



(10) **DE 10 2018 119 706 B4** 2022.04.28

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 119 706.3**
(22) Anmeldetag: **14.08.2018**
(43) Offenlegungstag: **20.02.2020**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **28.04.2022**

(51) Int Cl.: **G03H 1/04** (2006.01)
B42D 25/328 (2014.01)
B41M 5/24 (2006.01)
B23K 26/06 (2014.01)
G03H 1/30 (2006.01)
B42D 25/41 (2014.01)

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

(73) Patentinhaber:
**Laser-Laboratorium Göttingen e.V., 37077
Göttingen, DE**

(72) Erfinder:
Klein-Wiele, Jan-Hendrik, 37085 Göttingen, DE

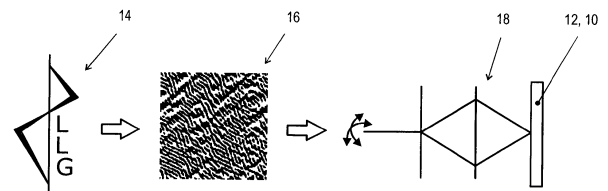
(74) Vertreter:
**Fiedler, Ostermann & Schneider - Patentanwälte
Partnerschaft mbB, 37073 Göttingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2004 003 984	A1
DE	10 2008 024 147	A1
WO	94/ 28 444	A1

(54) Bezeichnung: **Informationsträger und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Informationsträger (10), umfassend ein Substrat (12), in das ein aus jeweils einer Mehrzahl von Pixeln erster Art und Pixeln zweiter Art zusammengesetztes, erstes Muster (22, 22a) eingeschrieben ist, welches bei Beleuchtung mit kohärentem Licht vorgegebener Beleuchtungswellenlänge durch Interferenz von mit seinen Pixeln interagierenden Lichtanteilen als ein erstes Bild codierendes, erstes Hologramm wirkt, wobei jedes Pixel erster Art ein Beugungsgitter erster Art (20, 20a) trägt und jedes Pixel zweiter Art entweder kein Beugungsgitter trägt oder ein Beugungsgitter zweiter Art trägt, welches sich von dem Beugungsgitter erster Art (20, 20a) durch die Anordnung seiner Gitterlinien unterscheidet., wobei in das Substrat (12) wenigstens ein zu dem ersten Muster (22a) analog aufgebautes, als ein ein zweites Bild codierendes, zweites Hologramm wirkendes, zweites Muster (22b) eingeschrieben ist, wobei sich die Beugungsgitter erster Art (20a, 20b) der den verschiedenen Mustern (22a, 22b) zugehörigen Pixel erster Art in der Anordnung ihrer Gitterlinien unterscheiden und die einzelnen Muster (22a, 22b) miteinander zu einem Supermuster (22*) verschränkt auf einer simultan beleuchtbaren Fläche angeordnet sind **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pixel erster Art in mehrere Unterarten von Pixeln erster Art unterteilt sind, deren Beugungsgitter erster Art (20a, 20b) sich in ihrer Beugungseffizienz voneinander unterscheiden.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Informationsträger, umfassend ein Substrat, in das ein aus jeweils einer Mehrzahl von Pixeln erster Art und Pixeln zweiter Art zusammengesetztes, erstes Muster eingeschrieben ist, welches bei Beleuchtung mit kohärentem Licht vorgegebener Beleuchtungswellenlänge durch Interferenz von mit seinen Pixeln interagierenden Lichtanteilen als ein erstes Bild codierendes, erstes Hologramm wirkt, wobei jedes Pixel erster Art ein Beugungsgitter erster Art trägt und jedes Pixel zweiter Art entweder kein Beugungsgitter trägt oder ein Beugungsgitter zweiter Art trägt, welches sich von dem Beugungsgitter erster Art durch die Anordnung seiner Gitterlinien unterscheidet, wobei in das Substrat wenigstens ein zu dem ersten Muster analog aufgebautes, als ein zweites Bild codierendes, zweites Hologramm wirkendes, zweites Muster eingeschrieben ist, wobei sich die Beugungsgitter erster Art der den verschiedenen Mustern zugehörigen Pixel erster Art in der Anordnung ihrer Gitterlinien unterscheiden und die einzelnen Muster miteinander zu einem Supermuster verschränkt auf einer simultan beleuchtbaren Fläche angeordnet sind.

[0002] Die Erfindung bezieht sich weiter auf ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Informationsträgers.

Stand der Technik

[0003] Gattungsgemäße Informationsträger sind bekannt aus der WO 94 / 28 444 A1.

[0004] Bei der klassischen Holographie wird bekanntermaßen, vereinfacht ausgedrückt, als Repräsentation eines Objektes dasjenige Interferenzmuster aufgezeichnet, welches sich aus der Überlagerung eines am Objekt gestreuten, kohärenten Lichtes mit einem dem Beleuchtungslicht entsprechenden Referenzlicht ergibt. Wird dieses aufgezeichnete Interferenzmuster später erneut mit einem dem Beleuchtungslicht entsprechenden Rekonstruktionslicht beleuchtet, wird dadurch ein Bild des Objektes rekonstruiert. Die Besonderheit der Holographie liegt im Erhalt der Phaseninformation, sodass die Rekonstruktion bei einem räumlichen Objekt zu einem räumlichen Bildeindruck führt. Diese Besonderheit kommt allerdings bei holografischer Abbildung rein zweidimensionaler Objekte nicht zur Geltung. Alternativ zur oben skizzierten Aufzeichnung eines realen Interferenzmusters ist es auch möglich, das ein Objekt repräsentierende Interferenzmuster als ein aus geordneten Pixeln zusammengesetztes Muster zu berechnen. Ein derart aufgezeichnetes oder berechnetes Muster, das ein

Objekt im erläuterten Sinne repräsentiert, wird im Kontext der vorliegenden Beschreibung als ein „als Hologramm wirkendes Muster“ oder - verkürzt - als „Hologramm“ bezeichnet. Mittels vorgenannter Berechnung erzeugte Hologramme werden vielfach als computergenerierte Hologramme, kurz CGH bezeichnet.

[0005] Die EP 0 762 238 A1 offenbart die Möglichkeit, Muster, die für sich selbst bereits als Hologramm wirken, mit weiteren Beugungsstrukturen, insbesondere mit einem asymmetrischen Beugungsgitter, in sogenannter Superposition zu überlagern. Hierdurch ergibt sich der Effekt, dass das sich bei der Rekonstruktion ergebende Bild vorwiegend in der (betragsmäßig) ersten Ordnung, in der +1. und -1. Ordnung jedoch mit unterschiedlichen Intensitäten erscheint. In derselben Druckschrift ist auch die Möglichkeit erwähnt, unterschiedliche Hologramme, d. h. unterschiedliche Objekte repräsentierende und mit unterschiedlichen Beugungsgittern überlagerte Hologramme in sogenannter Juxtaposition nebeneinander anzuordnen. Werden diese juxtaponierten Strukturen bei der Rekonstruktion simultan mit dem Rekonstruktionslicht beleuchtet, kommt es zur gleichzeitigen, grundsätzlich jedoch unabhängigen Rekonstruktion von Bildern der Objekte. Dabei können sich die rekonstruierten Bilder je nach der relativen Ausrichtung der Beugungsgitter in unterschiedlichem Maße oder gar nicht überlagern. Die genannte Druckschrift offenbart solche Strukturen als mögliche Sicherheitsmerkmale für Geldscheine, Ausweisdokumente, etc.

[0006] Aus der DE 10 2004 003 984 A1 ist ebenfalls ein holografisches Sicherheitselement für Dokumente bekannt, das als ein Gitterfeld aus mehreren, juxaponierten, verschieden geformten Einzel-Hologrammen unterschiedlicher Gitterstruktur aufgebaut ist. Bei Betrachtung unter unterschiedlichen Winkeln werden die unterschiedlichen, in den einzelnen Hologrammen codierten Informationen sichtbar.

[0007] Aus der DE 10 2008 024 147 A1 ist ein Informationsträger bekannt, in den ein Muster von mikroskopisch feinen, transparenten und opaken Zonen eingeschrieben ist, wobei in den transparenten Zonen eine Oberflächen-Gitterstruktur abgeformt ist, deren Aspektenverhältnis sich vom Aspektenverhältnis einer Oberflächen-Gitterstruktur, die in den opaken Zonen abgeformt sein kann, unterscheidet. Dieses Muster von transparenten und opaken Zonen entspricht der Abbildung einer ersten Information generierenden, diffraktiven Reliefstruktur auf das Muster, wobei für besagte Reliefstruktur die Möglichkeit offenbart ist, sie als CGH zu erzeugen.

[0008] Nachteilig bei allen Formen der Muster-Juxtaposition ist der große Platzbedarf auf dem Informationsträger bzw. die Notwendigkeit eines entspre-

chend großflächig ausleuchtenden Beleuchtungsstrahls zur Sichtbarmachung der codierten Gesamtinformation.

[0009] Zu den Details der Herstellung besagter Superposition aus einem Hologramm und einem Beugungsgitter offenbaren die genannten Druckschriften nur wenige Details. Für den Fachmann naheliegend erscheinen jedoch zwei Varianten: Denkbar ist die Anordnung von Hologramm und Beugungsgitter in unterschiedlichen Schichten eines komplex geschichteten Substrats. Die Pixel des Hologramms können dabei reliefartig als Grenzfläche zwischen unterschiedlichen Materialien und/oder als Eintrübung bzw. Färbung von ansonsten transparentem oder reflexivem Substratmaterial realisiert sein. Nachteilig bei dieser Variante ist der komplexe Schichtaufbau des Substrates, der zu einem hochkomplizierten und zeitaufwändigen Herstellungsprozess führt. Alternativ wäre denkbar, ein hochkomplexes Kombinationsmuster aus Hologramm und Beugungsgitter, bspw. nach Art eines Additionsreliefs, zu berechnen und in das Substrat einzuschreiben. Ein solch hochkomplexes Kombinationsmuster weist jedoch sehr kleine Musterdetails auf, sodass aufgrund des beschränkten Auflösungsvermögens üblicher Strukturierungsverfahren einer üblicherweise gewünschten Miniaturisierung der resultierenden Sicherheitsmerkmale enge Grenzen gesetzt sind.

[0010] Aus der EP 2 547 486 B1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung bekannt, um räumlich periodische Strukturen, insbesondere Liniengitter, mittels Laserablation in ein Substrat einzuschreiben. Hierbei findet ein sogenanntes Zwei-Gitter-Interferometer Anwendung, welches einen Laserstrahl einer für das jeweilige Substrat geeigneten Bearbeitungswellenlänge aufzuspalten und mit sich selbst zur Interferenz zu bringen vermag, sodass das Substrat im Bereich einer sehr kleinen Fläche mit dem resultierenden Interferenzmuster beleuchtet wird. Dabei liegt die Fluenz der Beleuchtung wenigstens bereichsweise oberhalb einer Bearbeitungsschwelle des Substrats. Es resultiert eine dem Interferenzmuster entsprechende Strukturierung des Substrats in der beleuchteten Fläche. Durch gepulste Beleuchtung und synchronisierte Verschiebung der Beleuchtungsfläche ist es möglich, eine große Substratfläche pixelweise zu strukturieren. Es ist möglich, eines der Gitter zwischen zwei Pulsen zu wechseln, sodass pixelweise unterschiedliche Interferenzmuster entstehen. Bei dem Substrat kann es sich um ein nahezu beliebiges Material, bspw. Quarz, Glas, Metall, Keramik oder Ähnliches handeln. Die Bearbeitungswellenlänge ist dabei so auf die optischen Eigenschaften des Substrats abzustimmen, dass eine für die gewünschte Materialmodifikation, insbesondere eine Ablation des Substratmaterials, hinreichende Absorption gegeben ist. Neben der Ablation

sind auch andere Arten der Materialmodifikation, bspw. eine lokal begrenzte Polymerisierung oder Ähnliches möglich.

Aufgabenstellung

[0011] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen gattungsgemäßen Informationsträger derart weiterzubilden, dass es auf leicht realisierbare Weise möglich ist, auf sehr kleinem Raum eine größere Anzahl von Bildern unterschiedlicher Objekte zu kodieren.

Darlegung der Erfindung

[0012] Diese Aufgabe wird in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 dadurch gelöst, dass die Pixel erster Art in mehrere Unterarten von Pixeln erster Art unterteilt sind, deren Beugungsgitter erster Art sich in ihrer Beugungseffizienz voneinander unterscheiden.

[0013] Ein solcher Informationsträger lässt sich mittels eines Verfahrens gemäß Anspruch 7 herstellen, nämlich mittels eines Verfahrens, umfassend die Schritte:

- a) Bereitstellen eines Substrates aus einem Licht einer vorgegebenen Beleuchtungswellenlänge transmittierenden oder reflektierenden und Licht einer Bearbeitungswellenlänge absorbierenden Substratmaterial,
- b) Bereitstellen eines aus einer Mehrzahl von virtuellen Pixeln erster und zweiter Art zusammengesetzten, virtuellen Musters, welches ein Bild codierendes Hologramm repräsentiert,
- c) pixelweise selektives, dem virtuellen Muster derart entsprechendes Bestrahlen des Substrates mit Lichtpulsen der Bearbeitungswellenlänge und einer wenigstens bereichsweise oberhalb einer Bearbeitungsschwelle des Substratmaterials liegenden Energiedichte, dass an jeder einem virtuellen Pixel erster Art entsprechenden Position des Substrates zur Schaffung eines Pixels erster Art ein Beugungsgitter erster Art eingeschrieben wird.

[0014] Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0015] Wie grundsätzlich bekannt, ist auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgesehen, in einem Hologramm zunächst die hier als Pixel erster Art bezeichneten, „aktiven“ Pixel von den hier als Pixel zweiter Art bezeichneten, „inaktiven“ Pixeln zu unterscheiden. „Aktiv“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die hologrammtypische Interferenz durch Wechselwirkung der von diesen „aktiven“ Pixeln ausgehenden (reflektierten oder transmittierten) Lichtanteilen entsteht. Von den „inaktiven“

Pixeln gehen hingegen keine zur hologrammtypischen Interferenz beitragenden Lichtanteile aus. Die „inaktiven“ Pixel dienen vielmehr zur Gewährleistung des für die Interferenz erforderlichen Abstandes zwischen den „aktiven“ Pixeln. Eine solche Unterscheidung lässt sich grundsätzlich bei jedem pixelweise aufgebautem Hologramm vornehmen. Im Rahmen der Erfindung ist weiter vorgesehen, dass die „aktiven“ Pixel geschaffen werden durch das Einschreiben eines Beugungsgitters erster Art an der entsprechenden Position auf dem Substrat. Die „inaktiven“ Pixel werden hingegen geschaffen, indem an der ihnen entsprechenden Substratposition kein solches Beugungsgitter erster Art eingeschrieben wird. Besonders bevorzugt können diese Positionen schlicht unbearbeitet belassen werden. Denkbar ist hingegen auch eine beliebige sonstige Bearbeitung mit Ausnahme der Schaffung eines Beugungsgitters erster Art, d. h. eines Beugungsgitters mit gleichem Linienabstand und gleicher Winkelausrichtung seiner Gitterlinien.

[0016] Durch das Beugungsgitter erster Art werden die von den Pixeln erster Art ausgehenden Lichtanteile vorwiegend nicht in die nullte, sondern in eine höhere, insbesondere in die erste Beugungsordnung (bezogen auf das Beugungsgitter) gebeugt. Hier kommen sie zur gewünschten interferierenden Wechselwirkung. Da die Pixel zweiter Art kein oder ein anderes Beugungsgitter tragen, werden von ihnen ausgehende Lichtanteile in andere (Raum-) Richtungen ausgesandt (transmittiert oder reflektiert) und können daher nicht die Rekonstruktion des im Hologramm codierten Bildes stören.

[0017] Mit anderen Worten besteht der Informationsträger nicht aus der Überlagerung eines Hologramms und eines Beugungsgitters; vielmehr besteht das Hologramm selbst (nur) aus Bereichen mit erstem Beugungsgitter („aktive“ Pixel, Pixel erster Art) und Bereichen ohne Beugungsgitter erster Art („inaktive“ Pixel“, Pixel zweiter Art).

[0018] Ein solches als Hologramm wirkendes Muster lässt sich idealerweise mit einem Zwei-Gitter-Interferometer herstellen, welches, wie eingangs erläutert und aus dem Stand der Technik bekannt, in der Lage ist, ein Substrat pixelweise mit miniaturisierten Beugungsgittern zu versehen.

[0019] Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in der Möglichkeit, das als Hologramm wirkende Muster direkt pixelweise in das Substrat einzuschreiben. Dadurch ist ein komplizierter Schichtaufbau des Substrates, wie bei einer räumlichen Übereinander-Lagerung eines Beugungsgitters nicht erforderlich. Zudem sind die in die einzelnen Pixel einzuschreibenden Strukturen von vergleichsweise einfacher Natur, nämlich insbesondere einfache Liniengitter. Die kleinste notwendigerweise aufzulösende, charakte-

ristische Größe ist dabei der Linienabstand. Noch feinere Details, wie sie bei einer Überlagerung von einem Hologramm und einem Liniengitter in einer gemeinsamen Ebene auftreten und Strukturierungsverfahren schnell überfordern können, treten nicht auf. Der Informationsträger lässt sich also schnell, kostengünstig und in extremer Miniaturisierung herstellen, was insbesondere für versteckte Sicherheitsmerkmale auf beliebigen (Handels-) Produkten, bei denen ein Bedarf nach einer Sicherheitskennzeichnung gesehen wird, von großer Bedeutung ist.

[0020] Zur Lösung der Aufgabe, nämlich dafür zu sorgen, dass es auf leicht realisierbare Weise möglich ist, auf sehr kleinem Raum Bilder unterschiedlicher Objekte zu kodieren und bei der Rekonstruktion simultan in unterschiedlichen Raumbereichen sichtbar zu machen ist zunächst vorgesehen, dass in das Substrat wenigstens ein zu dem ersten Muster analog aufgebautes, als ein ein zweites Bild kodierendes, zweites Hologramm wirkendes, zweites Muster eingeschrieben ist, wobei sich die Beugungsgitter erster Art der den verschiedenen Mustern zugehörigen Pixel erster Art in der Anordnung ihrer Gitterlinien unterscheiden. Wie auch das erste Muster besteht das zweite Muster aus einer Zusammenstellung von Pixeln erster Art, d. h. von Pixeln mit einem Beugungsgitter erster Art, und Pixeln zweiter Art, d. h. von Pixeln, die kein Beugungsgitter erster Art (bezogen auf das erste Muster) tragen. Die Muster unterscheiden sich zumindest in der Anordnung der Gitterlinien ihres jeweiligen Beugungsgitters erster Art. Der Unterschied kann - bevorzugt - in der Winkelausrichtung der Gitterlinien bestehen. Alternativ oder zusätzlich können sich die Muster hinsichtlich des Linienabstandes ihrer Beugungsgitter erster Art unterscheiden. Beide Maßnahmen sorgen dafür, dass das jeweils codierte Bild in anderen Raumbereichen rekonstruiert wird. Dabei ist es selbstverständlich möglich und sogar bevorzugt vorgesehen, dass sich die Muster auch in den jeweils kodierten Bildern unterscheiden. Selbstverständlich ist es auch möglich, mehr als nur zwei unterschiedliche Muster von erfindungsgemäßem Aufbau in das Substrat einzuschreiben.

[0021] Hinsichtlich der räumlichen Anordnung der unterschiedlichen Muster auf dem Substrat ist vorgesehen, dass die einzelnen Muster miteinander zu einem Supermuster auf einer simultan beleuchtbaren Fläche angeordnet sind. Das Supermuster ist dabei aus Superpixeln zusammengesetzt, die ihrerseits aus Subpixeln zusammengesetzt sind, wobei jedes Superpixel als Subpixel diejenigen Muster der Pixel enthält, die in ihrem jeweiligen eigenen Muster an derjenigen Position angeordnet sind, die der Position des Superpixels im Supermuster entspricht. Zur Erläuterung sei folgendes, einfaches Beispiel gegeben: Es sollen vier unterschiedliche Muster, die jeweils aus 32 x 32 Pixeln aufgebaut sind, im Rah-

men der Verschränkungs-Variante auf dem Substrat positioniert werden. Dies erfolgt durch Einschreiben eines Supermusters von ebenfalls 32 x 32 Superpixeln. Jedes Superpixel ist aus vier Subpixeln aufgebaut, wobei jedes Subpixel einem Pixel eines der vier unterschiedlichen Muster entspricht. Insbesondere setzt sich das im Supermuster „oben links“ angeordnete Superpixel aus den vier jeweils in ihrem eigenen Muster „oben links“ angeordneten Pixeln als seinen Subpixeln zusammen. Analoges gilt für jedes weitere Superpixel des Supermusters.

[0022] Bevorzugt ist dabei die Relativanordnung der den einzelnen Mustern zugehörigen Pixel als Subpixel innerhalb eines Superpixels für alle Superpixel des Supermusters identisch. Im Rahmen des obigen Beispiels könnte dies bedeuten, dass innerhalb jedes Superpixels das entsprechende Pixel des ersten Musters die Position des Subpixels „oben rechts“, das Pixel des zweiten Musters die Position des Subpixels „unten rechts“ usw. einnimmt. Auf diese Weise ergeben sich keine Verschiebungen der Abstände der jeweils einem Muster zugeordneten Pixel zueinander.

[0023] Im obigen Beispiel setzt sich das Supermuster vollständig aus miteinander verschränkten Hologrammen zusammen. D. h. jedes Subpixel entspricht dem Pixel eines selbst als Hologramm wirkenden Musters. Dies ist im Rahmen der Verschränkung jedoch nicht zwingend. So ist es alternativ auch möglich, ein oder mehrere Subpixel in jedem Superpixel nicht mit Pixeln eines selbst als Hologramm wirkenden Musters zu belegen; stattdessen kann vorgesehen sein, dass jedes Superpixel als eines seiner Subpixel ein Pixel eines sich über die Fläche des Supermusters erstreckenden dritten Bildes enthält. Diese besonderen Subpixel sind nicht Teil eines Hologramms, sondern direkte Bildpunkte eines nicht als Hologramm codierten Bildes. Dieses Bild, hier als drittes Bild angesprochen, wird bei beliebiger Beleuchtung direkt sichtbar- je nach Beschaffenheit des Substrats in Reflektion und/oder in Transmission, insbesondere ist keine kohärente Beleuchtung notwendig. Mit anderen Worten wird bei Betrachtung des Informationsträgers das direkte, dritte Bild stets sichtbar sein, während die als Hologramme codierten Bilder nur bei spezieller Beleuchtung mit kohärentem Licht einer geeigneten Beleuchtungswellenlänge sichtbar werden. Im Fall, dass die das direkte, dritte Bild darstellenden Subpixel als im Wesentlichen unbearbeitete Substratbereiche realisiert sind, wird das dritte Bild bei im Wesentlichen senkrechter Beobachtung sichtbar werden. Es ist bekannt, direkt beobachtbare Bilder durch Beugungsgitter zu erzeugen, sodass sich unter Weißlicht bei Änderung des Beobachtungswinkels der jeweilige Farbeindruck ändert. Derartige Bilder lassen sich gut mit erfindungsgemäßen Bildern kombinieren.

[0024] Der Fachmann wird erkennen, dass der Begriff der Beleuchtungswellenlänge im Kontext der vorliegenden Erfindung nicht als einschränkender Hinweis auf eine evtl. notwendige (tatsächlich aber nicht erforderliche) Verwendung monochromatischen Lichtes einer speziellen Wellenlänge zu verstehen ist. Die erläuterte Wirkung der Hologramme wird grundsätzlich bei Beleuchtung mit beliebiger Lichtfarbe eintreten. Die an den Beugungsgittern auftretende Ablenkung des Lichtes ist aber natürlich wellenlängenabhängig. Eine zu große Abweichung der tatsächlichen Beleuchtungswellenlänge von der bei der Berechnung des CGH zugrunde gelegten, „optimalen“ Beleuchtungswellenlänge mag also zu für eine tatsächliche Beobachtbarkeit im Rahmen eines konkreten experimentellen Aufbaus zu großen oder zu kleinen Abständen der rekonstruierten Bilder von der nullten Ordnung führen. Der Fachmann wird jedoch in Kenntnis der Details CGH-Berechnung bzw. dessen Herstellung einerseits und des experimentellen Aufbaus der Rekonstruktions-Apparatur andererseits ohne Schwierigkeiten das Spektrum geeigneter Beleuchtungswellenlängen bestimmen können.

[0025] Solch computergenerierte Hologramme sind „schwarz/weiß“ codiert. Mit anderen Worten sind die Pixel erster Art einerseits und die Pixel zweiter Art andererseits untereinander jeweils gleich ausgestaltet. Dies beschränkt den Informationsinhalt des Hologramms. Ein erfindungsgemäßes Hologramm ist daher als „Graustufen“-CGH ausgebildet. So ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Pixel erster Art in mehrere Unterarten von Pixeln erster Art unterteilt sind, deren Beugungsgitter erster Art sich in ihrer Beugungseffizienz voneinander unterscheiden. Konstruktiv können sich unterschiedliche Beugungseffizienzen durch unterschiedliche Furchentiefen von ansonsten, insbesondere im Hinblick auf Linienabstand und Winkelausrichtung, gleichen Beugungsgittern realisieren. Die verschiedenen Unterarten der „aktiven“ Pixel erster Art tragen somit in unterschiedlichem Maße zur Rekonstruktion des Bildes bei. Von den „inaktiven“ Pixeln zweiter Art ausgehende Lichtanteile tragen nach wie vor nicht zur Bildrekonstruktion bei. Auch wenn im Rahmen der weiteren Beschreibung aus Gründen des erleichterten Verständnisses größtenteils nur auf Ausführungsformen ohne Effizienzstaffelung innerhalb der Pixel erster Art eingegangen wird, möge der Fachmann im Blick behalten, dass stets auch eine Ausführungsform mit gestaffelt beugungseffizienten Pixeln erster Art möglich ist.

[0026] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden speziellen Beschreibung und den Zeichnungen.

Figurenliste

[0027] Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung des Verlaufs eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Informationsträgers,

Fig. 2: eine bereichsweise Schnittdarstellung eines resultierenden, erfindungsgemäßen Informationsträgers,

Fig. 3: eine schematische Darstellung des Rekonstruktionsprozesses unter Verwendung des Informationsträgers der **Fig. 1** und **Fig. 2**,

Fig. 4: eine stark vereinfachte Darstellung eines erfindungsgemäßen Informationsträgers mit mehreren, zu einem Supermuster miteinander verschränkten Mustern.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

[0028] Gleiche Bezugszeichen in den Figuren weisen auf gleiche oder analoge Elemente hin.

[0029] **Fig. 1** zeigt grob schematisch den Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines in **Fig. 2** ausschnittsweise gezeigten, erfindungsgemäßen Informationsträgers 10 aus einem Substrat 12. Bei dem Substrat 12 kann es sich um eine Platte aus reflektivem oder transparentem Material, bspw. Glas, Quarz, Metall, Kunststoff, ein Polymer-Vorprodukt o. Ä. handeln. Die genannten optischen Eigenschaften sind in Bezug auf diejenigen Wellenlängen zu verstehen, die für die Betrachtung bzw. die Rekonstruktion des Bildes verwendet werden sollen - hier allgemein angesprochen als „die Rekonstruktionswellenlänge“ bzw. „die Betrachtungswellenlänge“.

[0030] Im dargestellten Fall soll der Informationsträger 10 die Information des links in **Fig. 1** dargestellten Motivs 14, des Logos der Anmelderin, tragen. Hierzu wird aus dem Motiv 14 mit dem Fachmann grundsätzlich bekannten Algorithmen ein CGH 16 als virtuelles Muster aus „schwarzen“ und „weißen“ Pixeln - verallgemeinert: virtuellen Pixeln erster und zweiter Art - berechnet. Das CGH 16 wird dann als Basis der Ansteuerung eines dem Fachmann grundsätzlich bekannten Zwei-Gitter-Interferometers 18 verwendet. Dabei wird ein Laserstrahl aufgespalten und mit sich selbst interferierend überlagert, wobei die Oberfläche des Substrats 12 nahe der Fokalebene der überlagerten Laser-Teilstrahlen positioniert wird. Bei geeigneter Abstimmung von Substratmaterial, Laserwellenlänge und Laserintensität kann dadurch an der momentanen Bestrahlungsstelle ein Beugungsgitter in das Substrat eingeschrieben werden. Insbesondere ist die Wellenlänge des Lasers - die Bearbeitungswellenlänge - in einem Bereich zu

wählen, in dem das Substrat 12 hinreichend hohe Absorption zeigt, sodass bei der gegebenen Laserintensität eine Materialmodifikationsschwelle des Substratmaterials, insbesondere eine Ablationsschwelle, überschritten wird. Der Laser wird gepulst betrieben. Bei jedem Puls kann eine Substratfläche mit lateraler Ausdehnung von wenigen Mikrometern bis zu einigen zehn Mikrometern bearbeitet, d. h. mit einem Beugungsgitter versehen werden. Durch pulssynchrones Verschieben des Laserstrahls relativ zum Substrat 12 kann auf diese Weise eine große Substratfläche abgerastert werden, wobei an ausgewählten Positionen tatsächlich ein Beugungsgitter 20 in das Substrat 12 eingeschrieben und andere Substratpositionen unbearbeitet gelassen (oder mit einem anders gearteten Beugungsmuster beschrieben) werden können. Jede derartige Bearbeitungsposition entspricht einem Pixel des realen, in das Substrat 12 eingeschriebenen Musters 22.

[0031] Erfindungsgemäß erfolgt die Ansteuerung des Substratbearbeitungsprozesses gemäß dem Muster des (virtuellen) CGH 16. Bspw. können diejenigen Positionen auf dem Substrat 12, die „weißen“ Pixeln im virtuellen Muster 16 entsprechen, mit einem Beugungsgitter erster Art belegt werden, während diejenigen Positionen auf dem Substrat 12, die „schwarzen“ Pixeln im virtuellen Muster 16 entsprechen, unbearbeitet bleiben. Das reale Hologramm 22 ist also aus Pixeln erster und zweiter Art zusammengesetzt, die sich untereinander dadurch unterscheiden, dass die Pixel erster Art ein Beugungsgitter erster Art tragen, während die Pixel zweiter Art dies nicht tun.

[0032] **Fig. 2** zeigt einen resultierenden Informationsträger 10 in einer Schnittansicht, die einen Bereich von etwas mehr als drei Pixeln überspannt. Die beiden äußeren, vollständig dargestellten Pixel sind Pixel erster Art, d. h. sie tragen ein Beugungsgitter erster Art 20. Das mittlere dargestellte Pixel ist ein Pixel zweiter Art, d. h. es trägt kein Beugungsgitter erster Art 20. Bei der dargestellten Ausführungsform bestehen die Pixel zweiter Art insbesondere aus unbearbeitetem Substrat.

[0033] Bei Beleuchtung des Informationsträgers 10 - in **Fig. 2** dargestellt ist ein in Normalenrichtung auf einen reflektiven Informationsträger 10 einfallendes Beleuchtungs- bzw. Rekonstruktionslicht 24 - werden auf ein Pixel erster Art auftreffende Lichtanteile primär in die erste Beugungsordnung (+1. und -1. Ordnung) gebeugt, während auf ein Pixel zweiter Art auftreffende Lichtanteile im Wesentlichen rückreflektiert werden (nullte Ordnung). Unter dem der ersten Beugungsordnung zugeordneten Betrachtungswinkel überlagern sich daher die von den Pixeln erster Art stammenden Lichtanteile, während die Pixel zweiter Art unter diesem Betrachtungswinkel als „dunkle“ Abstandhalter wirken. Unter diesem

Betrachtungswinkel, d. h. in der ersten Beugungsordnung, wird also das im Muster codierte Bild ebenso rekonstruiert, wie dies bei einem normalen, aus echt schwarzen und weißen Pixeln aufgebauten Hologramm in der nullten Ordnung der Fall wäre.

[0034] Fig. 3 zeigt den Rekonstruktionsprozess in globalerer Darstellung. Der Informationsträger 10 wird mit dem kohärenten Rekonstruktionslicht 24 beleuchtet. Bei der Rekonstruktion entsteht in jeder Beugungsordnung (bezogen auf das Beugungsgitter der Pixel erster Art) ein reelles Doppelbild 26 des im Muster 22 holografisch codierten Motivs 14. Zu beachten ist dabei, dass sich die beiden einzelnen Bilder des besagten Doppelbildes punktsymmetrisch zueinander verhalten. Die Ablenkung, die das Doppelbild relativ zur nullten Beugungsordnung, d. h. zu direkt reflektiertem Rekonstruktionslicht 24 erfährt, hängt bei gegebenem Beleuchtungswinkel von der Winkelausrichtung und vom Linienabstand des Beugungsgitters 20 der Pixel erster Art ab.

[0035] Bereits bei dieser einfachsten Ausführungsform der Erfindung ergibt sich der Vorteil, dass sich das rekonstruierte Bild 26 nicht mit dem direkt reflektierten Licht der nullten Ordnung überlagert und daher in einem vorhersagbaren Winkelbereich klar zu erkennen ist.

[0036] Die besondere Stärke der vorliegenden Erfindung liegt jedoch in der Möglichkeit, auf einer begrenzten Fläche mehrere, gleichzeitig rekonstruierbare Bilder zu hinterlegen. Zwei Varianten sind in den **Fig. 4a** und **Fig. 4b** dargestellt, die das Prinzip in äußerst vereinfachter Darstellung illustrieren sollen.

[0037] Gemäß **Fig. 4a** sollen zwei Motive 14a, 14b holografisch codiert auf dem Informationsträger 10 hinterlegt werden. Hierzu werden die entsprechenden (virtuellen) CGH berechnet und entsprechende Muster 22a, 22b in das Substrat 12 eingeschrieben. Durch einen Reproduktionsprozess gemäß **Fig. 3** können bei separater Beleuchtung der Muster 22a, 22b die Bilder 26a, 26b erzeugt werden. Dargestellt sind jeweils die Doppelbilder der +1. und -1. Ordnung, die sich um die als zentraler Punkt dargestellte, nullte Ordnung gruppieren, wie durch entsprechende Ordnungszahlen in den Figuren angedeutet. Die Positionen der Doppelbilder im rekonstruierten Bild 26a relativ zur zugehörigen nullten Ordnung unterscheiden sich von den entsprechenden Positionen im rekonstruierten Bild 26b, da sich die Beugungsgitter erster Art 20a im Muster 22a von den Beugungsgittern erster Art 20b im Muster 22b hinsichtlich der Winkellage ihrer Gitterlinien unterscheiden.

[0038] Fig. 4b zeigt, wie die Muster 22a, 22b zu einem Supermuster 22* miteinander verschränkt in

das Substrat 12 eingeschrieben sind. Dabei ist jedes Superpixel des Supermusters 22* nach Zeile und Spalte mit römischen Ziffern (Zeilen) und lateinischen Großbuchstaben (Spalten) bezeichnet. Bei der gezeigten Ausführungsform besteht jedes Superpixel aus vier Subpixeln. Das in jedem Superpixel jeweils oben links angeordnete Subpixel entspricht dem korrespondierenden Pixel des Musters 22a; das in jedem Superpixel unten rechts angeordnete Subpixel entspricht dem korrespondierenden Pixel des Musters 22b. So enthält das Superpixel A/IV als sein oben links angeordnetes Subpixel das Pixel a/4 des Musters 22a und als sein unten rechts angeordnetes Subpixel das Pixel a/4 des Musters 22b. Bei der dargestellten Ausführungsform sind in jedem Superpixel nur zwei seiner Subpixel, nämlich das jeweils oben links und das jeweils unten rechts angeordnete Subpixel, einem der als Hologramme wirkenden Muster 22a, 22b zugeordnet. Die beiden jeweils übrigen Subpixel, nämlich das jeweils oben rechts und das jeweils unten links angeordnete Subpixel, sind hingegen keinem als Hologramm wirkenden Muster zugeordnet. Es ist ohne weiteres möglich, auch diese Subpixel entsprechend zu belegen. Alternativ ist denkbar, diese Subpixel zu Realisierung eines sich über die Fläche des Supermusters 22* erstreckenden, realen, d. h. nicht holografisch codierten, Bildes, insbesondere eines Bildes mit beobachtungswinkelabhängiger Farbgebung, zu nutzen.

[0039] Wird von keiner dieser Möglichkeiten Gebrauch gemacht, führt, wie in **Fig. 4b** dargestellt, die simultane Beleuchtung des gesamten Supermusters 22* zur simultanen Rekonstruktion der Bilder 26a, 26b, wobei sich diese aufgrund der unterschiedlichen Ausrichtung ihrer jeweiligen Beugungsgitter erster Art 20a, 20b in unterschiedlichen Raumbereichen zeigen.

[0040] Natürlich stellen die in der speziellen Beschreibung diskutierten und in den Figuren gezeigten Ausführungsformen nur illustrative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung dar. Dem Fachmann ist im Lichte der hiesigen Offenbarung ein breites Spektrum von Variationsmöglichkeiten an die Hand gegeben. Insbesondere sei darauf hingewiesen, dass die in den Figuren zur optischen Trennung der Superpixel, Pixel bzw. Subpixel dargestellten Linien normalerweise keine Entsprechung in der Realität haben.

Bezugszeichenliste

10	Informationsträger
12	Substrat
14, 14a, 14b	Motiv
16	virtuelles Muster, CGH

18	Zwei-Gitter-Interferometer
20, 20a, 20b	Beugungsgitter erster Art
22, 22a, 22b	Muster
22*	Supermuster
24	Rekonstruktionslicht, Beleuchtungslicht
26, 26a, 26b	rekonstruiertes Bild

Patentansprüche

1. Informationsträger (10), umfassend ein Substrat (12), in das ein aus jeweils einer Mehrzahl von Pixeln erster Art und Pixeln zweiter Art zusammengesetztes, erstes Muster (22, 22a) eingeschrieben ist, welches bei Beleuchtung mit kohärentem Licht vorgegebener Beleuchtungswellenlänge durch Interferenz von mit seinen Pixeln interagierenden Lichtanteilen als ein erstes Bild codierendes, erstes Hologramm wirkt,

wobei jedes Pixel erster Art ein Beugungsgitter erster Art (20, 20a) trägt und jedes Pixel zweiter Art entweder kein Beugungsgitter trägt oder ein Beugungsgitter zweiter Art trägt, welches sich von dem Beugungsgitter erster Art (20, 20a) durch die Anordnung seiner Gitterlinien unterscheidet,,

wobei in das Substrat (12) wenigstens ein zu dem ersten Muster (22a) analog aufgebautes, als ein zweites Bild codierendes, zweites Hologramm wirkendes, zweites Muster (22b) eingeschrieben ist, wobei sich die Beugungsgitter erster Art (20a, 20b) der den verschiedenen Mustern (22a, 22b) zugehörigen Pixel erster Art in der Anordnung ihrer Gitterlinien unterscheiden und die einzelnen Muster (22a, 22b) miteinander zu einem Supermuster (22*) verschränkt auf einer simultan beleuchtbaren Fläche angeordnet sind

dadurch gekennzeichnet,

dass die Pixel erster Art in mehrere Unterarten von Pixeln erster Art unterteilt sind, deren Beugungsgitter erster Art (20a, 20b) sich in ihrer Beugungseffizienz voneinander unterscheiden.

2. Informationsträger (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass sich die Beugungsgitter erster Art (20a, 20b) der den verschiedenen Mustern (22a, 22b) zugehörigen Pixel erster Art in der Winkelausrichtung ihrer Gitterlinien unterscheiden.

3. Informationsträger (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass sich die Beugungsgitter erster Art (20a, 20b) der den verschiedenen Mustern (22a, 22b) zugehörigen Pixel erster Art im Linienabstand ihrer Gitterlinien unterscheiden.

4. Informationsträger (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

dass das Supermuster (22*) aus Superpixeln zusammengesetzt ist, die ihrerseits aus Subpixeln zusammengesetzt sind, wobei jedes Superpixel als Subpixel diejenigen Pixel der Muster (22a, 22b) enthält, die in ihrem jeweiligen Muster (22a, 22b) an derjenigen Position angeordnet sind, die der Position des Superpixels im Supermuster (22*) entspricht.

5. Informationsträger (10) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Relativanordnung der den einzelnen Mustern (22a, 22b) zugehörigen Pixel als Subpixel innerhalb eines Superpixels für alle Superpixel des Supermusters (22*) identisch ist.

6. Informationsträger (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass jedes Superpixel als eines seiner Subpixel ein Pixel eines sich über die Fläche des Supermusters (22*) erstreckenden, dritten Bildes enthält.

7. Verfahren zur Herstellung eines Informationsträgers (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen eines Substrates (12) aus einem Licht einer vorgegebenen Beleuchtungswellenlänge transmittierenden oder reflektierenden und Licht einer Bearbeitungswellenlänge absorbierenden Substratmaterial,

b) Bereitstellen eines aus einer Mehrzahl von virtuellen Pixeln erster und zweiter Art zusammengesetzten, virtuellen Musters (16), welches ein ein Bild codierendes Hologramm repräsentiert,

c) pixelweise selektives, dem virtuellen Muster (16) derart entsprechendes Bestrahlen des Substrates (12) mit Lichtpulsen der Bearbeitungswellenlänge und einer wenigstens bereichsweise oberhalb einer Bearbeitungsschwelle des Substratmaterials liegenden Energiedichte, dass an jeder einem virtuellen Pixel erster Art entsprechenden Position des Substrates (12) zur Schaffung eines Pixels erster Art ein Beugungsgitter erster Art (20) eingeschrieben wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Pixel zweiter Art unbearbeitet bleiben.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 8, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Bestrahlung des Substrates (12) mit einem gepulsten, mittels eines Zwei-Gitter-Interferometers (18) mit sich selbst zur interferierenden Überlagerung gebrachten Laserstrahl erfolgt, sodass die für die Schaffung von Pixeln erster Art bestimmten Substratpositionen nacheinander mit einem liniengitterartig intensitätsmodulierten Bestrahlungsmuster bestrahlt werden.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

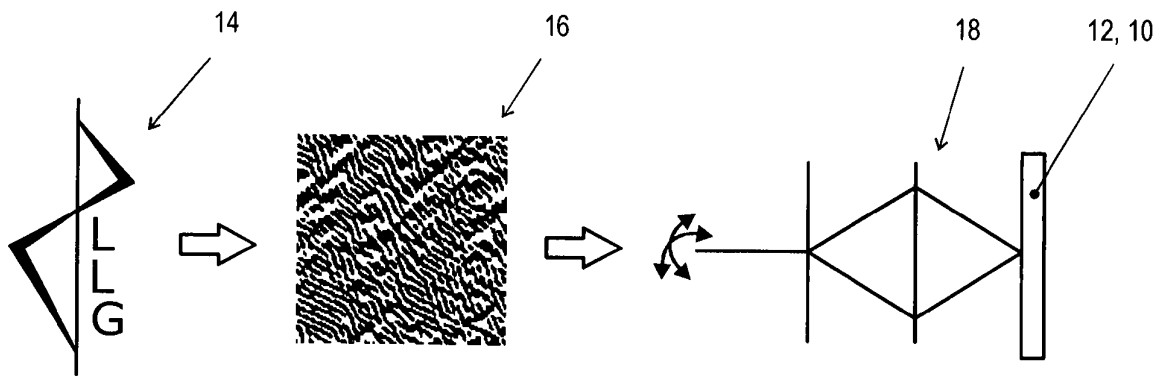


Fig. 1

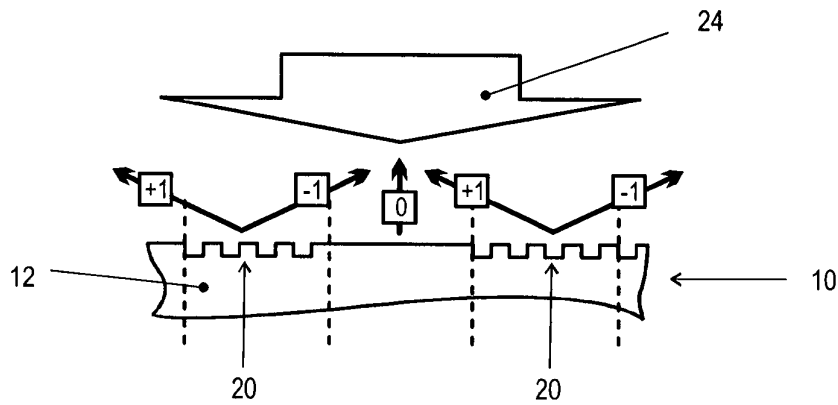


Fig. 2

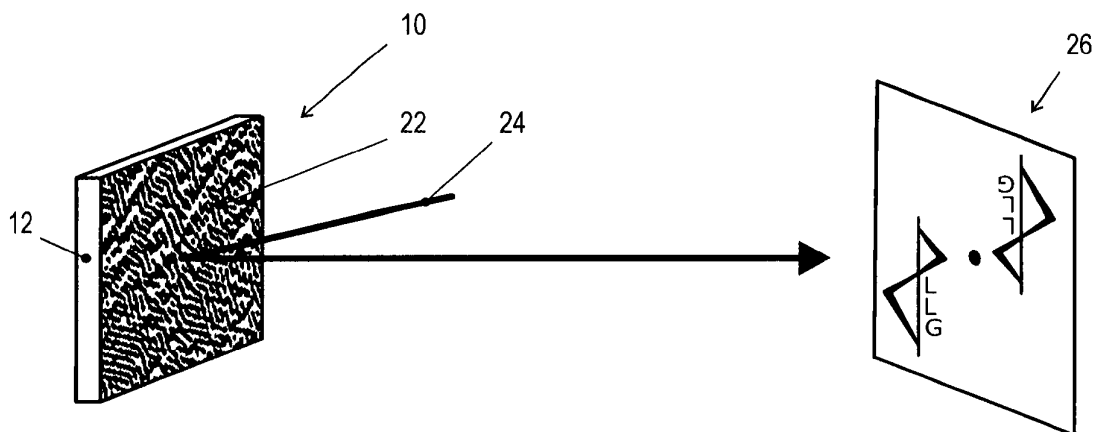


Fig. 3

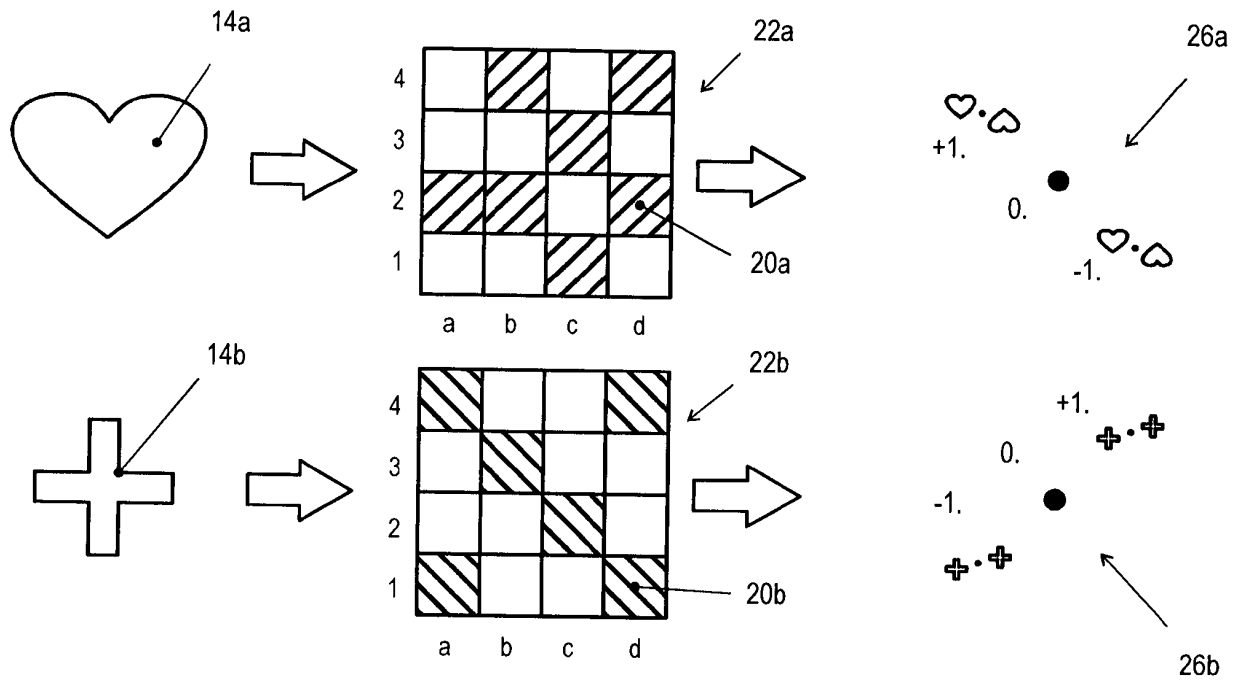


Fig. 4a

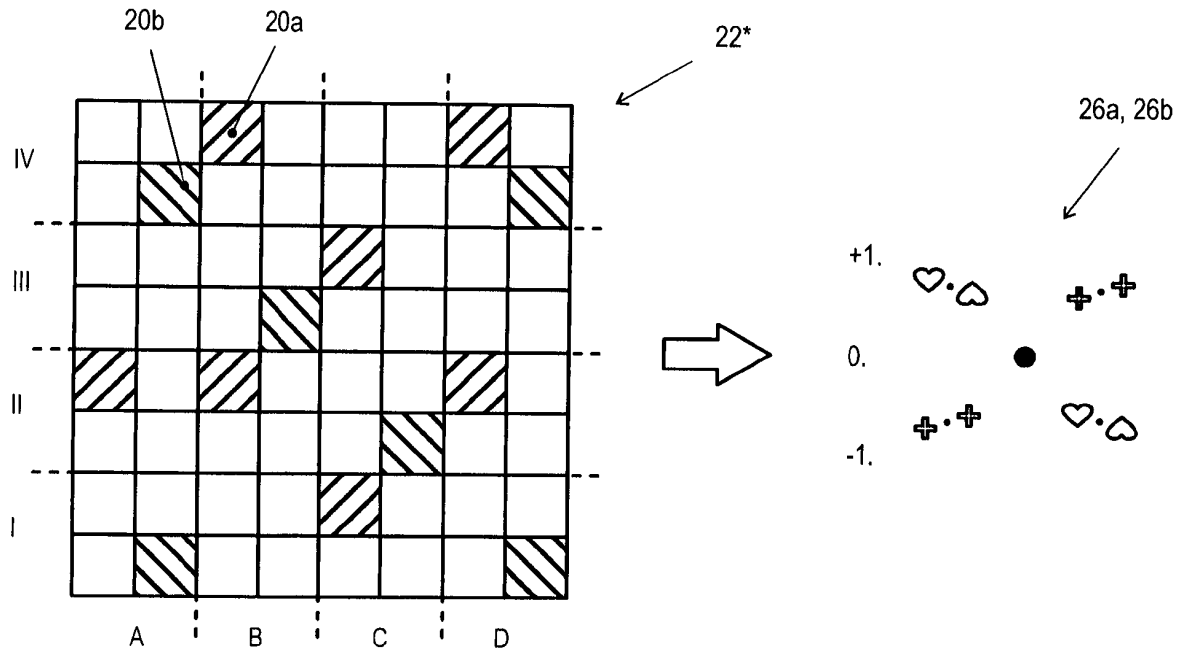


Fig. 4b