtfarbenhologramm oder Halbtonbild z. B. auf Basis von sub-Wellenlängengittern) überlagert werden.

Des Weiteren kann in der Anordnung der Facetten eine Phaseninformation als weiteres Sicherheitsmerkmal versteckt bzw. hinterlegt werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement kann zumindest eine Facette an ihrer Oberfläche eine lichtstreuende Mikrostruktur aufweisen. Natürlich können auch mehrere oder auch alle Facetten eine solche lichtstreuende Mikrostruktur an der Facettenoberfläche aufweisen.

Beispielsweise kann die lichtstreuende Mikrostruktur als Beschichtung ausgebildet sein. Insbesondere ist es möglich, die Facetten einzubetten und als Einbettmaterial ein solches zu verwenden, mit dem die gewünschte lichtstreuende Mikrostruktur realisiert werden kann.

Mit einer solchen Ausbildung können mit dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement streuende Objekte, wie z. B. eine Marmorfigur, ein Gipsmodell, etc. nachgestellt werden.

Natürlich können die Facetten auch in einem farbigen Material eingebettet werden, um zusätzlich noch einen Farbeffekt zu realisieren bzw. einen farbigen Gegenstand nachzustellen.

Bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement können die Orientierungen mehrerer Facetten gegenüber den Orientierungen zur Erzeugung der vor- und/oder zurückspringenden Fläche so geändert sein, dass die vor- und/oder zurückspringende Fläche zwar noch wahrnehmbar ist, aber mit matt erscheinender Oberfläche. Somit kann die vor- und/oder zurückspringende Fläche auch mit einer matten Oberflächenerscheinung dargeboten werden.

Die Erfindung umfasst auch ein Verfahren zum Herstellen eines Sicherheitselementes für Sicherheitspapiere, Wertdokumente oder dergleichen, bei dem die Oberfläche eines Trägers in einem Flächenbereich so höhenmoduliert wird, dass der Flächenbereich in eine Vielzahl von jeweils zumindest eine optisch wirksame Facette aufweisende Pixeln aufgeteilt wird, wobei die Mehrzahl der Pixel jeweils mehrere optisch wirksame Facetten mit gleicher Orientierung pro Pixel aufweisen und die Facetten so orientiert sind, dass für

einen Betrachter des hergestellten Sicherheitselementes der Flächenbereich als gegenüber seiner tatsächlichen Raumform vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnehmbar ist.

Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren kann insbesondere so weitergebildet werden, dass das erfindungsgemäße Sicherheitselement sowie die Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Sicherheitselementes hergestellt werden können.

Das Herstellungsverfahren kann ferner den Schritt des Berechnens der Pixel ausgehend von einer nachzustellenden Oberfläche enthalten. Bei diesem Berechnungsschritt werden für alle Pixel die Facetten (deren Abmessungen sowie deren Orientierungen) berechnet. Anhand dieser Daten kann dann die Höhenmodulation des Flächenbereiches durchgeführt werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren kann ferner der Schritt des Beschichtens der Facetten vorgesehen sein. Die Facetten können mit einer reflektierenden oder reflexionserhöhenden Beschichtung versehen werden. Die reflektierende oder reflexionserhöhende Beschichtung kann eine vollständige Verspiegelung oder auch eine teiltransparente Verspiegelung sein.

Zur Erzeugung der höhenmodulierten Oberfläche des Trägers können bekannte Mikrostrukturierungsverfahren verwendet werden, wie z.B. Prägeverfahren. So können beispielsweise auch mit aus der Halbleiterfertigung bekannten Verfahren (Photolithographie, Elektronenstrahllithographie, Laserstrahllithographie, etc.) geeignete Strukturen in Resistmaterialien belichtet, eventuell veredelt, abgeformt und zur Fertigung von Prägewerkzeugen verwendet werden. Es können bekannte Verfahren zur Prägung in thermo-

plastischen Folien oder in mit strahlungshärtenden Lacken beschichtete Folien eingesetzt werden. Der Träger kann mehrere Schichten aufweisen, die sukzessive aufgebracht und gegebenenfalls strukturiert werden und/oder kann aus mehreren Teilen zusammengesetzt werden.

Das Sicherheitselement kann insbesondere als Sicherheitsfaden, Aufreißfaden, Sicherheitsband, Sicherheitsstreifen, Patch oder als Etikett zum Aufbringen auf ein Sicherheitspapier, Wertdokument oder dergleichen ausgebildet sein. Insbesondere kann das Sicherheitselement transparente oder zumindest transluzente Bereiche oder Ausnehmungen überspannen.

Unter dem Begriff Sicherheitspapier wird hier insbesondere die noch nicht umlauffähige Vorstufe zu einem Wertdokument verstanden, die neben dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement beispielsweise auch weitere Echtheitsmerkmale (wie z.B. im Volumen vorgesehene Lumineszenzstoffe) aufweisen kann. Unter Wertdokumenten werden hier einerseits aus Sicherheitspapieren hergestellte Dokumente verstanden. Andererseits können Wertdokumente auch sonstige Dokumente und Gegenstände sein, die mit dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement versehen werden können, damit die Wertdokumente nicht kopierbare Echtheitsmerkmale aufweisen, wodurch eine Echtheitsprüfung möglich ist und zugleich unerwünschtes Kopieren verhindert wird.

Es wird ferner bereitgestellt ein Prägewerkzeug mit einer Prägefläche, mit der die Form der Facetten eines erfindungsgemäßen Sicherheitselementes (einschließlich seiner Weiterbildungen) in den Träger bzw. in eine Schicht des Trägers geprägt werden kann.

Die Prägefläche weist bevorzugt die invertierte Form der zu prägenden Oberflächenkontur auf, wobei diese invertierte Form mit Vorteil durch die Ausbildung von entsprechenden Vertiefungen erzeugt ist.

Ferner kann das erfindungsgemäße Sicherheitselement als Master zur Belichtung von Volumenhologrammen oder zu rein dekorativen Zwecken benutzt werden.

Um das Volumenhologramm zu belichten, kann eine fotosensitive Schicht, in der das Volumenhologramm ausgebildet werden soll, unmittelbar oder unter Zwischenschaltung eines transparenten optischen Mediums in Kontakt mit der Vorderseite des Masters und somit mit der Vorderseite des Sicherheitselementes gebracht werden.

Dann werden die fotosensitive Schicht und der Master mit einem kohärenten Lichtstrahl belichtet, wodurch das Volumenhologramm in die fotosensitive Schicht geschrieben wird. Das Vorgehen kann gleich oder ähnlich zu dem in der DE 10 1006 016 139 A1 beschriebenen Vorgehen zur Erzeugung eines Volumenhologramms sein. Das grundsätzliche Vorgehen ist beispielsweise in den Abschnitten Nr. 70 bis 79 auf Seiten 7 und 8 der genannten Druckschrift in Verbindung mit Figuren 1a, 1b, 2a und 2b beschrieben. Hiermit wird der gesamte Inhalt der DE 10 2006 016 139 A1 in Bezug auf die Herstellung von Volumenhologrammen in die vorliegende Anmeldung aufgenommen.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in den angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Nachfolgend wird die Erfindung beispielshalber anhand der beigefügten Zeichnungen, die auch erfindungswesentliche Merkmale offenbaren, noch näher erläutert. Zur besseren Anschaulichkeit wird in den Figuren auf eine maßstabs- und proportionsgetreue Darstellung verzichtet. Es zeigen:

Figur 1 eine Draufsicht einer Banknote mit einem erfindungsgemäßen Sicherheitselement 1;

Figur 2 eine vergrößerte Draufsicht eines Teils der Fläche 3 des Sicherheitselementes 1;

Figur 3 eine Querschnittsansicht entlang der Linie 6 in Figur 2;

Figur 4 eine schematische perspektivische Darstellung des Pixels 4_7 von Figur 2;

Figur 5 eine Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform einiger Facetten des Sicherheitselementes 1;

Figur 6 eine Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform einiger Facetten des Sicherheitselementes 1;

Figur 7 eine Schnittansicht zur Erläuterung der Berechnung der Facetten;

Figur 8 eine Draufsicht zur Erläuterung eines Quadratrasters zur Berechnung der Pixel;

Figur 9 eine Draufsicht zur Erläuterung eines 60°-Rasters zur Berechnung der Pixel;

Figur 10 eine Draufsicht auf drei Pixel 4 der Fläche 3;

Figur 11 eine Querschnittsansicht der Darstellung von Figur 10;

Figur 12 eine Draufsicht auf drei Pixel 4 der Fläche 3;

Figur 13 eine Querschnittsansicht der Draufsicht von Figur 12;

Figur 14 eine Draufsicht auf drei Pixel 4 der Fläche 3;

Figur 15 eine Schnittansicht der Draufsicht von Figur 14;

Figur 16 eine Draufsicht zur Erläuterung der Berechnung der Pixel gemäß einer weiteren Ausführungsform;

Figur 17 eine Schnittansicht der Anordnung der Facetten der Pixel auf einer zylindrischen Grundfläche;

Figur 18 eine Schnittansicht zur Erläuterung der Herstellung der Pixel für die Anwendung gemäß Figur 17;

Figuren 19 - 21 Darstellungen zur Erläuterung der Winkel bei reflektiven und transmissiven Facetten;

Figur 22 eine Schnittansicht einer nachzustellenden reflektiven Oberfläche;

Figur 23 eine Schnittansicht einer die Oberfläche gemäß Figur 22 nachstellenden Linse 22;

Figur 24 eine Schnittansicht der transmissiven Facetten für die Nachbildung der Linse gemäß Figur 23;

Figur 25 eine Schnittansicht einer nachzustellenden reflektiven Oberfläche;

Figur 26 eine Schnittansicht einer die Oberfläche gemäß Figur 25 nachstellenden Linse 22;

Figur 27 eine Schnittansicht der entsprechenden transmissiven Facetten zur Nachbildung der Linse gemäß Figur 24;

Figur 28 eine Schnittansicht einer Ausführungsform, bei der auf beiden Seiten des Trägers 8 transmissive Facetten ausgebildet sind;

Figur 29 eine Schnittansicht gemäß einer weiteren Ausführungsform, bei der auf beiden Seiten des Trägers 8 transmissive Facetten ausgebildet sind;

Figur 30 eine Darstellung zur Erläuterung der Winkel bei der Ausführungsform, bei der auf beiden Seiten des Trägers 8 transmissive Facetten ausgebildet sind;

Figur 31 eine schematische Schnittansicht eines Prägewerkzeuges zur Herstellung des erfindungsgemäßen Sicherheitselementes gemäß Figur 5.

Fig. 32a -32 c Darstellungen zur Erläuterung eingebetteter Facetten, wobei die Facetten als reflektive Facetten ausgebildet sind;

Fig. 33a + 33b Darstellungen zur Erläuterung eingebetteter Facetten, wobei die Facetten als transmissive Facetten ausgebildet sind;

Figur 34 eine Darstellung zur Erläuterung eingebetteter streuender Facetten, und

Figur 35 eine Darstellung zur Erläuterung eingebetteter matt glänzender Facetten.

Bei der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform ist das erfindungsgemäße Sicherheitselement 1 so in einer Banknote 2 integriert, dass das Sicherheitselement 1 von der in Figur 1 gezeigten Vorderseite der Banknote 2 sichtbar ist.

Das Sicherheitselement 1 ist als reflektives Sicherheitselement 1 mit rechteckiger Außenkontur ausgebildet, wobei die durch die rechteckige Außenkontur begrenzte Fläche 3 in eine Vielzahl von reflektiven Pixeln 4 aufgeteilt ist, von denen ein geringer Teil vergrößert in Figur 2 als Draufsicht dargestellt sind.

Die Pixel 4 sind hier quadratisch und weisen eine Kantenlänge im Bereich von 10 bis mehrere 100 µm auf. Bevorzugt ist die Kantenlänge nicht größer

als 300 µm. Insbesondere kann sie im Bereich zwischen 20 und 100 µm liegen.

Die Kantenlänge der Pixel 4 ist insbesondere so gewählt, dass die Fläche jedes Pixels 4 um zumindest eine Größenordnung, bevorzugt um zwei Größenordnungen kleiner ist als die Fläche 3.

Die Mehrzahl der Pixel 4 weisen jeweils mehrere reflektive Facetten 5 gleicher Orientierung auf, wobei die Facetten 5 die optisch wirksamen Flächen eines reflektiven Sägezahngitters sind.

In Figur 3 ist die Schnittansicht entlang der Linie 6 für sechs benachbarte Pixel 4_1, 4_2, 4_3, 4_4, 4_5 und 4_6 dargestellt, wobei die Darstellung in Figur 3 sowie auch in den anderen Figuren teilweise zur besseren Darstellbarkeit nicht maßstabsgetreu ist. Ferner ist zur Vereinfachung der Darstellung in den Figuren 1 bis 3 sowie auch in Figur 4 die reflektierende Beschichtung auf den Facetten 5 nicht eingezeichnet.

Das Sägezahngitter der Pixel 4 ist hier in einer Oberfläche 7 eines Trägers 8 ausgebildet, wobei die so strukturierte Oberfläche 7 bevorzugt mit einer reflektierenden Beschichtung (in Figur 3 nicht gezeigt) beschichtet ist. Bei dem Träger 8 kann es sich beispielsweise um einen strahlungshärtenden Kunststoff (UV-Harz) handeln, der auf einer nicht gezeigten Trägerfolie (beispielsweise eine PET-Folie) aufgebracht ist.

Wie Figur 3 zu entnehmen ist, weisen die Pixel 4_1, 4_2, 4_4, 4_5 und 4_6 jeweils drei Facetten 5 auf, deren Orientierung pro Pixel 4_1, 4_2, 4_4, 4_5 und 4_6 jeweils gleich ist. Die Sägezahngitter und somit auch die Facetten 5 dieser Pixel sind hier bis auf ihre unterschiedliche Neigung σ_1, σ_4 gleich (zur Vereinfachung der

Darstellung sind nur die Neigungswinkel σ_1 und σ_4 von jeweils einer Facette 5 der Pixel 4_1 und 4_4 eingezeichnet). Das Pixel 4_3 weist hier nur eine einzige Facette 5 auf.

In Draufsicht gesehen (Figur 2) sind die Facetten 5 der Pixel 4_1 - 4_6 streifenförmige Spiegelflächen, die zueinander parallel ausgerichtet sind. Die Orientierung der Facetten 5 ist dabei so gewählt, dass für einen Betrachter die Fläche 3 als gegenüber ihrer tatsächlichen (makroskopischen) Raumform, die hier die Form einer ebenen Fläche ist, vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnehmbar ist. Hier nimmt ein Betrachter die in Figur 3 im Schnitt dargestellte Oberfläche 9 wahr, wenn er auf die Facetten 5 blickt. Dies wird durch Wahl der Orientierungen der Facetten 5 erreicht, die das einfallende Licht L1 so reflektieren, als ob es auf eine Fläche gemäß der durch Linie 9 in Figur 3 angedeuteten Raumform fällt, wie durch das einfallende Licht L2 schematisch dargestellt ist. Die durch die Facetten 5 eines Pixels 4 erzeugte Reflexion entspricht der mittleren Reflexion des durch das entsprechende Pixel 4 umgesetzten bzw. nachgestellten Bereiches der Oberfläche 9.

Bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement 1 wird somit ein dreidimensional erscheinendes Höhenprofil durch eine hier gerasterte Anordnung reflektiver Sägezahnstrukturen (Facetten 5 pro Pixel 4), die das Reflexionsverhalten des Höhenprofils imitieren, nachgestellt. Mit der Fläche 3 können somit beliebige dreidimensional wahrnehmbare Motive erzeugt werden, wie z.B. eine Person, Teile einer Person, eine Zahl oder sonstige Gegenstände.

Neben der Steigung σ der einzelnen Facetten 5 ist auch der Azimut-Winkel α der nachgestellten Oberfläche anzupassen. Für die Pixel 4_1 - 4_6 beträgt der Azimut-Winkel α relativ zur Richtung gemäß Pfeil P1 (Figur 2) 0°. Für das Pixel 4_7 beträgt der Azimut-Winkel α beispielsweise ca. 170°. Das Sägezahn-

gitter des Pixels 4_7 ist in Figur 4 schematisch in dreidimensionaler Darstellung gezeigt.

Zur Herstellung des Sicherheitselementes 1 können die reflektiven Sägezahnstrukturen beispielsweise mittels Graustufenlithographie in einen Fotolack geschrieben, anschließend entwickelt, galvanisch abgeformt, in UV-Lack (Träger) geprägt und verspiegelt werden. Die Verspiegelung kann beispielsweise mittels einer aufgebrachten Metallschicht (beispielsweise aufgedampft) verwirklicht werden. Typischerweise wird eine Aluminiumschicht mit einer Stärke von z.B. 50 nm aufgebracht. Natürlich können auch andere Metalle, wie z.B. Silber, Kupfer, Chrom, Eisen, etc. oder Legierungen davon verwendet werden. Auch können alternativ zu Metallen hochbrechende Beschichtungen aufgebracht werden, beispielsweise ZnS oder TiO_2. Die Bedampfung kann vollflächig sein. Es ist jedoch auch möglich, eine nur bereichsweise bzw. rasterförmige Beschichtung durchzuführen, so dass das Sicherheitselement 1 teilweise transparent bzw. transluzent ist.

Die Periode Λ der Facetten 5 ist im einfachsten Fall für alle Pixel 4 gleich. Es ist jedoch auch möglich, die Periode Λ der Facetten 5 pro Pixel 4 zu variieren. So weist z.B. das Pixel 4_7 eine kleinere Periode Λ auf als die Pixel 4_1 - 4_6 (Figur 2). Insbesondere kann die Periode Λ der Facetten 5 für jedes Pixel zufällig gewählt werden. Durch eine Variation der Wahl der Periode Λ der Sägezahngitter für die Facetten 5 kann eine eventuell vorhandene Sichtbarkeit eines auf die Sägezahngitter zurückgehenden Beugungsbildes minimiert werden.

Innerhalb eines Pixels 4 ist eine feste Periode Λ vorgesehen. Grundsätzlich ist es jedoch auch möglich, die Periode Λ innerhalb eines Pixels 4 zu variieren, so dass aperiodische Sägezahngitter pro Pixel 4 vorliegen.

Die Periode Λ der Facetten 5 liegt zur Vermeidung unerwünschter Beugungseffekte einerseits und zur Minimierung der nötigen Foliendicke (Dicke des Trägers 8) andererseits bevorzugt zwischen 3 µm und 300 µm. Insbesondere liegt der Abstand zwischen 5 µm und 100 µm, wobei besonders bevorzugt ein Abstand zwischen 10 µm und 30 µm gewählt ist.

Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel sind die Pixel 4 quadratisch. Es ist jedoch auch möglich, die Pixel 4 rechteckförmig auszubilden. Auch können andere Pixelformen benutzt werden, wie z.B. eine parallelogrammförmige oder hexagonale Pixelform. Die Pixel 4 weisen dabei bevorzugt Abmessungen auf, die einerseits größer sind als der Abstand der Facetten 5 und andererseits so klein sind, dass die einzelnen Pixel 4 dem unbewaffneten Auge nicht störend auffallen. Der sich aus diesen Anforderungen ergebende Größenbereich liegt zwischen etwa 10 und einigen 100 µm.

Steigungen σ und Azimut-Winkel α der Facetten 5 innerhalb eines Pixels 4 ergeben sich dann aus der Steigung des nachgestellten Höhenprofils 9.

Neben der Steigung σ und dem Azimut-Winkel α kann weiterhin für jedes Pixel 4 optional ein Phasenparameter p_i eingeführt werden. Das Oberflächenrelief des Sicherheitselementes 1 kann dann im i-ten Pixel 4_i durch folgende Höhenfunktion h_i (x,y) beschrieben werden:

$$h_i(x,y) = A_i[(-x \cdot \sin\alpha_i + y \cdot \cos\alpha_i + p_i) \bmod \Lambda_i]$$

Dabei sind A_i die Amplitude des Sägezahngitters, α_i der Azimut-Winkel und Λ_i die Gitterperiode. "mod" steht für die Modulo-Operation und liefert den

positiven Rest bei Division. Der Amplitudenfaktor A_i ergibt sich aus der Steigung des nachgestellten Oberflächenprofils 9.

Durch Veränderung des Phasenparameters p_i lassen sich die Sägezahngitter bzw. die Facetten 5 unterschiedlicher Pixel 4 relativ zueinander verschieben. Für die Parameter p_i können zufällige Werte oder sonstige pro Pixel 4 variierende Werte benutzt werden. Dadurch kann ein eventuell noch sichtbares Beugungsmuster des Sägezahngitters (der Facetten 5 pro Pixel 4) oder des Rastergitters der Pixel 4 beseitigt werden, was ansonsten unerwünschte Farbeffekte verursachen kann. Ferner gibt es aufgrund der variierten Phasenparameter p_i auch keine ausgezeichneten Richtungen, in denen die Sägezahngitter benachbarter Pixel 4 besonders gut oder besonders schlecht aneinander passen, was einer sichtbaren Anisotropie vorbeugt.

Bei dem erfindungsgemäßen Sicherheitselement 1 können der Azimut-Winkel α sowie die Steigungen σ der Facetten 5 pro Pixel 4 so gewählt werden, dass sie nicht möglichst gut der nachgestellten Oberfläche 9 entsprechen, sondern davon etwas abweichen. Dazu kann für jedes Pixel 4 auf den optimalen Wert zur Nachstellung der Oberfläche 9 entsprechend einer geeigneten Verteilung eine (bevorzugt zufällige) Komponente dazu addiert werden. Je nach Größe des Pixels 4 und Stärke des Rauschens (Standardabweichung der Verteilung) können so unterschiedliche interessante Effekte erzielt werden. Bei sehr feinen Pixeln 4 (um 20 µm) erscheint die sonst glänzende Oberfläche mit zunehmendem Rauschen zunehmend matt. Bei größeren Pixeln (um 50 µm) erhält man ein mit einer Metallic-Lackierung vergleichbares Aussehen. Bei sehr großen Pixeln (mehrere 100 µm) werden die einzelnen Pixel 4 vom unbewaffneten Auge aufgelöst. Sie erscheinen dann wie grobe aber glatte Abschnitte, die unter verschiedenen Betrachtungswinkeln hell aufleuchten.

Die Stärke des Rauschens kann für verschiedene Pixel 4 unterschiedlich gewählt werden, wodurch die gewölbt erscheinende Oberfläche an verschiedenen Stellen unterschiedlich glatt oder matt wirken kann. So kann beispielsweise der Effekt erzeugt werden, dass der Betrachter die Fläche 3 als glatte vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnimmt, die eine matte Beschriftung oder Textur aufweist.

Ferner ist es möglich, auf den Facetten 5 eine farbkippende Beschichtung, insbesondere ein Dünnfilmsystem, aufzubringen. Das Dünnfilmsystem kann beispielsweise eine erste, eine zweite und eine dritte dielektrische Schicht aufweisen, die aufeinander ausgebildet sind, wobei die erste und dritte Schicht eine höhere Brechzahl aufweisen als die zweite Schicht. Aufgrund der unterschiedlichen Neigungen der Facetten 5 sind für einen Betrachter unterschiedliche Farben wahrnehmbar, ohne das Sicherheitselement 1 drehen zu müssen. Die wahrnehmbare Fläche weist somit ein gewisses Farbspektrum auf.

Das Sicherheitselement 1 kann insbesondere als Mehrkanalbild ausgebildet sein, das verschiedene, ineinander verschachtelte Teilflächen aufweist, wobei zumindest eine der Teilflächen in erfindungsgemäßer Art und Weise ausgebildet ist, so dass diese Teilfläche für den Betrachter als räumliche Teilfläche wahrnehmbar ist. Natürlich können auch die anderen Teilflächen in der beschriebenen Art und Weise mittels Pixel 4 mit zumindest einer Facette 5 ausgebildet sein. Auch die anderen Teilflächen können, müssen aber nicht, als gegenüber der tatsächlichen Raumform vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnehmbar sein. Die Verschachtelung kann beispielsweise schachbrettartig oder auch streifenartig ausgebildet sein. Durch die Verschachtelung mehrerer Teilflächen lassen sich interessante Effekte erzielen. Wenn z.B.

die Nachstellung einer Kugeloberfläche mit der Darstellung einer Zahl verschachtelt wird, kann dies so durchgeführt werden, dass für den Betrachter der Eindruck entsteht, die Zahl befände sich im Inneren einer Glaskugel mit halbspiegelnder Oberfläche.

Neben der bereits beschriebenen Verwendung von farbkippenden Beschichtungen ist es ferner möglich, das erfindungsgemäße Sicherheitselement 1 zusätzlich mit Farbinformationen zu versehen. So kann z.B. Farbe auf die Facetten 5 gedruckt werden (entweder transparent oder dünn) oder unterhalb einer zumindest teilweise transparenten bzw. transluzenten Sägezahnstruktur vorgesehen werden. Beispielsweise kann dadurch eine Einfärbung eines mittels der Pixel 4 dargestellten Motivs durchgeführt werden. Wenn z.B. ein Portrait nachgestellt wird, kann die Farbschicht die Gesichtsfarbe liefern.

Auch eine Kombination mit einem Echtfarbenhologramm oder Kinegramm, insbesondere die Verschachtelung mit einem Echtfarbenhologramm, das eine farbige Darstellung der mit den Pixeln 4 nachgestellten Oberfläche 9 zeigt, ist möglich. Damit erscheint das an sich achromatisch dreidimensionale Bild eines Objektes unter bestimmten Winkeln farbig.

Ferner ist eine Kombination mit einem Subwellenlängengitter möglich. Insbesondere die verschachtelte Darstellung des gleichen Motivs durch beide Techniken ist vorteilhaft, bei der die dreidimensionale Wirkung der Sägezahnstrukturen mit der Farbinformation der Subwellenlängengitter kombiniert wird.

Bei der mit den Pixeln 4 nachgestellten Oberfläche 9 kann es sich insbesondere um eine sogenannte imaginäre Fläche handeln. Darunter wird hier die

Ausbildung eines Reflexions- bzw. Transmissionsverhaltens verstanden, das mit einer realen gewölbten reflektierenden bzw. transmittierenden Oberfläche nicht erzeugt werden kann.

Zur weiteren Erläuterung des Begriffs der imaginären Fläche wird nachfolgend ein mathematisches Kriterium zur Abgrenzung von realen Flächen eingeführt und am Beispiel eines Drehspiegels erläutert.

Bei der Nachstellung einer realen gewölbten Oberfläche ist diese durch eine Höhenfunktion h(x,y) beschreibbar. Dabei kann man hier davon ausgehen, dass die Funktion h(x,y) differenzierbar ist (nicht differenzierbare Funktionen ließen sich durch differenzierbare Funktionen approximieren, die beim Beobachter letztendlich den gleichen Effekt hervorrufen würden). Integriert man nun den Gradienten von h(x,y) entlang einer beliebig geschlossenen Kurve C so verschwindet das Integral:

$$\oint_C \nabla h(x,y)\vec{ds} = 0$$

Bildlich gesprochen bedeutet dies, dass man entlang eines geschlossenen Weges die gleichen Höhenunterschiede hoch wie runter läuft und am Ende wieder auf der gleichen Höhe ankommt. Die Summe der auf diesem Weg überwundenen Höhendifferenzen muss also Null sein.

Im erfindungsgemäßen Sicherheitselement 1 entsprechen Steigung und Azimut der Facetten 5 dem Gradienten der Höhenfunktion. Dabei lassen sich nun Fälle konstruieren, bei denen Steigung und Azimut der Facetten 5 zwar praktisch kontinuierlich ineinander übergehen, sich aber keine Höhenfunktion finden lässt, mit der obiges Integral verschwindet. In diesem Fall soll von der Nachstellung einer imaginären Fläche die Rede sein.

Eine spezielle Ausführung ist z.B. ein Drehspiegel. Dazu betrachtet man zunächst die Nachstellung eines realen konvexen Spiegels mit parabolischem Profil. Die Höhenfunktion ist gegeben durch

$$h(x,y) = -c(x^2 + y^2)$$

Wobei c > 0 eine Konstante ist und die Krümmung des Spiegels bestimmt. In einem solchen Spiegel kann der Betrachter ein aufrechtstehendes verkleinertes Spiegelbild von sich sehen. Die Parameter der Sägezahnstrukturen sind dann gegeben durch

$$\alpha(x,y) = \arctan(x,y)$$

und

$$A(x,y) = 2c\sqrt{(x^2 + y^2)}$$

Addiert man auf den Azimut-Winkel α nun einen konstanten Winkel δ, so wird das Spiegelbild um eben diesen Winkel gedreht. Sofern es sich bei δ nicht um ganzzahlige Vielfache von 180° handelt, entsteht so eine imaginäre Oberfläche. Wählt man beispielsweise δ = 90°, so wird das Spiegelbild um 90° gedreht und man erhält ein Spiegelbild, das mit einer glatten gewölbten realen Oberfläche nicht zu erzielen ist. Setzt man den Gradienten von h gleich mit der Steigung der Sägezahnstrukturen, so kann man nun geschlossene Kurven finden, bei denen obiges Integral nicht verschwindet. Beispielsweise ergibt eine Kurve K entlang eines Kreises um den Mittelpunkt mit Radius R > 0

$$\oint_K \nabla h(x,y)d\vec{s} = \oint_K 2c \cdot ds = 4\pi cR \neq 0$$

Bildlich gesprochen stellt dieser Drehspiegel also eine Oberfläche nach, bei der man entlang eines Kreises kontinuierlich bergauf läuft, am Ende aber wieder auf der gleichen Höhe ankommt, auf der man gestartet ist. Eine solche reale Oberfläche kann es offensichtlich nicht geben.

Bei den bisher beschriebenen Sicherheitselementen 1 wurde davon ausgegangen, dass die Fläche als reflektive Fläche ausgebildet ist. Die gleichen Effekte der dreidimensionalen Wirkung lassen sich im Wesentlichen jedoch auch in Transmission erzielen, wenn die Sägezahnstrukturen bzw. die Pixel 4 mit den Facetten 5 (einschließlich des Trägers 8) zumindest teilweise transparent sind. Bevorzugt liegen die Sägezahnstrukturen zwischen zwei Schichten mit unterschiedlichen Brechungsindizes. In diesem Falle erscheint das Sicherheitselement 1 dem Betrachter dann wie ein Glaskörper mit gewölbter Oberfläche.

Die beschriebenen vorteilhaften Ausgestaltungen lassen sich auch für die transmissive Ausbildung des Sicherheitselementes 1 anwenden. So kann beispielsweise der Drehspiegel einer imaginären Fläche in Durchsicht das Bild drehen.

Die transmissive Ausbildung des Sicherheitselements wird nachfolgend noch detaillierter in Verbindung mit den Figuren 19 bis 29 beschrieben.

Die Fälschungssicherheit des erfindungsgemäßen Sicherheitselementes 1 kann durch weitere, nur mit Hilfsmittel sichtbare Merkmale, die auch als versteckte Merkmale bezeichnet werden können, erhöht werden.

So können z.B. in den Phasenparametern der einzelnen Pixel 4 zusätzliche Informationen kodiert werden. Insbesondere kann eine Verifikationsmaske mit Gitterstrukturen hergestellt werden, die die gleichen Perioden und Azimut-Winkel aufweisen wie das erfindungsgemäße Sicherheitselement 1. In einem Teilbereich der Fläche können die Gitter der Verifikationsmaske den gleichen Phasenparameter aufweisen wie das zu verifizierende Sicherheitselement, in anderen Bereichen eine bestimmte Phasendifferenz. Diese verschiedenen Bereiche werden durch Moiré-Effekte dann unterschiedlich hell oder dunkel erscheinen, wenn das Sicherheitselement 1 und die Verifikationsmaske übereinander gelegt werden.

Insbesondere kann die Verifikationsmaske auch in der Banknote 2 oder dem sonstigen, mit dem Sicherheitselement 1 versehenen Element vorgesehen sein.

Die Pixel 4 können neben den beschriebenen Umrissformen auch andere Umrisse haben. Mit einer Lupe bzw. einem Mikroskop können diese Umrisse dann erkannt werden.

Ferner kann in einem kleinen Anteil der Pixel 4 statt der entsprechenden Sägezähne bzw. Facetten 5 auch eine beliebige andere Struktur eingeprägt oder eingeschrieben werden, ohne dass dies dem unbewaffneten Auge auffällt. In diesem Fall sind diese Pixel nicht Bestandteil der Fläche 3, so dass eine Verschachtelung der Fläche 3 mit den anders ausgebildeten Pixeln vorliegt. Diese anderen ausgebildeten Pixeln können beispielsweise jedes 100. Pixel im Vergleich zu den Pixeln 4 der Fläche 3 sein. Man kann in diese Pixel eine Mikroschrift oder ein Logo einbringen, beispielsweise 10 µm große Buchstaben in einem 40 µm großen Pixel.

Bei den bisher beschriebenen Ausführungsbeispielen sind die Facetten in der Oberfläche 7 des Trägers 8 so gebildet, dass die tiefsten Punkte bzw. die minimalen Höhenwerte aller Facetten 5 (Figur 3) in einer Ebene liegen. Es ist jedoch auch möglich, die Facetten 5 so zu bilden, dass die Mittelwerte der Höhen aller Facetten 5 auf gleicher Höhe liegen, wie in Figur 5 schematisch dargestellt ist. Ferner ist es möglich, die Facetten 5 so auszubilden, dass die Spitzenwerte bzw. die maximalen Höhenwerte aller Facetten 5 der Pixel 4 auf gleicher Höhe liegen, wie in Figur 6 schematisch angedeutet ist.

In Figur 7 ist eine Schnittdarstellung in gleicher Weise wie in Figur 3 gezeigt, wobei jedoch für das Pixel 4_4 eine Spiegelfläche 10 eingezeichnet ist, die im Bereich des Pixels 4_4 die Oberfläche 9 nachstellt. Bei einer Pixelgröße von beispielsweise 20 µm bis 100 µm würde ein solches Spiegelfläche 10 dazu führen, dass unerwünscht große Höhen d vorliegen würden. Bei einer Spiegelneigung von 45° würde die entsprechende Spiegelfläche 10 um 20 µm bis 100 µm aus der x-y-Ebene herausragen. Es sind jedoch bevorzugt maximale Höhen d von 10 µm gewünscht. Daher wird die Spiegelfläche 10 noch einer Modulo d Operation unterworfen, so dass die in Figur 7 gezeichneten Facetten 5 gebildet werden, wobei die Normalenvektoren n der Facetten 5 dem Normalenvektor n der Spiegelfläche 10 entsprechen.

Die nachzustellende Oberfläche 9 kann beispielsweise als Menge von x,y-Werten mit jeweils zugeordneter Höhe h in z-Richtung (3D-Bitmap) vorliegen. Über ein solches 3D-Bitmap kann in der x-y-Ebene ein definiertes Quadrat- oder 60°-Raster (Figuren 8, 9) aufgebaut werden. Die Rasterpunkte verbindet man so, dass sich eine Flächendeckung in der x-y-Ebene mit Dreieckskacheln ergibt, wie dies in Figuren 8 und 9 schematisch dargestellt ist.

An den drei Eckpunkten einer jeden Kachel entnimmt man die h-Werte aus dem 3D-Bitmap. Den kleinsten dieser h-Werte zieht man von den h-Werten der drei Eckpunkte der Kacheln ab. Mit diesen neuen h-Werten an den Eckpunkten wird eine Sägezahnfläche aus schrägstehenden Dreiecken (dreieckige Ebenenstücke) aufgebaut. Die zu weit aus der x-y-Ebene herausragenden Ebenenstücke werden durch die Facetten 5 ersetzt. Damit hat man die Flächenbeschreibung für die Facetten 5 und kann das erfindungsgemäße Sicherheitselement 1 herstellen.

Die nachzustellende Oberfläche 9 kann durch eine mathematische Formel $f(x,y,z) = h(x,y) - z = 0$ gegeben sein. Die Facetten 5 bzw. deren Orientierungen erhält man aus Tangentialebenen der nachzustellenden Oberfläche 9. Diese lassen sich aus der mathematischen Ableitung der Funktion $f(x,y,z)$ ermitteln. Die in einem Punkt x_0, y_0 angebrachte Facette 5 wird beschrieben durch den Normalenvektor:

$$\vec{n} = \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0, z_0) \\ \frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0, z_0) \\ \frac{\partial f}{\partial z}(x_0, y_0, z_0) \end{pmatrix} / \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0, z_0)\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0, z_0)\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}(x_0, y_0, z_0)\right)^2}$$

Der Azimut-Winkel α der Tangentialebene ist $\arctan(n_y/n_x)$ und der Steigungswinkel σ der Tangentialebene ist $\arccos n_z$. Die Fläche $f(x,y,z) =$ kann beliebig gekrümmt sein und (x_0,y_0,z_0) ist der Punkt auf der Fläche, für den die Berechnung gerade durchgeführt wird. Die Berechung wird nacheinander für alle für die Sägezahnstruktur ausgewählten Punkte durchgeführt.

Aus den schrägliegenden Ebenen mit den so berechneten Normalenvektoren, die an den ausgewählten Punkten in der x-y-Ebene anzubringen sind, werden jeweils Bereiche ausgeschnitten, so dass bei benachbarten x-y-Punkten

Überlappungen der zugehörigen Elemente vermieden werden. Die schräg-liegenden Ebenenstücke, die zu weit aus der x-y-Ebene herausragen, werden in kleinere Facetten 5 unterteilt, wie in Verbindung mit Figur 7 beschrieben wurde.

Die nachzustellende Oberfläche kann durch Dreiecks-Flächenstücke beschrieben sein, wobei die ebenen Dreiecksstücke zwischen ausgewählten Punkten aufgespannt sind, die innerhalb und am Rand der nachzustellenden Oberfläche liegen. Die Dreiecke können als Ebenenstücke durch folgende mathematische Funktion f (x,y,z) beschrieben werden

$$f(x,y,z) = \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0,$$

dabei sind x_i, y_i, z_i die Dreiecks-Eckpunkte.

In diesem Fall kann die Fläche in die x-y-Ebene projiziert und die einzelnen Dreiecke gemäß ihrem Normalenvektor schräg gestellt werden. Die schräg-liegenden Ebenenstücke bilden die Facetten und werden, falls sie zu weit aus der x-y-Ebene herausragen, wie in Verbindung mit Figur 7 beschrieben wurde, in kleinere Facetten 5 unterteilt.

Wenn die nachzustellende Oberfläche durch Dreiecks-Flächenstücke gegeben ist, kann man auch folgendermaßen vorgehen. Man unterwirft die gesamte nachzustellende Oberfläche auf einmal (bzw. Teilstücke jeder Oberfläche) einer Fresnel-Konstruktion Modulo d (bzw. Modulo d_i). Da die nachzustellende Oberfläche aus Ebenenstücken besteht, entstehen an der x-y-Ebene automatisch Dreiecke, die mit den Facetten 5 gefüllt sind.

Die Konstruktion der Facetten kann auch wie folgt durchgeführt werden. In der x-y-Ebene, über der die nachzustellende Oberfläche 9 definiert ist, wählt man geeignete x-y-Punkte und verbindet sie so, dass sich eine Flächendeckung der x-y-Ebene mit Polygonkacheln ergibt. Über einem beliebig gewählten Punkt (z.B. einem Eckpunkt) in einer jeden Kachel bestimmt man den Normalenvektor aus der darüber liegenden, nachzustellenden Oberfläche 9. In jeder Kachel wird nun ein dem Normalenvektor entsprechender Fresnel-Spiegel (Pixel 4 mit mehreren Facetten 5) angebracht.

Vorzugsweise werden quadratische Kacheln bzw. Pixel 4 angewandt. Es sind aber beliebige (unregelmäßige) Kachelungen prinzipiell möglich. Die Kacheln können aneinander anschließen (was wegen der größeren Effizienz bevorzugt wird) oder es können Fugen zwischen den Kacheln sein (beispielsweise bei kreisförmigen Kacheln).

Der Steigungswinkel σ der Ebene lässt sich wie folgt darstellen

$$\sigma = \arccos n_z = \arccos \frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}}$$

Der Azimut-Winkel α der Steigung lässt sich wie folgt darstellen

$$\alpha = \arctan\left(n_y / n_x\right) = \arctan \frac{\frac{\partial f}{\partial y}}{\frac{\partial f}{\partial x}},$$

wobei $\alpha = 0°$ bis $180°$ für $n_y > 0$ und $\alpha = 180°$ bis $360°$ für $n_y < 0$.

Das erfindungsgemäße Bestimmen der Facetten 5 einschließlich ihrer Orientierungen kann auf zwei grundsätzlich verschiedene Arten durchgeführt werden. So kann die x-y-Ebene in Pixel 4 (bzw. Kacheln) unterteilt werden und für jedes Pixel 4 wird der Normalenvektor für die reflektierende ebene Fläche bestimmt, die dann in mehrere Facetten 5 gleicher Orientierung umgesetzt wird. Alternativ ist es möglich, die nachzustellende Oberfläche 9 durch Ebenenstücke anzunähern, falls sie nicht schon durch Ebenenstücke gegeben ist, und dann die Ebenenstücke in die einzelnen Facetten 5 zu unterteilen.

Bei der ersten Vorgehensweise wird somit zunächst eine Kachelung in der x-y-Ebene bestimmt. Die Kachelung kann völlig beliebig angelegt werden. Es ist jedoch auch möglich, dass die Kachelung aus lauter gleichen Quadraten mit der Seitenlänge a besteht, wobei a bevorzugt im Bereich von 10 bis 100 µm liegt. Die Kachelung kann jedoch auch aus unterschiedlichen geformten Kacheln bestehen, die genau aneinander passen oder bei denen Fugen auftreten. Die Kacheln können unterschiedlich geformt sein und eine Codierung oder eine verborgene Information enthalten. Insbesondere können die Kacheln an die Projektion der nachzustellenden Oberfläche in die x-y-Ebene angepasst sein.

Man definiert dann in beliebiger Weise einen Bezugspunkt in jeder Kachel. Die Normalenvektoren in den Punkten der nachzustellenden Oberfläche, die senkrecht über den Bezugspunkten in den Kacheln liegen, ordnet man den entsprechenden Kacheln zu. Falls in der über dem Bezugspunkt liegenden nachzustellenden Oberfläche mehrere Normalenvektoren dem Bezugspunkt zugeordnet sind (z.B. an einer Kante oder Ecke, wo mehrere Flächenstücke

aneinander stoßen), kann man aus diesen Normalenvektoren einen gemittelten Normalenvektor bestimmen.

Man definiert eine Unterteilung in jeder Kachel in der x-y-Ebene. Diese Unterteilung kann beliebig sein. Aus dem Normalenvektor wird dann der Azimut-Winkel α und der Steigungswinkel σ berechnet. Optional kann man noch ein Offset-System definieren, das jeder Facette 5 einen Offset (Höhenwert) zuweist. Der Offset kann in jedem Bereich der Unterteilung beliebig sein. Es ist jedoch auch möglich, den Offset so anzulegen, dass die Mittelwerte der Facetten 5 alle auf gleicher Höhe liegen oder dass die Maximalwerte aller Facetten 5 auf gleicher Höhe liegen.

In den Unterteilungen in den zugeordneten Kacheln werden dann als Facetten 5 schräggestellte Ebenenstücke mit dem der Kachel zugeordneten Normalenvektor unter Berücksichtigung des Offset-Systems rechnerisch angebracht. Die so berechnete Oberflächenform wird dann in der Oberfläche 7 des Trägers 8 ausgebildet.

Man kann jedoch nicht nur eine beliebige Unterteilung in jeder Kachel in der x-y-Ebene definieren. So kann man beispielsweise auch Gitterlinien definieren, die ungefähr oder genau senkrecht zur Projektion des Normalenvektors in die x-y-Ebene liegen. Die Gitterlinien können beliebige Abstände zueinander haben. Es ist jedoch auch möglich, dass die Abstände der Gitterlinien einem bestimmten Schema folgen. So können beispielsweise Gitterlinien nicht genau parallel zueinander vorgesehen werden, um beispielsweise Interferenz zu vermeiden. Es ist jedoch auch möglich, dass die Gitterlinien parallel zueinander sind, aber unterschiedliche Abstände aufweisen. Die unterschiedlichen Abstände der Gitterlinien können eine Codierung beinhalten. Ferner ist es möglich, dass die Gitterlinien aller Facetten 5 in jedem Pixel 4

gleiche Abstände aufweisen. Der Abstand kann im Bereich von 1 µm bis 20 µm liegen.

Die Gitterlinien können auch innerhalb jeder Kachel bzw. innerhalb jedes Pixels 4 gleiche Abstände aufweisen, aber pro Pixel 4 variieren. Der Gitterlinienabstand Λ_i und der Steigungswinkel σ_i der zugehörigen Facette 5 bestimmen die Strukturdicke $d_i = \Lambda_i \cdot \tan \sigma_i$, wobei d_i bevorzugt 1 bis 10 µm beträgt.

Die Facetten 5 können auch alle die gleiche Höhe d besitzen. Dann ist die Gitterkonstante bereichsweise durch den Steigungswinkel σ_i der zugehörigen Facette i bestimmt: $\Lambda_i = d/\tan \sigma_i$.

Aus dem Normalenvektor wird dann wiederum der Azimut-Winkel α und der Steigungswinkel σ bestimmt. Das durch Gitterlinien, Azimut-Winkel und Steigungswinkel definierte Sägezahngitter wird in der zugehörigen Kachel unter Berücksichtigung des Offset-Systems rechnerisch angebracht.

Man kann auch von einer nachzustellenden Oberfläche 9 ausgehen, welche aus Ebenenstücken i aufgebaut ist (bzw. welche so bearbeitet wird, dass sie sich aus Ebenenstücken i aufbaut), wobei die Strukturtiefe der nachzustellenden Oberfläche und die Abmessungen der Ebenenstücke um einiges größer sind als d_i.

Beispielsweise sind die Ebenenstücke i jeweils gegeben durch drei Eckepunkte $x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}; x_{2i}, y_{2i}, z_{2i}; x_{3i}, y_{3i}, z_{3i}$.

Das Relief aus Ebenenstücken wird dargestellt durch $z = f(x,y)$, wobei

$$(x - x_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} y_{2,i} - y_{1,i} & z_{2,i} - z_{1,i} \\ y_{3,i} - y_{1,i} & z_{3,i} - z_{1,i} \end{vmatrix} - (y - y_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} x_{2,i} - x_{1,i} & z_{2,i} - z_{1,i} \\ x_{3,i} - x_{1,i} & z_{3,i} - z_{1,i} \end{vmatrix} +$$

$$(z - z_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} x_{2,i} - x_{1,i} & y_{2,i} - y_{1,i} \\ x_{3,i} - x_{1,i} & y_{3,i} - y_{1,i} \end{vmatrix} = 0$$

Daraus ergibt sich aufgelöst nach z

$$z = z_{1,i} + \frac{(y - y_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} x_{2,i} - x_{1,i} & z_{2,i} - z_{1,i} \\ x_{3,i} - x_{1,i} & z_{3,i} - z_{1,i} \end{vmatrix} - (x - x_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} y_{2,i} - y_{1,i} & z_{2,i} - z_{1,i} \\ y_{3,i} - y_{1,i} & z_{3,i} - z_{1,i} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_{2,i} - x_{1,i} & y_{2,i} - y_{1,i} \\ x_{3,i} - x_{1,i} & y_{3,i} - y_{1,i} \end{vmatrix}}$$

Die gesuchte Sägezahnfläche, deren Strukturdicke in den Bereichen i kleiner als d_i ist, ergibt sich aus z Modulo d_i, wobei z aus der obigen Formel berechnet wird und wobei die x- und y-Werte bei der Berechnung jeweils innerhalb des durch x_{1i}, y_{1i}; x_{2i}, y_{2i}; x_{3i}, y_{3i} gegebenen Dreiecks in der x-y-Ebene liegen.

Die so berechnete Sägezahnfläche setzt sich automatisch zusammen aus den Facetten 5. Dabei ergeben sich als Gitterkonstanten Λ_i in den Bereichen i

$$\Lambda_i = d_i / \tan \sigma_i$$

Falls eine überall gleiche Gitterkonstante Λ gewünscht ist, sind folgende d_i einzusetzen

$$d_i = \Lambda \tan \sigma_i$$

wobei σ_i der Steigungswinkel des durch x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}; x_{2i}, y_{2i}, z_{2i}; x_{3i}, y_{3i}, z_{3i} gegebenen Dreiecks ist.

Folgende alternative Vorgehensweise ist möglich. In der nachfolgenden Formel A wird eine über der x-y-Ebene liegende, nachzustellende Oberfläche 9 durch Dreiecks-Ebenenstücke beschrieben

$$z = z_{1,i} + \frac{(y - y_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} x_{2,i} - x_{1,i} & z_{2,i} - z_{1,i} \\ x_{3,i} - x_{1,i} & z_{3,i} - z_{1,i} \end{vmatrix} - (x - x_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} y_{2,i} - y_{1,i} & z_{2,i} - z_{1,i} \\ y_{3,i} - y_{1,i} & z_{3,i} - z_{1,i} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_{2,i} - x_{1,i} & y_{2,i} - y_{1,i} \\ x_{3,i} - x_{1,i} & y_{3,i} - y_{1,i} \end{vmatrix}} \quad \text{(A)}$$

Die Ebenenstücke i sind jeweils gegeben durch drei Eckpunkte x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}; x_{2i}, y_{2i}, z_{2i}; x_{3i}, y_{3i}, z_{3i}.

Die Eckpunkte werden so nummeriert, dass z_{1i} der kleinste Wert unter den drei Werten z_{1i}, z_{2i}, z_{3i} ist ($z_{1i} = \min(z_{1i}, z_{2i}, z_{3i})$).

Die nachfolgende Formel B stellt eine Sägezahnfläche dar, die den dreidimensionalen Eindruck der durch die Formel A gegebenen, nachzustellenden Oberfläche 9 nachstellt

$$z = \frac{(y - y_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} x_{2,i} - x_{1,i} & z_{2,i} - z_{1,i} \\ x_{3,i} - x_{1,i} & z_{3,i} - z_{1,i} \end{vmatrix} - (x - x_{1,i}) \cdot \begin{vmatrix} y_{2,i} - y_{1,i} & z_{2,i} - z_{1,i} \\ y_{3,i} - y_{1,i} & z_{3,i} - z_{1,i} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_{2,i} - x_{1,i} & y_{2,i} - y_{1,i} \\ x_{3,i} - x_{1,i} & y_{3,i} - y_{1,i} \end{vmatrix}} \quad \text{(B)}$$

Wie man sieht, unterscheidet sich die Sägezahnfläche gemäß Formel B von der nachzustellenden Fläche gemäß Formel A dadurch, dass vom Wert z jeweils der Minimalwert z_{1i} im Bereich i abgezogen ist. Die Sägezahnfläche gemäß Formel B besteht aus an der x-y-Ebene angebrachten, schräggestellten Dreiecken.

Wenn eine Maximaldicke d_i für die Strukturtiefe vorgegeben ist, kann es sein, dass die Maximaldicke bei der Sägezahnfläche gemäß Formel B überschritten wird. Dagegen hilft die Ausbildung der einzelnen Facetten mit gleichem Normalenvektor gemäß z Modulo d_i, wobei z aus der obigen Formel B berechnet wird und die x- und y-Werte bei der Berechnung jeweils innerhalb des durch x_{1i}, y_{1i}; x_{2i}, y_{2i}; x_{3i}, y_{3i} gegebenen Dreiecks in der x-y-Ebene liegen.

Die so berechnete Sägezahnfläche setzt sich zusammen aus den Dreiecksbereichen, die mit den Facetten 5 gefüllt sind, wobei die Gitterkonstanten Λ in den Bereichen i sich ergeben zu $\Lambda_i = d_i/\tan \sigma_i$. Der Winkel σ_i ist der Steigungswinkel des durch x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}; x_{2i}, y_{2i}, z_{2i}; x_{3i}, y_{3i}, z_{3i} gegebenen Dreiecks.

Die hier gezeigten Vorgehensweisen für nachzustellende Oberflächen, die durch Dreiecke beschrieben werden und die erfindungsgemäß in Pixel 4 mit mehreren Facetten 5 umgewandelt werden, ist beispielhaft zu verstehen. Allgemein wird bei nachzustellenden Oberflächen, die durch Ebenenstücke beschrieben werden, erfindungsgemäß folgendermaßen vorgegangen. Die Ebenenstücke werden in Teilstücke unterteilt. Bei den Unterteilungen wird ein Wert (beispielsweise der Minimalwert von z im Teilstück) abgezogen. Man erhält damit erfindungsgemäß ein Sägezahngitter, das flacher ist als die nachzustellende Oberfläche 9 und das bereichsweise in den Teilstücken jeweils gleiche Normalenvektoren aufweist.

Dieses Sägezahngitter imitiert die ursprüngliche, nachzustellende Oberfläche 9 einschließlich ihres dreidimensionalen Eindrucks. Dieses Sägezahngitter ist flacher als ein mit gleicher Vorgehensweise erstelltes Sägezahngitter ohne erfindungsgemäße Unterteilung der Pixel 4 in mehrere Facetten 5.

In Figur 10 ist eine Draufsicht auf drei Pixel 4 der Fläche 3 gemäß einer weiteren Ausführungsform gezeigt, wobei die Pixel 4 unregelmäßig (durchgezogene Linien) mit unregelmäßiger Unterteilung bzw. Facetten 5 (gestrichelte Linien) ausgebildet sind. Die Pixelränder und die Unterteilungen sind hier gerade Linien, sie können aber auch gekrümmt sein.

In Figur 11 ist die entsprechende Querschnittsansicht gezeigt, wobei die Normalenvektoren der Facetten 5 schematisch eingezeichnet sind. Pro Pixel 4 sind die Normalenvektoren aller Facetten 5 gleich, während sie sich von Pixel 4 zu Pixel 4 zu unterscheiden. Die Normalenvektoren liegen schräg im Raum und im allgemeinen nicht in der Zeichenebene, wie in Figur 11 zur Vereinfachung dargestellt ist.

In Figur 12 ist eine Draufsicht mit gleicher Aufteilung der Pixel 4 wie in Figur 11 gezeigt, wobei jedoch die Unterteilung (Facetten 5) pro Pixel 4 unterschiedlich ist. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Gitterperiode Λ der Facetten 5 in jedem Pixel 4 konstant, aber von Pixel 4 zu Pixel 4 verschieden.

Figur 13 zeigt die entsprechende Querschnittsansicht.

In Figur 14 ist eine weitere Abwandlung gezeigt, wobei die Pixelform die gleiche ist wie in Figur 10. Jedoch ist die Unterteilung pro Pixel 4 codiert. Jeder zweite Gitterlinienabstand ist doppelt so groß wie der vorhergehende Gitterlinienabstand. In Figur 15 ist die entsprechende Querschnittsansicht dargestellt.

Falls die nachzustellende Oberfläche als Höhenlinienbild gegeben ist, kann man die Normalenvektoren wie folgt bestimmen. Man wählt diskrete Punkte

auf den Höhenlinien 15 (in Figur 16 ist eine schematische Draufsicht gezeigt) und verbindet diese Punkte so, dass eine Dreieckskachelung entsteht. Die Berechnung des Normalenvektors bei den Dreiecken erfolgt so, wie bereits beschrieben wurde.

Bei den bisherigen Ausführungsformen wurde stets der Normalenvektor relativ zur x-y-Ebene berechnet. Es ist jedoch auch möglich, den Normalenvektor in Bezug auf eine gekrümmte Grundfläche zu berechnen, wie z.B. eine Zylinderfläche. In diesem Fall kann das Sicherheitselement auf einem Flaschenetikett (beispielsweise am Flaschenhals) so vorgesehen werden, dass dann die nachgestellte Oberfläche unverzerrt von einem Betrachter räumlich wahrgenommen werden kann. Dazu muss lediglich der Normalenvektor n bezogen auf die Zylinderfläche in den Normalenvektor n_{trans} bezogen auf eine Ebene umgerechnet werden, so dass die oben beschriebenen Herstellungsverfahren eingesetzt werden können. Wenn das erfindungsgemäße Sicherheitselement dann als Flaschenetikett an dem Flaschenhals (mit der zylinderförmigen Krümmung) aufgebracht ist, kann die nachgestellte Oberfläche 9 dann in dreidimensionaler Weise unverzerrt wahrgenommen werden. Die durchzuführende Umrechnung ergibt sich aus den nachfolgenden Formeln

$$x = r \sin\Phi,\ \Phi = \arcsin\ x/r$$

$$x_{trans} = 2\pi r\Phi/360,\ \Phi = 360\ x_{trans}/2\pi r$$

Der Normalenvektor n_{trans} an der Stelle (x_{trans},y) lässt sich wie folgt berechnen.

$$\vec{n}_{trans} = \begin{pmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{pmatrix} \cdot \vec{n}$$

wobei $\vec{n}$ = Normalenvektor über (x,y).

Das erfindungsgemäße Sicherheitselement 1 kann nicht nur als reflektives Sicherheitselement 1 ausgebildet sein, sondern auch als transmissives Sicherheitselement 1, wie bereits erwähnt wurde. In diesem Fall werden die Facetten 5 nicht verspiegelt und besteht der Träger 8 aus einem transparenten oder zumindest transluzentem Material, wobei die Betrachtung in Durchsicht erfolgt. Bei einer Beleuchtung von hinten soll ein Benutzer die nachgestellte Oberfläche 9 so wahrnehmen, als ob ein von vorne beleuchtetes erfindungsgemäßes reflektives Sicherheitselement 1 vorliegt.

Die für ein reflektives Sicherheitselement 1 berechneten Facetten 5 werden durch Daten für Mikroprismen 16 ersetzt, wobei die entsprechenden Winkel bei Reflexion (Figur 19) und für transmissive Prismen 16 in Figuren 20 und 21 dargestellt sind. Figur 20 zeigt den Einfall auf die geneigten Facetten 5, wohingegen Figur 21 den Einfall auf die glatte Seite zeigt, der bevorzugt ist, aufgrund der möglichen größeren Lichteinfallswinkel.

Der Azimut-Winkel der reflektiven Facette 5 wird als α_s und der Steigungswinkel der Facette 5 wird als σ_s bezeichnet. Die Brechzahl des Mikroprismas 16 beträgt n, der Azimut-Winkel des Mikroprismas 16 beträgt $\alpha_p = 180° + \alpha_s$. Der Steigungswinkel des Mikroprismas 16 gemäß Figur 20 beträgt $\sin(\sigma_p + 2\,\sigma_s) = n \sin\sigma_p$, wobei für kleine Winkel $2\,\sigma_s = (n-1)\,\sigma_p$ sowie $4\,\sigma_s = \sigma_p$ (für n = 1,5) gilt.

Der Steigungswinkel des Mikroprismas 16 nach Figur 21 beträgt $\sin(2\sigma_s) = n \sin\beta$; $\sin(\sigma_p) = n \sin(\sigma_p - \beta)$, wobei für kleine Winkel $4\sigma_s = \sigma_p$ (für $n = 1{,}5$) gilt.

Die Komponenten des Normalenvektors sind bei bekanntem α und σ:

$$n_z = \cos\sigma \quad , \quad n_y / n_x = \sin\alpha / \cos\alpha \quad , \quad n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1$$

$$n_x = \cos\alpha \cdot \sqrt{1 - \cos^2\sigma} \quad , \quad n_y = \sin\alpha \cdot \sqrt{1 - \cos^2\sigma}$$

In Figur 22 ist schematisch eine nachzustellende reflektive Oberfläche 9 mit einem Hügel 20 und einer Mulde 21 gezeigt. Die negative Brennweite -f des spiegelnden Hügels 20 beträgt r/2 und die positive Brennweite f der spiegelnden Mulde 21 beträgt r/2.

In Figur 23 ist schematisch eine Linse 22 gezeigt, die einen transparenten konkaven Abschnitt 23 sowie einen transparenten konvexen Abschnitt 24 aufweist. Der konkave Abschnitt 23 simuliert den spiegelnden Hügel 20, wobei die negative Brennweite -f des konkaven Abschnittes 23 2r beträgt. Der transparente konvexe Abschnitt 24 simuliert die spiegelnde Mulde 21 und weist eine positive Brennweite f = 2r auf.

Die Linse 22 gemäß Figur 23 kann durch die Sägezahnordnung gemäß Figur 24 ersetzt werden.

Die Pfeile in Figuren 20 bis 23 zeigen schematisch den Strahlenverlauf für einfallendes Licht L. Aus diesen Strahlenverläufen ist ersichtlich, dass die Linse 22 in Transmission die Oberfläche 9 wunschgemäß nachstellt.

In den Figuren 25 bis 27 wird ein Beispiel gezeigt, bei dem die Sägezahnseite auf der Lichteinfallsseite liegt. Ansonsten entspricht die Darstellung von Figur 25 der Darstellung von Figur 22, entspricht die Darstellung von Figur 26 der Darstellung in Figur 23 und entspricht die Darstellung von Figur 27 der Darstellung in Figur 24.

Zur Berechnung der transmissiven Sägezahnstrukturen können die oben beschriebenen Verfahren verwendet werden.

Die in Figur 27 gezeigte transparente Sägezahnstruktur entspricht im wesentlichen einem Abguss einer entsprechenden reflektiven Sägezahnstruktur zur Nachstellung der Oberfläche 9 gemäß Figur 25. Dabei erscheint jedoch die nachgestellte Oberfläche in Durchsicht (bei Brechzahl von 1,5) wesentlich flacher als in Reflexion. Daher wird bevorzugt die Höhe der Sägezahnstruktur erhöht bzw. die Anzahl der Facetten 5 pro Pixel 4 erhöht.

Natürlich ist es auch möglich, die beschriebenen Sägezahnstrukturen mit einer semitransparenten Verspiegelung zu versehen. In diesem Fall erscheint die nachgestellte Oberfläche 9 in der Regel in Reflexion tiefer strukturiert als in Durchsicht.

Ferner ist es möglich, beide Seiten eines transparenten oder zumindest transluzenten Trägers 8 mit einer Sägezahnstruktur, die die Vielzahl von Mikroprismen 16 aufweist, zu versehen, wie dies in Figuren 28 und 29 angedeutet ist. Bei Figur 28 sind die Sägezahnstrukturen 25, 26 auf beiden Seiten spiegelsymmetrisch. Bei Figur 29 sind die beiden Sägezahnstrukturen 25, 27 nicht spiegelsymmetrisch ausgebildet.

Zur Berechnung einer Sägezahnstruktur 25 und 27 gemäß Figuren 28 und 29 kann man davon ausgehen, dass die Sägezahnstruktur 25, 27 aus einer prismatischen Oberfläche 28 mit Steigungswinkel σ_p und darunter angesetztem Hilfsprisma 29 mit Steigungswinkel σ_h zusammengesetzt ist, wie in Figur 30 schematisch dargestellt ist. Somit ist $\sigma_p + \sigma_h$ der wirksame Gesamt-Prismenwinkel.

Wenn der nachzuahmende Relief-Steigungswinkel mit bezeichnet σ_s wird, gilt folgendes, da die Winkelsumme im Dreieck 180° ist:

$$90° - \beta 1 + 90° - \beta 2 + \sigma_p + \sigma_h = 180°$$

$$\sigma_p + \sigma_h = \beta 1 + \beta 2,$$

Aufgrund des Brechungsgesetzes

$$\sin \sigma_p = n \sin \beta 1 \quad , \quad \sin (2\sigma_s + \sigma_h) = n \sin \beta 2$$

ergibt sich für:

$$\sigma_p - \arcsin((\sin \sigma_p)/n) = \arcsin((\sin (2\sigma_s + \sigma_h))/n) - \sigma_h$$

Somit kann ausgehend vom nachzuahmenden Relief-Steigungswinkel σ_s bei z. B. vorgegebenem Hilfsprisma-Steigungswinkel σ_h leicht der gesuchte Steigungswinkel σ_p der prismatischen Oberfläche 28 berechnet werden.

Man beachte, dass bei den aufgeführten Berechnungen für die Nachahmung eines Spiegelreliefs durch Prismen von einer senkrechten Betrachtung ausgegangen wurde. Bei gekippter Betrachtung können sich Verzerrungen ergeben und bei Betrachtung in weißem Licht können sich farbige Ränder beim

dargestellten Motiv ergeben, da der in die Berechnung eingehende Brechungsindex n wellenlängenabhängig ist.

Die in den Figuren 1 bis 30 dargestellten reflektiven oder refraktiven Sicherheitselemente können auch in transparentes Material eingebettet bzw. mit einer Schutzschicht versehen werden.

Eine Einbettung erfolgt insbesondere, um die mikrooptischen Elemente vor Verschmutzung und Abrieb zu schützen und um eine unbefugte Nachstellung durch Abprägen der Oberflächenstruktur zu verhindern.

Beispiel : Eingebettete Spiegel

Beim Einbetten bzw. Anbringen einer Schutzschicht ändern sich die Eigenschaften der mikrooptischen Schicht mit den Facetten 5. In Figuren 32 a-c ist dieses Verhalten illustriert für eingebettete Spiegel (die Facetten 5 sind als Spiegel ausgebildet), wobei Figur 32a die Anordnung vor der Einbettung zeigt.

Bei Einbettung der Spiegel in eine durchsichtige Schicht 40 ändert sich die Richtung, in der ein Spiegelbild erscheint, wie Figur 32b zeigt. Soll nun bei einem durch eingebettete Mikrospiegel 5 nachgestelltem Relief die ursprüngliche Reflexionswirkung erzielt werden, ist dies beim Neigungswinkel der Mikrospiegel zu berücksichtigen, siehe Figur 32c.

Beispiel: Eingebettete Prismen

Bei eingebetteten Prismen 16 ist ein Brechzahlunterschied zwischen Prismenmaterial und Einbettungsmaterial 40 erforderlich und bei der Berechnung der Lichtstrahlablenkung zu berücksichtigen.

Figur 33b zeigt schematisch die Nachstellung der reflektierenden Anordnung von Figur 32a durch eine transmittierende Prismenanordnung mit offenliegenden Prismen 16, wie bereits z. B. bei den Figuren 19-27 diskutiert.

Figur 33b zeigt schematisch eine mögliche Nachstellung der reflektierenden Anordnung von Figur 32a durch eingebettete Prismen 16, wobei sich die Brechungsindizes von Prismenmaterial und Einbettungsmaterial 40 unterscheiden müssen.

Beispiel : Eingebettete streuende Facetten

In den beiden vorhergehenden Beispielen wurde die Nachstellung spiegelnder Objekte demonstriert. Zur Nachstellung streuender Objekte (z.B. Marmorfigur, Gips-Modell) können streuende Facetten eingesetzt werden, hierzu ein Beispiel (siehe Figur 34):

Auf einer Folie 41 als Trägermaterial wird folgender Aufbau realisiert: Die geprägten Facetten 5, die die Objektoberfläche nachstellen, befinden sich auf der Folienrückseite. Die Facetten 5 haben Abmessungen von beispielsweise 10 µm bis 20 µm. An den Facetten 5 wird ein mit Titanoxid (Partikelgrösse ca. 1 µm) pigmentierter Lack 42 aufgebracht, so dass die Facetten 5 mit diesem streuenden Material gefüllt werden. Die Betrachtungsseite ist durch den Pfeil P2 angedeutet.

Beispiel : Eingebettete matt glänzende Facetten

In folgender Weise kann ein matt spiegelndes Objekt nachgestellt werden (siehe Figur 35):

Auf einer Folie 41 als Trägermaterial wird folgender Aufbau realisiert: Die geprägten Facetten 5, die die Objektoberfläche nachstellen, befinden sich auf der Folienrückseite. Die Facetten 5 haben Abmessungen von beispielsweise 10 µm bis 20 µm. Die Prägeschicht wird mit einer semitransparenten Verspiegelung 43 versehen und darauf ein mit Titanoxid (Partikelgrösse ca. 1 µm) pigmentierter Lack 42 aufgebracht, so dass die Facetten mit diesem streuenden Material gefüllt werden. Bei Betrachtung von der Betrachtungsseite erscheint der nachgestellte Gegenstand matt-glänzend. Die Betrachtungsseite ist durch den Pfeil P2 angedeutet.

Farbige Facetten:

Zur Nachstellung farbiger Gegenstände kann die Einbettung der Facetten in den Figuren 32b, 32c, 33b, 34 bzw. 35 mit eingefärbtem Material (auch bereichsweise unterschiedlich eingefärbtem Material) erfolgen.

Das erfindungsgemäße Sicherheitselement 1 kann als Sicherheitsfaden 19 (Figur 1) ausgebildet sein. Ferner kann das Sicherheitselement 1 nicht nur, wie beschrieben, auf einer Trägerfolie ausgebildet werden, von der es in bekannter Weise auf das Wertdokument übertragen werden kann. Es ist auch möglich, das Sicherheitselement 1 direkt auf dem Wertdokument auszubilden. So kann ein direkter Druck mit anschließender Prägung des Sicherheitselementes auf ein Polymersubstrat durchgeführt werden, um beispielsweise bei Kunststoffbanknoten ein erfindungsgemäßes Sicherheitselement auszubilden. Das erfindungsgemäße Sicherheitselement kann in verschiedensten Substraten ausgebildet werden. Insbesondere kann es in oder auf einem Papiersubstrat, einem Papier mit Synthesefasern, d.h. Papier mit einem Anteil x polymeren Materials im Bereich von $0 < x < 100$ Gew.-%, einer Kunststofffolie, z. B. einer Folie aus Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Po-

lybutylenterephthalat (PBT), Polyethylennaphthalat (PEN), Polypropylen (PP) oder Polyamid (PA), oder einem mehrschichtigem Verbund, insbesondere einem Verbund mehrerer unterschiedlicher Folien (Kompositverbund) oder einem Papier-Folien-Verbund (Folie/Papier/Folie oder Papier/Folie/Papier), wobei das Sicherheitselement in oder auf oder zwischen jeder der Schichten eines solchen mehrschichtigen Verbunds vorgesehen werden kann, ausgebildet werden.

In Figur 31 ist schematisch ein Prägewerkzeug 30 gezeigt, mit dem die Facetten 5 in den Träger 8 gemäß Figur 5 geprägt werden können. Dazu weist das Prägewerkzeug 30 eine Prägefläche 31 auf, in der die invertierte Form der zu prägenden Oberflächenstruktur ausgebildet ist.

Natürlich kann nicht nur für die Ausführungsform gemäß Figur 5 ein entsprechendes Prägewerkzeug bereitgestellt werden. Auch für die anderen beschriebenen Ausführungsformen kann in gleicher Art ein Prägewerkzeug zur Verfügung gestellt werden.

Bezugszeichenliste

1	Sicherheitselement
2	Banknote
3	Fläche
4	Pixel
5	Facetten
6	Linie
7	Oberfläche
8	Träger
9	nachgestellte Oberfläche
10	Spiegelfläche
15	Höhenlinie
16	Mikroprisma
19	Sicherheitsfaden
20	Hügel
21	Mulde
22	Linse
23	konkaver Abschnitt
24	konvexer Abschnitt
25	Sägezahnstruktur
26	Sägezahnstruktur
27	Sägezahnstruktur
28	prismatische Oberfläche
29	Hilfsprisma
30	Prägewerkzeug
31	Prägefläche
40	durchsichtige Schicht
41	Folie
42	pigmentierter Lack
43	semitransparente Verspiegelung
L	einfallendes Licht
L1	einfallendes Licht
L2	einfallendes Licht
P1	Pfeil
P2	Pfeil

Patentansprüche

1. Sicherheitselement für ein Sicherheitspapier, Wertdokument oder dergleichen, mit
einem Träger, der einen Flächenbereich aufweist, der in eine Vielzahl von Pixeln, die jeweils zumindest eine optisch wirksame Facette (5) umfassen, aufgeteilt ist,
wobei die Mehrzahl der Pixel jeweils mehrere der optisch wirksamen Facetten mit gleicher Orientierung pro Pixel aufweisen und die Facetten so orientiert sind, dass für einen Betrachter der Flächenbereich als gegenüber seiner tatsächlichen Raumform vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnehmbar ist.

2. Sicherheitselement nach Anspruch 1, bei dem die Orientierung der Facetten so gewählt ist, dass für einen Betrachter der Flächenbereich als nicht ebene Fläche wahrnehmbar ist.

3. Sicherheitselement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die optisch wirksamen Facetten als reflektive Facetten ausgebildet sind.

4. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die optisch wirksamen Facetten als transmissive Facetten mit brechender Wirkung ausgebildet sind.

5. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die optisch wirksamen Facetten so ausgebildet sind, dass die Pixel keine optisch diffraktive Wirkung aufweisen.

6. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Fläche jedes Pixels um zumindest eine Größenordnung kleiner ist als die Fläche des Flächenbereiches.

7. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Facetten in einer Oberfläche des Trägers ausgebildet sind.

8. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die Facetten als eingebettete Facetten ausgebildet sind.

9. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Facetten als im Wesentlichen ebene Flächenstücke ausgebildet sind.

10. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Orientierung der Facetten durch ihre Neigung und/oder ihren Azimut-Winkel bestimmt ist.

11. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Facetten ein periodisches oder aperiodisches Gitter bilden und die Gitterperiode der Facetten zwischen 1 µm und 300 µm, bevorzugt zwischen 3 µm und 100 µm, besonders bevorzugt zwischen 5 µm und 30 µm liegt.

12. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem auf den Facetten zumindest bereichsweise eine reflektierende oder reflexionserhöhende Beschichtung ausgebildet ist.

13. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem auf den Facetten zumindest bereichsweise eine farbkippende Beschichtung ausgebildet ist.

14. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die maximale Ausdehnung eines Pixels zwischen zwischen 5 µm und 5 mm, bevorzugt zwischen 10 µm und 300 µm, besonders bevorzugt zwischen 20µm und 100 µm liegt.

15. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem der Flächenbereich für einen Betrachter als imaginäre Fläche wahrnehmbar ist, deren Reflexions- bzw. Transmissionsverhalten mit einer realen gewölbten reflektierenden bzw. transmittierenden Oberfläche nicht erzeugt werden kann, wobei der Flächenbereich insbesondere als Drehspiegel wahrnehmbar ist.

16. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem zumindest eine Facette an ihrer Oberfläche eine lichtstreuende Mikrostruktur aufweist, wobei die lichtstreuende Mikrostruktur bevorzugt so ausgebildet ist, dass eine Streuung mit Vorzugsrichtung zur Erzeugung einer Mattstruktur bewirkt wird.

17. Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Orientierungen mehrerer Facetten gegenüber den Orientierungen zur Erzeugung der vor- und/oder zurückspringenden Fläche so geändert sind, dass die vor- und/oder zurückspringende Fläche zwar noch wahrnehmbar ist, aber mit matt erscheinender Oberfläche.

18. Wertdokument mit einem Sicherheitselement nach einem der obigen Ansprüche.

19. Herstellungsverfahren eines Sicherheitselementes für Sicherheitspapiere, Wertdokumente oder dergleichen, bei dem
die Oberfläche eines Trägers in einem Flächenbereich so höhenmoduliert wird, dass der Flächenbereich in eine Vielzahl von jeweils zumindest eine optisch wirksame Facette aufweisenden Pixeln aufgeteilt wird,
wobei die Mehrzahl der Pixel jeweils mehrere optisch wirksame Facetten mit gleicher Orientierung pro Pixel aufweisen und die Facetten so orientiert sind, dass für einen Betrachter des hergestellten Sicherheitselementes der Flächenbereich als gegenüber seiner tatsächlichen Raumform vor- und/oder zurückspringende Fläche wahrnehmbar ist.

20. Prägewerkzeug mit einer Prägefläche, mit der die Form der Facetten eines Sicherheitselementes nach einem der Ansprüche 1 bis 17 in den Träger geprägt werden kann.

21. Verwendung eines Sicherheitselementes nach einem der Ansprüche 1 bis 17 als Master zur Belichtung eines Volumenhologramms.

Fig. 1

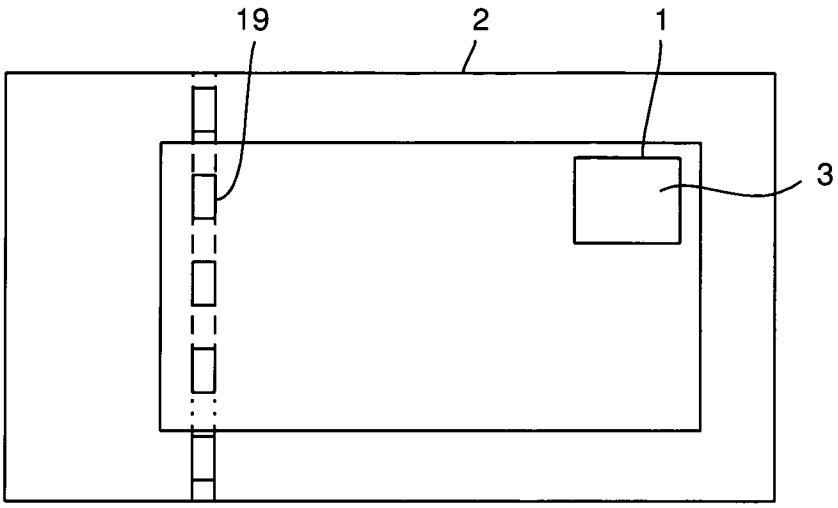


Fig. 2

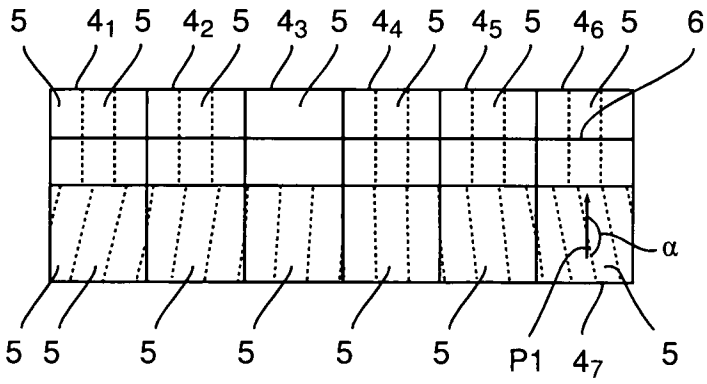


Fig. 3

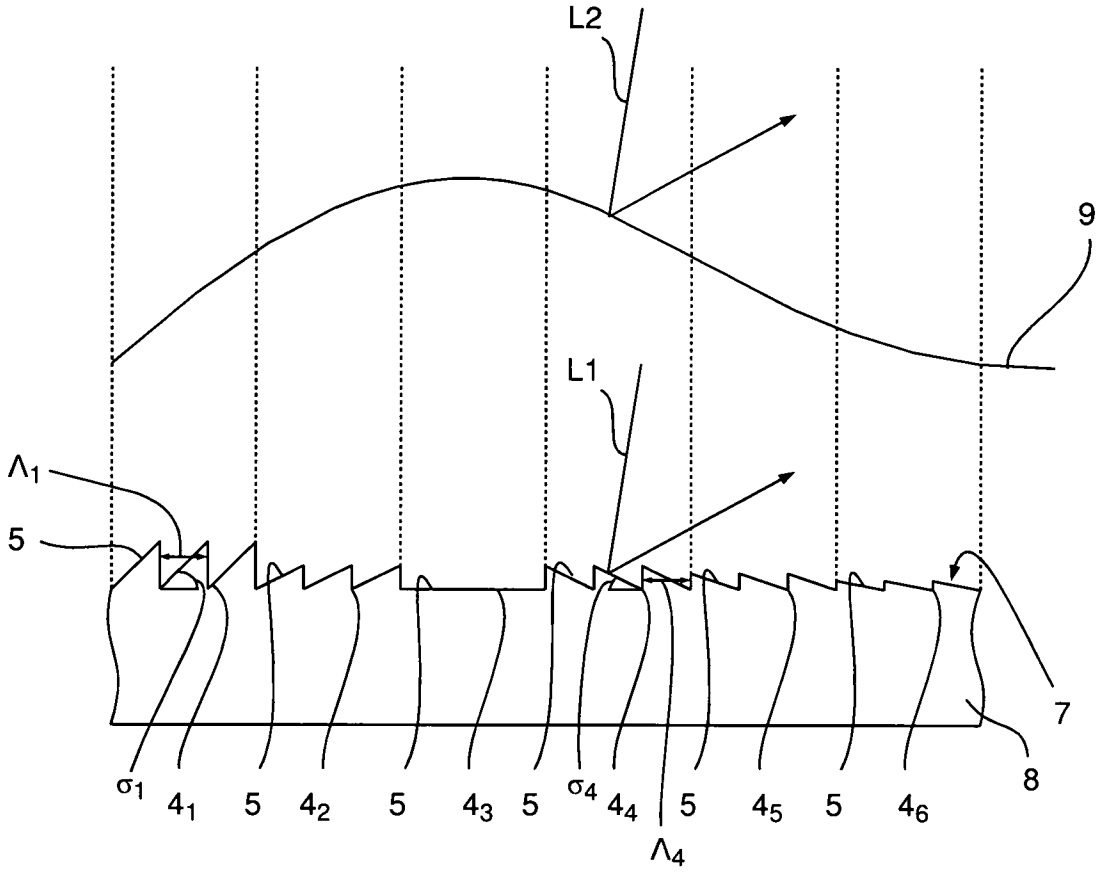

L2
9
L1
Λ_1
5
7
8
σ_1
4_1
5
4_2
5
4_3
5
σ_4
4_4
5
4_5
5
4_6
Λ_4

Fig. 4

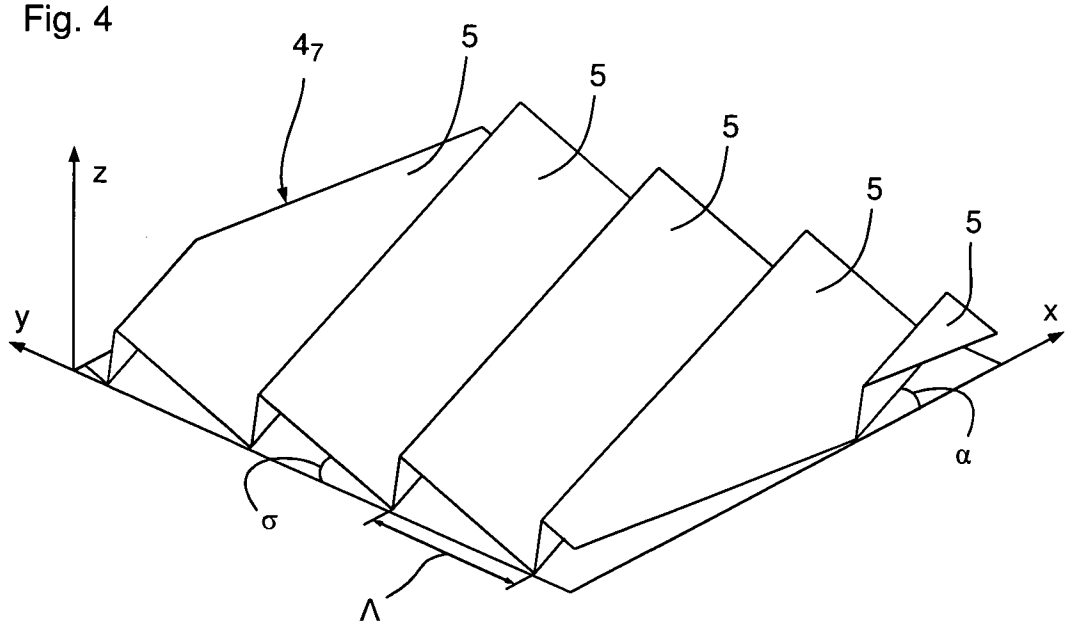

4_7
5
5
5
5
5
z
y
x
α
σ
Λ

Fig. 5

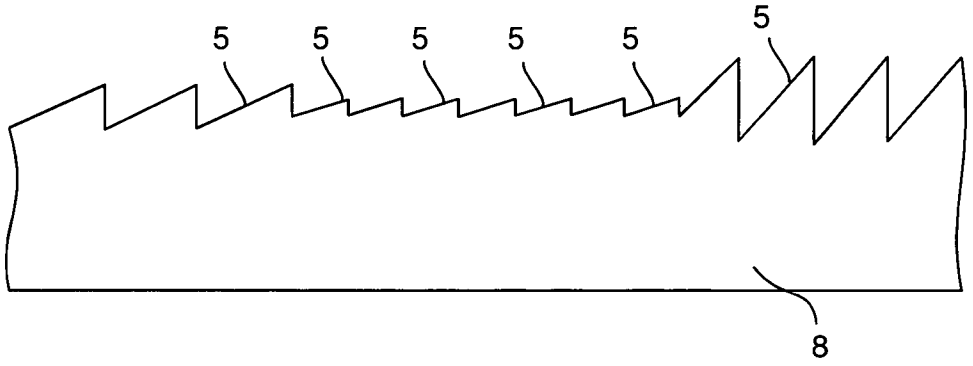


Fig. 6

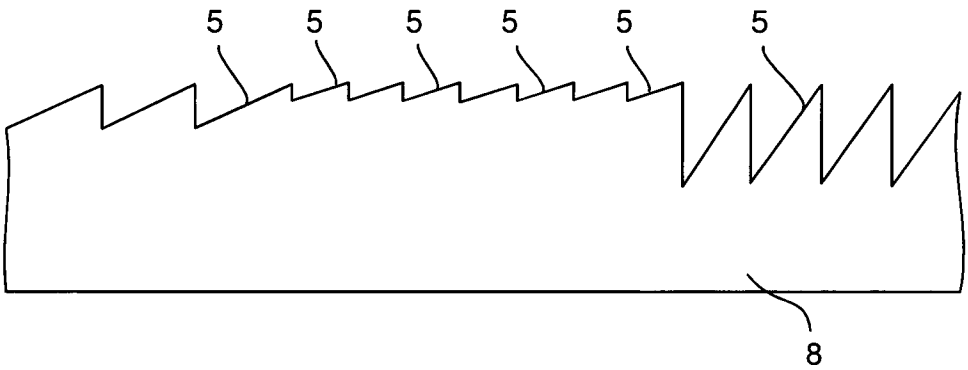


Fig. 7

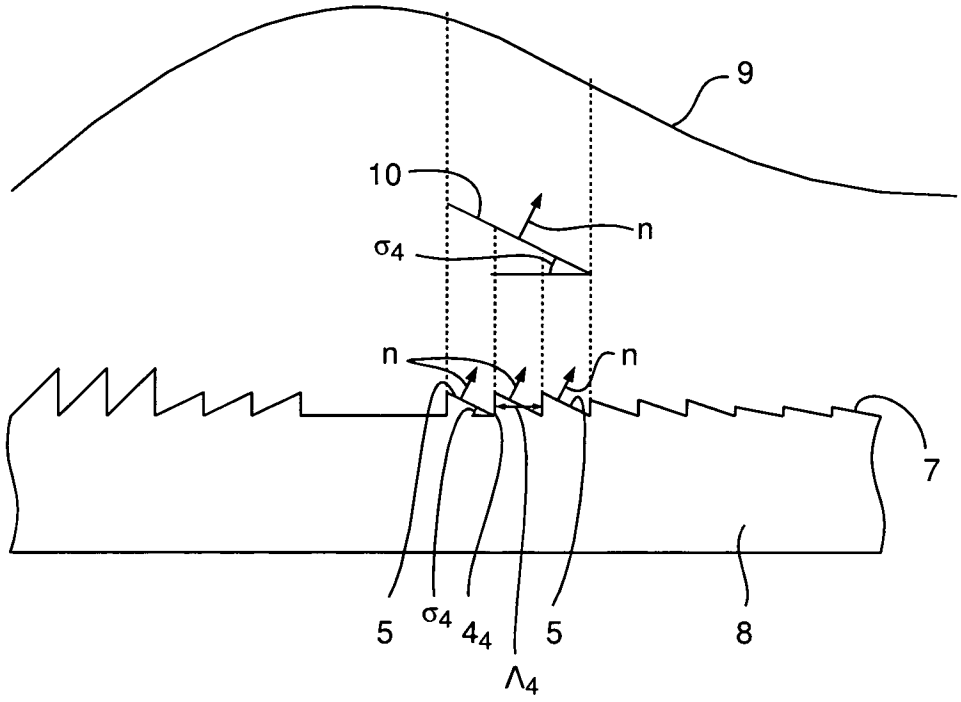


Fig. 8

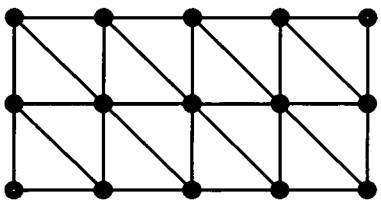


Fig. 9

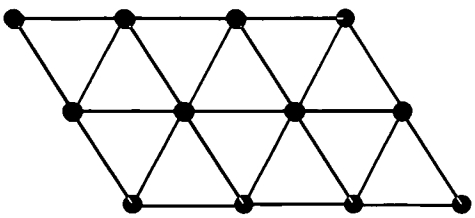


Fig. 10

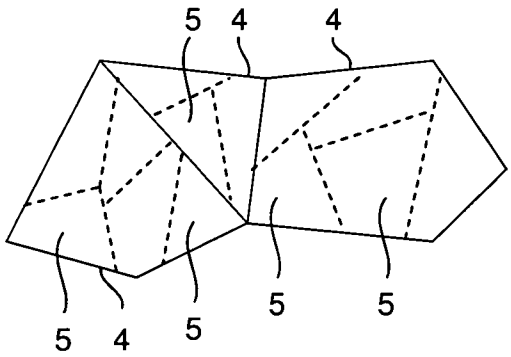


Fig. 11

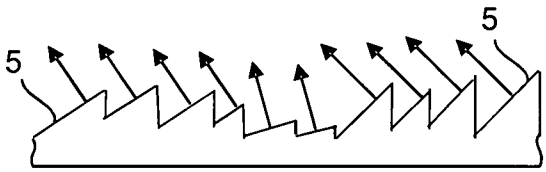


Fig. 12

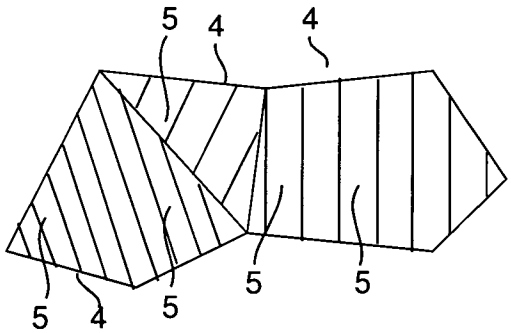


Fig. 13

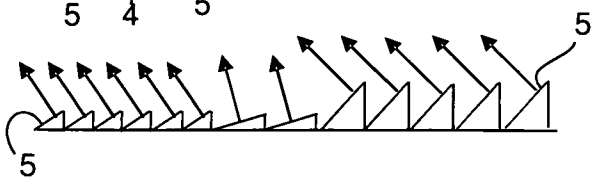


Fig. 14

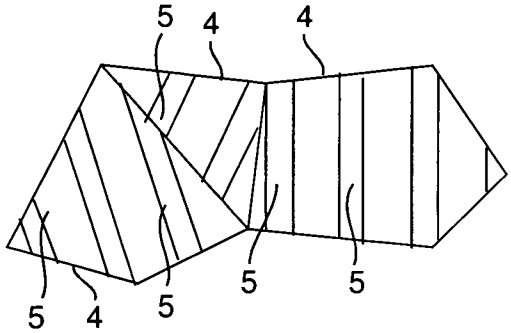


Fig. 15

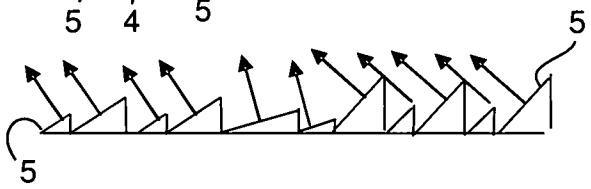


Fig. 16

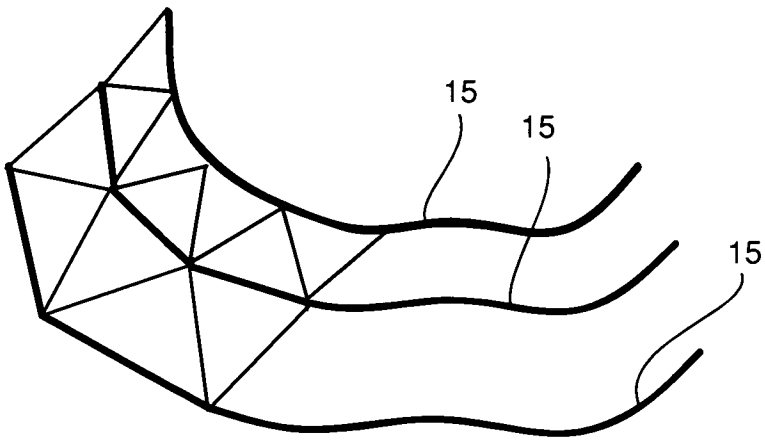


Fig. 17

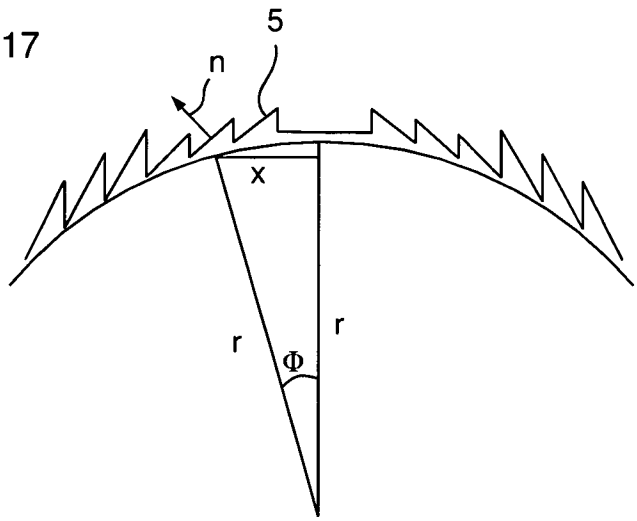


Fig. 18

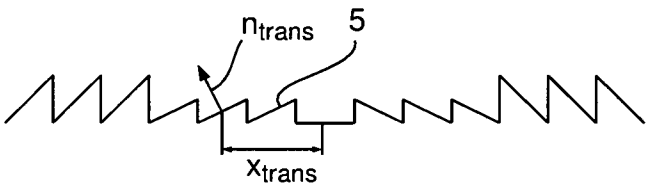


Fig. 19

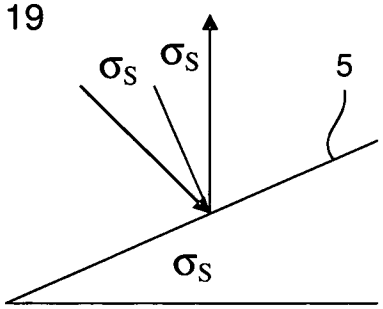


Fig. 20

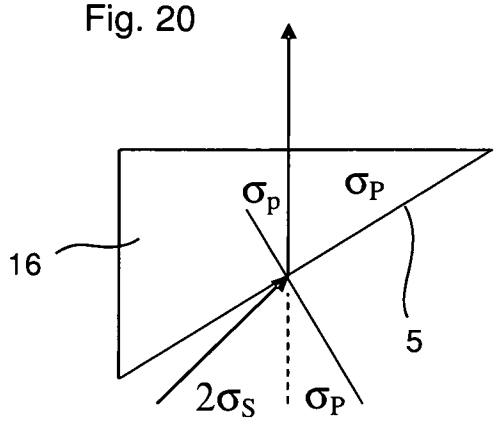


Fig. 21

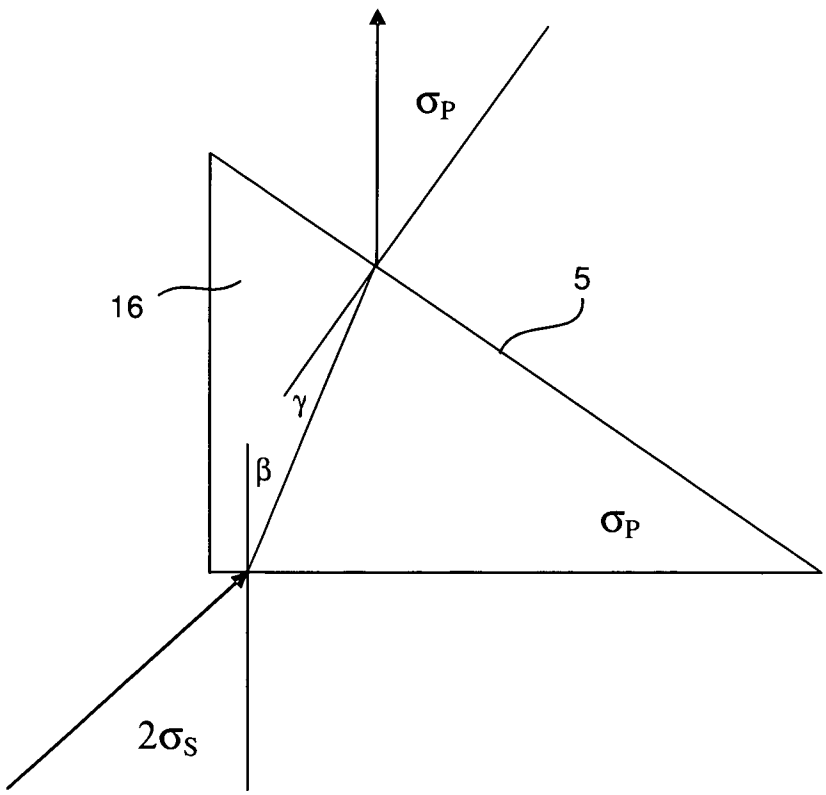


Fig. 22

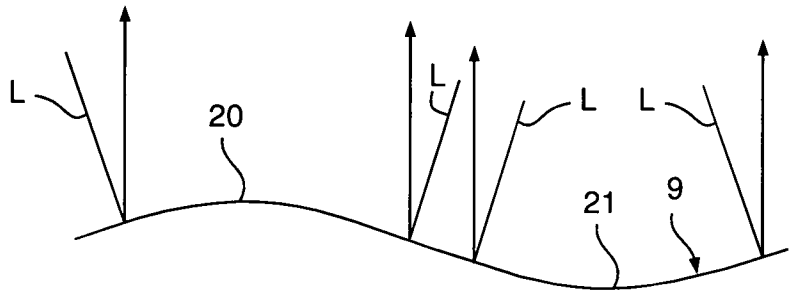


Fig. 23

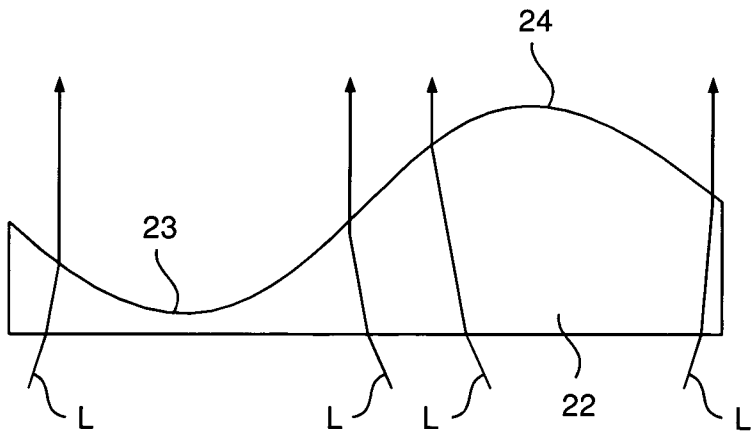


Fig. 24

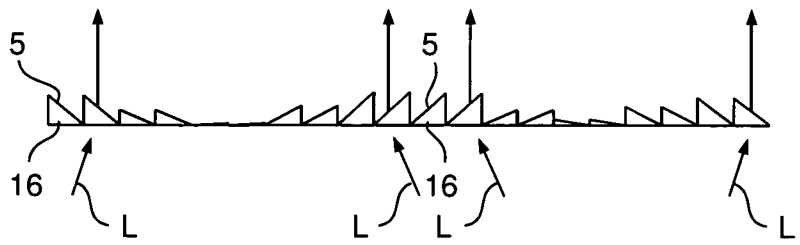


Fig. 25

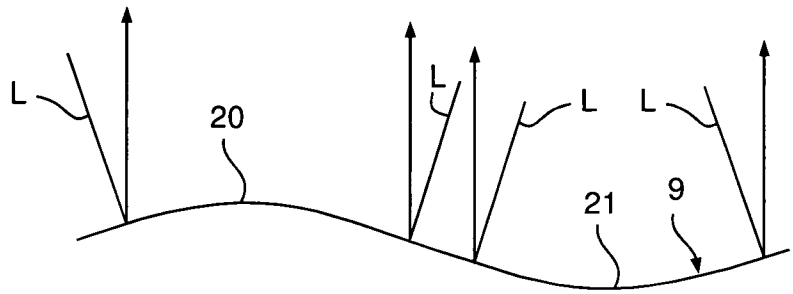


Fig. 26

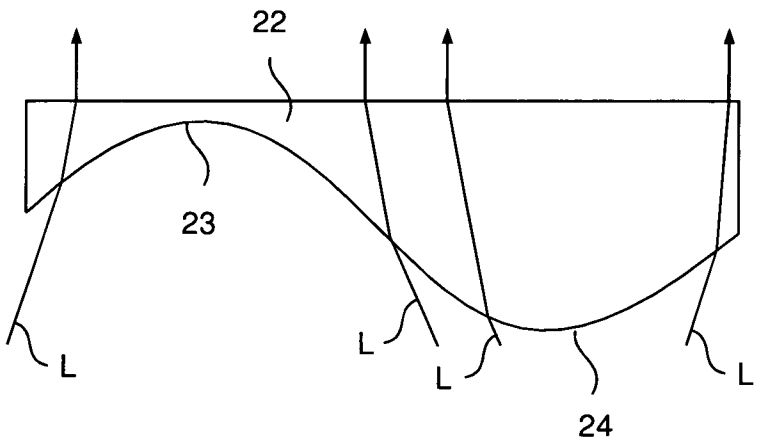


Fig. 27

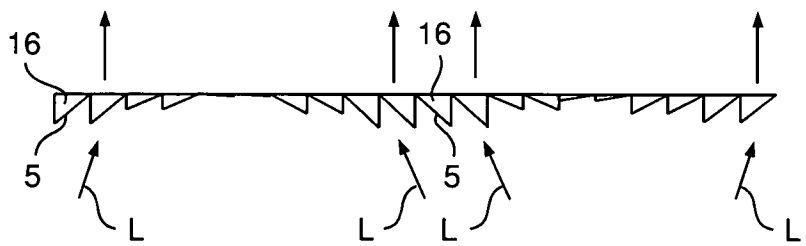


Fig. 28

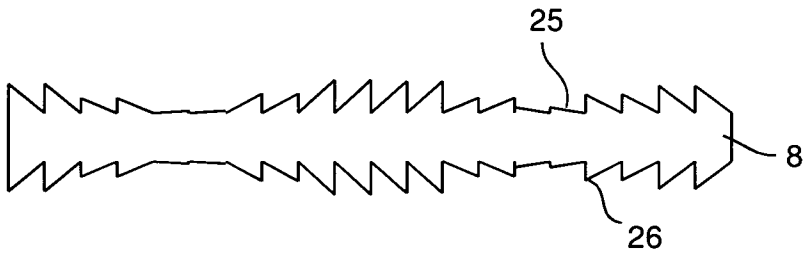


Fig. 29

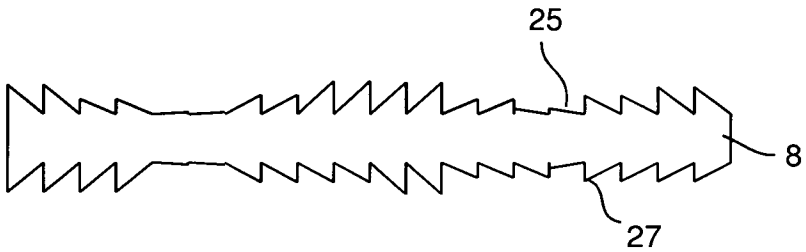


Fig. 30

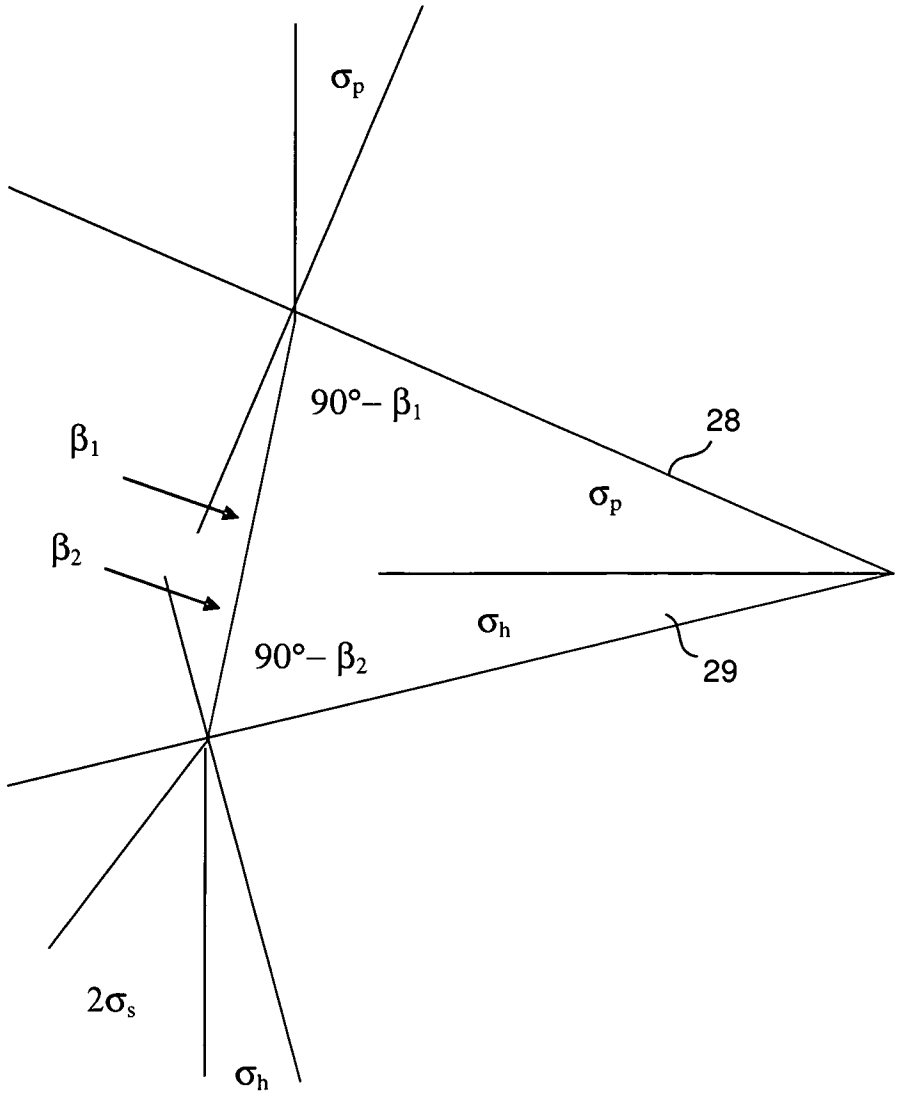


Fig. 31

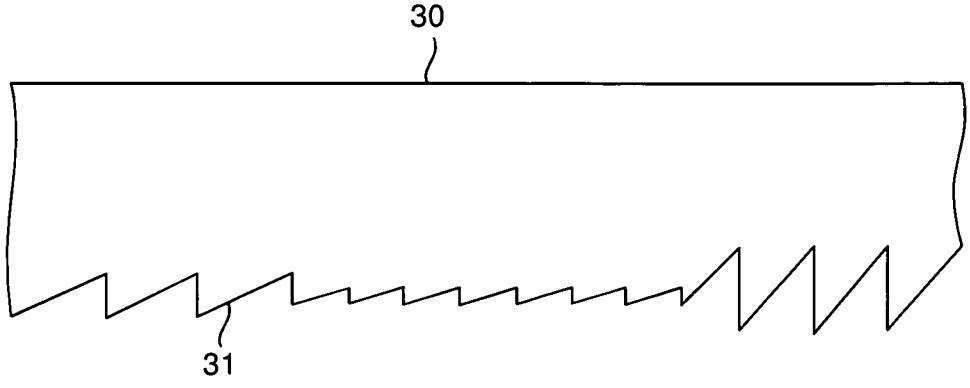


Fig. 32a

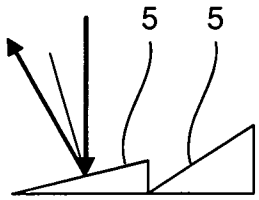


Fig. 32b

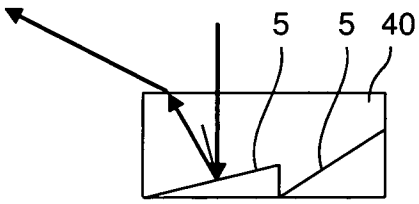


Fig. 32c

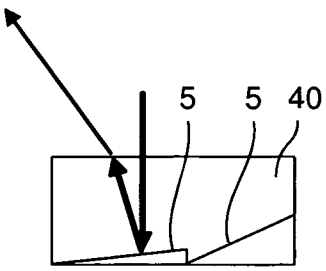


Fig. 33a

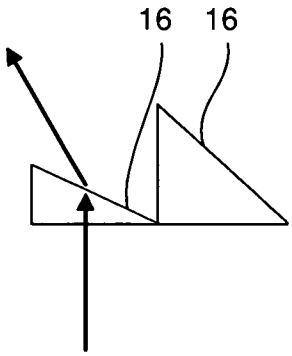


Fig. 33b

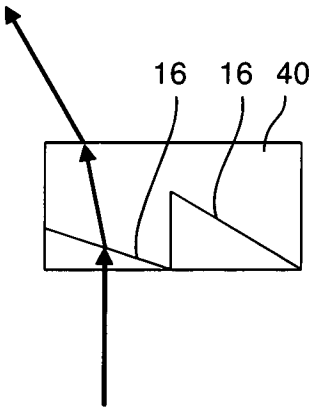


Fig. 34

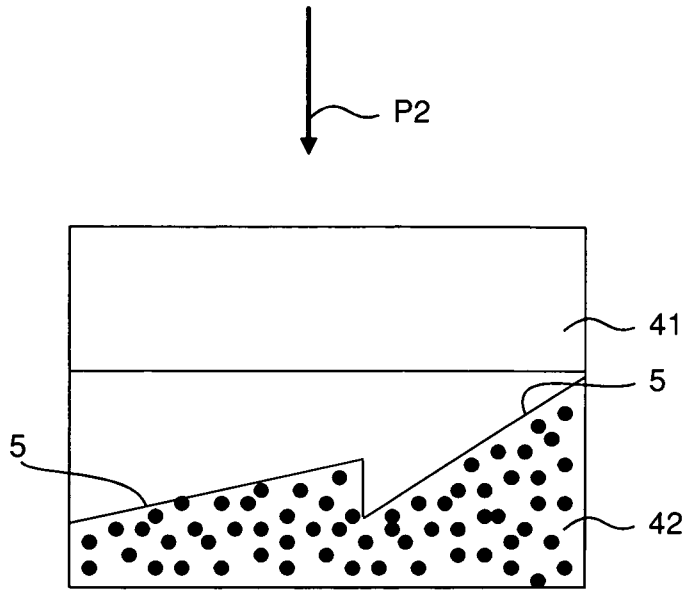


Fig. 35

