

(19)



(11)

EP 3 900 944 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

29.01.2025 Patentblatt 2025/05

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

B42D 25/41 ^(2014.01) **B42D 25/435** ^(2014.01)
B42D 25/455 ^(2014.01) **B42D 25/46** ^(2014.01)
B42D 25/485 ^(2014.01) **B42D 25/324** ^(2014.01)
B42D 25/346 ^(2014.01) **B42D 25/351** ^(2014.01)
B42D 25/23 ^(2014.01)

(21) Anmeldenummer: **21169495.5**

(22) Anmeldetag: **20.04.2021**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

B42D 25/23; B42D 25/324; B42D 25/346;
B42D 25/351; B42D 25/41; B42D 25/435;
B42D 25/455; B42D 25/46; B42D 25/485

(54) **VERFAHREN ZUM MARKIEREN MITTELS LASERPULSEN**

METHOD FOR MARKING BY MEANS OF LASER PULSES

PROCÉDÉ DE MARQUAGE AU MOYEN DES IMPULSIONS LASER

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

- **Rötzer, Martin**
85229 Markt Indersdorf (DE)
- **Kramer, Thomas**
80805 München (DE)

(30) Priorität: **23.04.2020 DE 102020111140**

(74) Vertreter: **Eisenführ Speiser**
Patentanwälte Rechtsanwälte PartGmbH
Postfach 31 02 60
80102 München (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.10.2021 Patentblatt 2021/43

(73) Patentinhaber: **Bundesdruckerei GmbH**
10969 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 3 552 837 WO-A1-2013/017738
WO-A1-2014/106517 US-B1- 10 391 586

(72) Erfinder:
 • **Bielesch, Ulrich**
56132 Frücht (DE)

EP 3 900 944 B1

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

BeschreibungGegenstand der Erfindung

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einbringen einer Markierung, welche auch eine Kontrast-, und/oder
Oberflächenveränderung durch Strukturierung beinhalten kann, mittels eines von einem Lasergenerator erzeugten
Laserstrahls, in eine Schicht eines Sicherheitsdokuments, wobei die Markierung eine Mehrzahl an Bildpunkten in
wenigstens einer ersten die Bildpunkte verbindenden Bahn aufweist. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Markierungs-
10 vorrichtung, ein Sicherheitsdokument, die Verwendung einer Schicht für ein Sicherheitsdokument sowie ein Computer-
programm.

Hintergrund der Erfindung

15 **[0002]** Zur Steigerung der Fälschungssicherheit von Sicherheitsdokumenten, insbesondere auch Wertdokumenten,
werden unterschiedliche Merkmale und Verfahren verwendet, die eine Nachbildung oder Verfremdung erschweren oder
verhindern. Dabei setzt sich ein Sicherheitsdokument üblicherweise aus mehreren Schichten zusammen, die vorzugs-
weise durch Laminieren bzw. Lamination miteinander verbunden werden. Die Daten werden zum Schutz vor Manipulation
unter einer vorzugsweise transparenten Deckschicht innerhalb des Materials eingebracht. Dies kann durch Laser-
20 personalisierung in den ansonsten fertigen Datenträger bewerkstelligt werden. Ein weiteres Verfahren sieht vor, den
Datenträger nach der Personalisierung mit einer vorzugsweise transparenten Deckschicht zu versehen.

[0003] Ein Wert- oder Sicherheitsdokument lässt sich verfremden, indem die Deckschicht entfernt wird und, nach
Manipulation der darunterliegenden Daten, eine neue Deckschicht aufgebracht wird. Zur Sicherung des Dokumentes vor
Manipulation können Hologramme verwendet werden, wie unter anderem in den Dokumenten WO 2017 109 119 A1, DE
10 2007 042 386 A1, EP 2 738 624 B1 und EP 1 475 678 B1 beschrieben ist. Dazu wird eine spezielle Hologrammfolie
25 entsprechend belichtet und auf den Datenträger aufgebracht. Ein weiteres Verfahren zum Steigern der Fälschungs-
sicherheit von Sicherheitsdokumenten besteht gemäß EP 1 970 211 A1 darin, schmale Seitenflächen des Dokuments
mittels eines Lasers zu beschriften, um eine optische Verbindung zwischen den Schichten herzustellen. Werden die
verschiedenen Schichten getrennt, wird die auf den Seitenflächen angebrachte Markierung beschädigt. Diese be-
schädigte Markierung nachzubilden ist technisch anspruchsvoll, wodurch ein Fälschen des Dokuments erschwert wird.

30 **[0004]** Weiterhin kann eine Mikrostrukturierung der Oberfläche eines Sicherheitsdokumentes vorgenommen werden,
welche eine Manipulation der Deckschicht erkennbar macht. Aus DE 10 2018 106 430 A1 ist ein Sicherheitselement zur
Verwendung als Schicht für ein Sicherheitsdokument bekannt, das eine Struktur aufweist, die Strukturelemente mit
Abmessungen von weniger als 200 Mikrometern umfasst. Ferner ist aus dem Dokument ein Verfahren zur Herstellung
eines solchen Sicherheitselements bekannt, wobei die Struktur mittels Laserstrahlung und/oder durch lokale Aufschäu-
35 mungen und/oder mittels hochauflösender 3D Drucktechnologie erzeugt wird. Nachteilig an den bekannten Verfahren
zum Herstellen von Mikrostrukturierungen ist jedoch, dass eine Bearbeitungszeit zum Herstellen der Mikrostrukturierung
vergleichsweise groß ist. Beim Erzeugen einer großflächigen Mikrostrukturierung mit möglichst kleinen Strukturelemen-
ten oder Bildpunkten ist es oft notwendig mehrere Laserpulse auf eine Stelle der Schicht aufzubringen, wodurch die
Bearbeitungszeit zusätzlich signifikant erhöht wird. Zum Erzeugen kleiner Bildpunkte wird der Laserstrahl bei bekannten
40 Verfahren mittels einer Ablenkeinrichtung mit beweglichen Ablenkspiegeln auf eine Position der Schicht geführt, wobei ein
den Laserstrahl erzeugender Lasergenerator nach dem Positionieren die Schicht mit einer entsprechenden Anzahl an
Laserpulsen beaufschlagt. Anschließend wird der Laserstrahl an die nächste Position der Schicht, an der ein Bildpunkt
erzeugt werden soll, bewegt. Dieses Verfahren wird auch als "Jump and Shoot" bezeichnet.

[0005] Da Sicherheitsdokumente, wie beispielsweise Ausweisdokumente, oftmals in sehr großen Stückzahlen her-
45 gestellt werden, geht bereits ein geringfügiger Anstieg der Bearbeitungszeit mit hohen Herstellungskosten einher.

[0006] US 10,391,586 B1 offenbart ein Verfahren zum Markieren eines Werkstücks aus Aluminium, das von einer
Oxidschicht bedeckt ist, aufweisend: Bestrahlen des Aluminiums durch die Oxidschicht mit mehreren Pulsfolgen von
optischen Pulsen, wobei jeder bestrahlte Ort des Werkstücks zumindest eine Pulsfolge aufeinanderfolgender optischer
Pulse empfängt.

50 **[0007]** WO 2014/106517 A1 offenbart Verfahren zum Herstellen eines Sicherheitselements für Sicherheitspapiere,
Wertdokumente und andere Datenträger, bei dem ein Substrat zumindest bereichsweise mit einer lasersensitiven
Aufzeichnungsschicht versehen wird, die in einem ersten Teilbereich mit einer ersten Laserstrahlung mit ersten Laser-
parametern beaufschlagt wird und in einem zweiten Teilbereich mit einer zweiten Laserstrahlung mit unterschiedlichen
zweiten Laserparametern beaufschlagt wird, um ein Ziel-Erscheinungsbild zu erzeugen.

55 **[0008]** WO 2013/017738 A1 offenbart ein Verfahren zum Erzeugen von Markierungen auf einer Bahn, die Zellulosefa-
sern und eine fluoreszierende Substanz aufweist, umfassend das Bilden eines ersten veränderten Abschnitts der Bahn
durch Richten eines Laserstrahls auf die Bahn, um die Fluoreszenz der Bahn an der Stelle des ersten veränderten
Abschnitts zu reduzieren.

Beschreibung der Erfindung

[0009] Soweit in der Beschreibung und in den Ansprüchen der vorliegenden Anmeldung der Begriff Wert- und/oder Sicherheitsdokument oder Sicherheitselement, verwendet wird, ist darunter beispielsweise ein Reisepass, Personal-
 5 ausweis, Führerschein, ein Zugangskrollausweis oder eine andere ID-Karte, ein Fahrzeugschein, Fahrzeugbrief, Visum, Scheck, Zahlungsmittel, insbesondere eine Banknote, eine Scheck-, Bank-, Kredit- oder Barzahlungskarte, Kundenkarte, Gesundheitskarte, Chipkarte, ein Firmenausweis, Berechtigungsnachweis, Mitgliedsausweis, Geschenk- oder Einkaufsgutschein, Frachtbrief oder ein sonstiger Berechtigungsnachweis, Steuerzeichen, Postwertzeichen, Ticket, (Spiel-) Jeton oder ein anderes Dokument zu verstehen. Ein Sicherheitselement kann auch beispielsweise ein Aufkleber,
 10 Haftetikett (beispielsweise zur Artikelsicherung) oder dergleichen sein, das die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugte Markierung aufweist und das mit einem Vorprodukt eines Wert- und/oder Sicherheitsdokuments oder eines anderen Artikels, beispielsweise mit einem zu markierenden Produkt, dessen Echtheit zu garantieren ist, unlösbar verbunden werden kann, um das Wert- und/oder Sicherheitsdokument oder diesen markierten Artikel zu bilden. Dieser Artikel kann beispielsweise ein Exemplar aus einer limitierten Serie gleichartiger Produkte sein, dessen Einzigartigkeit
 15 mittels einer Nummerierung dokumentiert wird. Diese Nummerierung kann durch die Individualisierung des mit dem Sicherheitsmerkmal versehenen Sicherheitselements realisiert werden. Das Wert- und/oder Sicherheitsprodukt kann beispielsweise auch eine Smartcard sein. Das Wert und/ oder Sicherheitsdokument kann im ID 1-, ID 2-, ID 3- oder in irgendeinem anderen normierten oder nicht normierten Format vorliegen, beispielsweise in Heftform, wie bei einem passähnlichen Gegenstand, oder beispielsweise in Kartenform. Ein Wert- und/oder Sicherheitsprodukt ist im Allgemeinen ein Laminat aus mehreren Dokumentenlagen, die passgenau unter Wärmeeinwirkung und unter erhöhtem Druck flächig
 20 miteinander verbunden worden sind. Diese Produkte sollen den normierten Anforderungen genügen, beispielsweise gemäß ISO 10373, ISO/IEC 7810, ISO 14443. Die Produktlagen bestehen beispielsweise aus einem Trägermaterial, das sich für eine Lamination eignet.

[0010] Das Wert- und/oder Sicherheitsprodukt und/oder die Schicht kann aus einem Polymer gebildet sein, das
 25 ausgewählt ist aus einer Gruppe, umfassend Polycarbonat (PC), insbesondere Bisphenol A-Polycarbonat, Polyethylen-terephthalat (PET), deren Derivate, wie Glykol-modifiziertes PET (PETG), Polyethylenaphthalat (PEN), Polyvinylchlorid (PVC), Polyvinylbutyral (PVB), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyimid (PI), Polyvinylalkohol (PVA), Polystyrol (PS), Polyvinylphenol (PVP), Polypropylen (PP), Polyethylen (PE), thermoplastische Elastomere (TPE), insbesondere thermoplastisches Polyurethan (TPU), Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS) sowie deren Derivate, und/oder Papier und/oder Pappe und/oder Glas und/oder Metall und/oder Keramik. Außerdem kann das Wert- und/oder Sicherheits-
 30 produkt und/oder die Schicht auch aus mehreren dieser Materialien, bevorzugt aus PC oder PC/TPU/PC, hergestellt sein. Die Polymere können entweder gefüllt oder ungefüllt vorliegen. Im letzteren Falle sind sie vorzugsweise transparent oder transluzent. Falls die Polymere gefüllt sind, sind sie opak. Bevorzugt wird das Wert- und/oder Sicherheitsdokument aus 3 bis 12, vorzugsweise 4 bis 10 Schichten, hergestellt, wobei zumindest eine der Schichten einem gemäß dem erfindungs-
 35 gemäßen Verfahren erzeugte Markierung aufweist. Ein solcherart gebildetes Laminat kann abschließend ein- oder beidseitig mit dem Schutz- oder Decklack oder mit einer Folie überzogen werden. Die Folie kann insbesondere ein Volumenhologramm, eine Folie mit einem Oberflächenhologramm (beispielsweise ein kinegraphisches Element) oder eine Kratzschutzfolie sein. Derart gebildete Overlaylagen schützen ein darunter angeordnetes Sicherheitsmerkmal und/oder verleihen dem Dokument die erforderliche Abriebfestigkeit.

[0011] Soweit in der Beschreibung und in den Ansprüchen der vorliegenden Anmeldung der Begriff, Muster genannt
 40 wird, ist darunter eine beliebige zweidimensionale Anordnung mindestens einer Struktur oder eines Bildpunkts auf einer Schicht zu verstehen. Ein Muster kann jede abstrakte oder gegenständliche Form aufweisen und beispielsweise aus Linien, Flächen, auch in beliebiger Zusammenstellung, oder alternativ aus Zeichen, wie alphanumerischen Zeichen, bestehen oder Bilder wiedergeben, beispielsweise das Foto des Dokumenteninhabers oder Darstellungen von be-
 45 stimmten Objekten. Es können auch beliebige andere Informationen grafisch dargestellt werden.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren bereitzustellen, das gegenüber dem Stand der Technik eine schnelleres und/oder einfacheres Einbringen einer Markierung ermöglicht, wobei die Markierung vorzugsweise eine gegenüber dem Stand der Technik gesteigerte Fälschungssicherheit bietet.

[0013] Die Erfindung löst die Aufgabe in einem ersten Aspekt mit dem in Anspruch 1 definierten Verfahren.

[0014] Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass notwendige Beschleunigungszeiten, die zum Ab-
 50 bremsen und Beschleunigen der Ablenkspiegel benötigt werden, reduziert oder vermieden werden können, wenn die Ablenkspiegel der Ablenkeinheit kontinuierlich bewegt werden. So müssen bei einer kontinuierlichen Bewegung der Ablenkspiegel, im Gegensatz zum vorherbeschriebenen "Jump and Shoot Prinzip", keine oder nur geringe Trägheitskräfte der Ablenkeinrichtung überwunden werden, wodurch eine Bearbeitungsgeschwindigkeit beim Einbringen der Markierung
 55 deutlich erhöht werden kann. Durch das Erzeugen einer Pulsfolge von zwei oder mehr Laserpulsen wird erreicht, dass der Laserstrahl weniger häufig, vorzugsweise nur einmal, über die die Bildpunkte verbindende erste Bahn geführt werden muss. Somit können mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens auch Bearbeitungszeiten verkürzt werden, die für ein mehrmaliges Führen des Laserstrahls entlang der die Bildpunkte verbindenden ersten Bahn benötigt werden. Vorzugs-

weise wird der Laserstrahl mittels der bewegbaren Ablenkspiegel der Ablenkeinrichtung nur ein einziges Mal entlang der die Bildpunkte verbindenden ersten Bahn auf der Schicht geführt. Der Laserstrahl kann vorzugsweise aber auch mehrmals entlang der ersten Bahn geführt werden. Vorzugsweise ist die Markierung eine Sicherheitsmarkierung. Ferner bevorzugt ist die Schicht eine Schicht eines Wert- und/oder Sicherheitsdokuments. Besonders bevorzugt ist das Verfahren ein Verfahren zum Erzeugen einer Sicherheitsmarkierung in einer Schicht für ein Wert- und/oder Sicherheitsdokument.

[0015] Das so erzeugte Muster ist vorzugsweise in individualisiertes oder personalisiertes Muster, das eine individualisierte oder personalisierte Information enthält. Beispielsweise kann das Muster mit einem Bild des Karteninhabers übereinstimmen oder korrespondieren, das in einer unter dem Muster liegenden Schicht eingebracht ist.

[0016] Es soll verstanden werden, dass ein Bildpunkt nicht zwingend durch Hinzufügen von Material, wie beispielsweise im Falle herkömmlicher Druckverfahren, erzeugt werden muss. Es kann ebenso vorgesehen sein, dass ein die Schicht bildendes Material lokal verändert oder entfernt wird, wodurch sich ein optischer Eindruck verändert. Der Lasergenerator ist dabei diejenige Vorrichtung, welche den Laserstrahl erzeugt. Die Begriffe Laser oder Laserstrahl bezeichnen die elektromagnetische Welle, welche von dem Lasergenerator erzeugt werden. Vorzugsweise ist zwischen der Ablenkeinrichtung und der Schicht eine Fokussiereinrichtung angeordnet, welche den Laserstrahl auf und/oder in die Schicht des zu bearbeitenden Materials fokussiert. Besonders bevorzugt ist die Fokussiereinrichtung eine Planfeld-Fokussiereinrichtung. Bevorzugt führt die Ablenkeinrichtung den Fokuspunkt des Laserstrahls entlang der ersten Bahn.

[0017] Es soll verstanden werden, dass beim Führen des Laserstrahls entlang der ersten Bahn auch der Laserstrahl nicht kontinuierlich auf die Schicht auftreffen muss. So trifft der Laserstrahl vorzugsweise nur dann auf die Schicht, wenn ein Laserpuls der Pulsfolge erzeugt wird. Die kontinuierliche Bewegung der Ablenkspiegel führt dann einen theoretischen Auftreffpunkt des Laserstrahls, der vorzugsweise der Fokuspunkt ist, entlang der Bahn auf und/oder in die dafür vorgesehene Schicht des zu bearbeitenden Materials.

[0018] Gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform sind die Laserpulse ultrakurze Laserpulse. Ultrakurze Laserpulse haben vorzugsweise eine Pulsdauer von weniger als 10 Pikosekunden (10 ps), insbesondere weniger als 1 ps. Besonders bevorzugt weisen die ultrakurzen Laserpulse eine Pulsdauer in einem Bereich von 100 Femtosekunden (100 fs) bis 900 fs, weiterhin bevorzugt 100 fs bis 800 fs, besonders bevorzugt 200 fs bis 600 fs, auf. Insbesondere Mikro- oder Nano-Laserstrukturen lassen sich mit ultrakurzen Laserpulsen vergleichsweise einfach fertigen. Die Anwendung ultrakurzer Laserpulse ermöglicht ein präzises Fertigen von Strukturelementen und/oder ein effizientes Erzeugen von Bildpunkten. Insbesondere werden durch ultrakurze Laserpulse thermische oder mechanische Schäden der Strukturelemente während der Bearbeitung minimiert oder vermieden. Es ist bei geeigneter Wahl der Bearbeitungsparameter eine nahezu schmelzfreie und/oder karbonisierungsfreie Bearbeitung mit hoher Präzision möglich.

[0019] Vorzugsweise werden die Laserpulse mit einer Oszillatorfrequenz, gemessen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Laserpulsen der Pulsfolge, erzeugt, die einen Wert in einem Bereich von 100 kHz bis 100 MHz aufweist. Eine Pulsfolge mehrerer sehr kurz aufeinanderfolgender Laserpulse kann auch als Laserburst bezeichnet werden. Vorzugsweise ist eine Oszillatorfrequenz der Laserpulse der Pulsfolge konstant. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass die Oszillatorfrequenz zwischen mehreren Laserpulsen variiert wird. Die Oszillatorfrequenz beschreibt einen zeitlichen Abstand, zwischen zwei aufeinanderfolgenden Laserpulsen. Je höher die Oszillatorfrequenz ist, desto geringer ist ein zeitlicher Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden Laserpulsen der Pulsfolge. Für einen Bereich der Oszillatorfrequenz von 100 kHz bis 100 MHz ergibt sich ein zeitlicher Abstand zweier aufeinanderfolgender Laserpulse von 10 Mikrosekunden (10 μ s) bis 10 Nanosekunden (10 ns). Durch die beweglichen Ablenkspiegel der Ablenkeinrichtung wird der Auftreffpunkt, an dem die fokussierten Laserpulse bzw. der fokussierte Laserstrahl auf und/oder in die betreffende Schicht des zu bearbeitenden Materials treffen, entlang der Bahn bewegt. Auch wenn der Laserstrahl mit einer sehr hohen Geschwindigkeit entlang der Bahn bewegt wird, bewegt sich der Auftreffpunkt zweier aufeinanderfolgender Laserpulse des Laserstrahls aufgrund der erfindungsgemäßen Oszillatorfrequenz nur geringfügig weiter. Beispielsweise beträgt ein zeitlicher Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Laserpulsen bei einer Oszillatorfrequenz von 50 MHz nur 20 ns, wobei sich der Auftreffpunkt für das menschliche Auge nicht oder kaum wahrnehmbar weiterbewegt. Durch die Laserpulse an der Schicht hervorgerufenen Effekte werden als ein einziger Bildpunkt der Markierung wahrgenommen. Durch die bevorzugte Oszillatorfrequenz kann also ein Bildpunkt einer Markierung mittels mehrerer Laserpulse erzeugt werden, obwohl die Ablenkeinrichtung kontinuierlich bewegt wird. Es soll verstanden werden, dass bei einem Wert der Oszillatorfrequenz in dem bevorzugten Bereich auch mehr als zwei Laserpulse zum Erzeugen eines Bildpunktes verwendet werden können, beispielsweise 3, 4, 5, oder mehr. Ferner kann durch die kontinuierliche Bewegung des Laserstrahls eine besonders bevorzugte Merkmalswirkung erreicht werden. Wird der Laserstrahl bewegt, überlappen sich die erzeugten Markierungen vorzugsweise, wodurch eine spezielle Mikrostruktur und/oder mikroskopische Form der Bildpunkte erreicht werden kann, welche dann als besonderes Sicherheitsmerkmal dient. Beispielsweise kann der mittels der Laserpulse erzeugte Bildpunkt oval sein. Diese Ovalität kann dann wiederum genutzt werden, um die Echtheit des Dokuments zu prüfen, da sie sich bei herkömmlichen Verfahren, wie dem "Jump and Shoot" Verfahren nicht erzeugen lassen.

[0020] In einer bevorzugten Weiterbildung weist der Lasergenerator einen Laseroszillator und einen nachgeschalteten Verstärker auf, wobei die Oszillatorfrequenz mit einer Schwingfrequenz des Laseroszillators übereinstimmt. Hierdurch

kann eine besonders einfache Steuerung des Lasergenerators erreicht werden. Die ultrakurzen Laserpulse werden im Laseroszillator durch Modenkopplung erzeugt und in einem nachfolgenden Verstärker auf die gewünschte Leitung verstärkt. Der Laserverstärker kann vorzugsweise auf Yb: Fasertechnologie oder Yb: InnoSlab Technologie beruhen. Dabei werden die Pulse vor der Verstärkung zeitlich gestreckt und nach der Verstärkung wieder zeitlich komprimiert. Es kommen auch Scheiben-Laserverstärker zum Einsatz.

[0021] Vorzugsweise weist eine Scangeschwindigkeit, mit der der Laserstrahl entlang der ersten Bahn bewegt wird, einen Wert von 10 m/s oder größer auf. Die Scangeschwindigkeit ist dabei indirekt proportional zu einer Bearbeitungszeit, die zum Erzeugen der Markierung benötigt wird. Ein Erhöhen der Scangeschwindigkeit bewirkt also ein Reduzieren der Bearbeitungszeit, wodurch Herstellkosten für die Markierung bzw. eine die Markierung aufweisende Schicht reduziert werden können. Vorzugsweise weist die Scangeschwindigkeit einen Wert von 10 m/s bis 30 m/s auf. Wird der Laserstrahl mittels einer Scangeschwindigkeit von 10 m/s über die Schicht geführt, bewegt sich der Auftreffpunkt in einem Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Laserpulsen von 20 ns, der einer Oszillatorfrequenz von 50 MHz entspricht, etwa 0,2 Mikrometer (0,2 μm) entlang der Bahn. Ein Abstand zwischen zwei Auftreffpunkten von 0,2 μm ist für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar, sodass nur ein einzelner wahrnehmbarer Bildpunkt erzeugt wird. Es können jedoch auch mehr als zwei Laserpulse bei einer Scangeschwindigkeit von 10 m/s oder größer erzeugt werden. So werden beispielsweise auch Bildpunkte mit Verschiebungen des Auftreffpunktes von 1 μm , die bei einer Scangeschwindigkeit von 10 m/s und einer Oszillatorfrequenz 50 MHz mit sechs Laserpulsen auftreten, noch als ein einzelner Bildpunkt wahrgenommen.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist eine Gesamtenergie der Pulsfolge im Wesentlichen gleichmäßig auf die Laserpulse der Pulsfolge verteilt. Eine gleichmäßige Verteilung der Gesamtenergie der Pulsfolge auf die Laserpulse ermöglicht dabei eine besonders einfache und kostengünstige Steuerung des Verfahrens. Dabei beschreibt die Fluenz (Energiedichte) die Energie eines Laserpulses, welche auf die zu bearbeitende Fläche trifft. Durch eine hohe Reproduzierbarkeit der einzelnen Laserpulse wird bevorzugt eine besonders gleichmäßige Markierung erzeugt.

[0023] Vorzugsweise weist eine Energie eines Laserpulses der Pulsfolge einen Wert von 10 Mikrojoule (10 μJ) oder weniger auf. Die Gesamtenergie, welche mit der Pulsfolge in ein die Schicht bildendes Material eingebracht wird, beeinflusst den durch die Pulsfolge hervorgerufenen Markierungseffekt. Besonders bei hohen Oszillatorfrequenzen können aufeinanderfolgende Laserpulse eine gemeinsame Wirkung erzielen. So kann eine Gesamtenergie einer Pulsfolge von größer 10 μJ beispielsweise ein die Schicht bildendes Material karbonisieren und/oder einen besonders hohen Materialabtrag hervorrufen. Vorzugsweise weist die Pulsfolge eine Gesamtenergie von 10 μJ bis 100 μJ , weiter bevorzugt 10 μJ bis 80 μJ , weiter bevorzugt 10 μJ bis 60 μJ , besonders bevorzugt 20 μJ bis 40 μJ auf.

[0024] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung weist eine Fluenz eines auftreffenden Laserpulses der Pulsfolge einen Wert auf, der kleiner oder gleich einem zehnfachen Wert einer Schwellfluenz des die Schicht bildenden Materials ist. Die Fluenz ist dabei ein Maß für den Energieeintrag pro Flächeneinheit der Schicht. Die Schwellfluenz beschreibt diejenige Fluenz, das heißt diejenige Energie pro Flächeneinheit der Schicht, die mittels der Laserpulse aufgebracht werden muss, um ein die Schicht bildendes Material abzutragen. Je höher die Fluenz auftreffender Laserpulse ist, desto höher ist auch ein Abtrag des Materials pro Laserpuls. Die Abtragseffizienz weist jedoch keinen linearen Verlauf auf, sodass eine normierte Abtragsrate, gemessen als abgetragenes Material pro aufgebrachter Energie, ein Maximum aufweist. Es hat sich gezeigt, dass dieses Maximum der Abtragseffizienz im Wesentlichen in einem Bereich des fünffachen bis zehnfachen Werts der Schwellfluenz liegt, sodass mit einer Fluenz der auftreffenden Laserpulse im bevorzugten Bereich eine besonders effiziente Markierung bzw. Materialabtrag erreicht werden kann. Vorzugsweise weist die Fluenz einen Wert in einem Bereich vom 5 bis 10-fachen des Werts der Schwellfluenz des die Schicht bildenden Materials auf.

[0025] Vorzugsweise kann eine Anzahl der Laserpulse der Pulsfolge, die zum Erzeugen des jeweiligen Bildpunktes erzeugt wird, variiert werden. So kann eine erste Pulsfolge beispielsweise nur zwei Laserpulse aufweisen, wobei eine zweite Pulsfolge dann drei oder mehr Laserpulse aufweist. Mittels Variation der Anzahl der Laserpulse kann vorzugsweise eine wahrgenommene Stärke der erzeugten Markierung variiert werden. Alternativ oder ergänzend kann auch die Intensität der Laserpulse variiert werden. Beispielsweise könnte ein mittels der Laserpulse erzeugter Materialabtrag erhöht werden, sodass auch eine Markierung deutlicher wahrnehmbar ist. Ferner kann auch eine Schwärzung des die Schicht bildenden Materials, die durch die Laserpulse hervorgerufen wird, stärker sein, wenn mehr Laserpulse und/oder Laserpulse höherer Intensität aufgebracht werden.

[0026] In einer bevorzugten Ausgestaltung weist eine Modulationsfrequenz, gemessen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Pulsfolgen einen Modulationsfrequenzwert in einem Bereich von 1 kHz bis 1 MHz auf. Die Modulationsfrequenz und die Scangeschwindigkeit bestimmen dabei einen Abstand benachbarter Bildpunkte, gemessen entlang der ersten Bahn. Bei gleicher Scangeschwindigkeit entspricht eine höhere Modulationsfrequenz einem geringen Abstand der Bildpunkte, wodurch die Fälschungssicherheit der Markierung erhöht werden kann. Eine Modulationsfrequenz im bevorzugten Bereich, bedingt dabei eine besonders gute Kombination aus Fälschungssicherheit und Bearbeitungszeit. Ferner kann durch Erhöhen der Modulationsfrequenz und der Scangeschwindigkeit bei gleichbleibendem Abstand der Bildpunkte die benötigte Bearbeitungszeit reduziert werden. Der Abstand aufeinanderfolgender Bildpunkte bestimmt sich aus dem Quotient der Scangeschwindigkeit durch die Modulationsfrequenz. Es soll verstanden werden, dass Pulsfolgen nicht zwangsweise streng mit einer Modulationsfrequenz erzeugt werden müssen, sondern dass zwei aufeinander-

folgende Pulsfolgen auch mit einem ganzzahligen Bruchteil der Modulationsfrequenz erzeugt werden können. Soll beispielsweise zwischen zwei aufeinanderfolgenden sichtbaren Bildpunkten ein Leerpunkt angeordnet sein, der optisch nicht sichtbar ist bzw. sich optisch nicht von dem die Schicht bildenden Material unterscheidet, so werden die die beiden sichtbaren Bildpunkte erzeugenden Pulsfolgen mit der halben Modulationsfrequenz erzeugt. Ferner kann ein zeitlicher Abstand zweier aufeinanderfolgenden Pulsfolgen auch vollkommen beliebig sein.

[0027] In einer bevorzugten Weiterbildung wird der Laserstrahl in einem Zeitraum zwischen einem ersten Laserpuls und einem letzten Laserpuls der Pulsfolge um einen Strahlfortschrittswert in einem Bereich von $0,01 \mu\text{m}$ bis $100 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt um einen Wert von $1 \mu\text{m}$, entlang der ersten Bahn bewegt. Der Strahlfortschrittswert beschreibt einen Abstand von Zentren von durch die Laserpulse hervorgerufenen sichtbaren Effekten. Ein Strahlfortschrittswert in dem besonders bevorzugten Bereich ist dabei durch das menschliche Auge nicht wahrnehmbar, sodass eine besonders exakte Markierung ermöglicht wird. Ferner kann eine Markierung, die mit einer Pulsfolge mit einem Strahlfortschrittswert im beanspruchten Bereich erzeugt wird, als besonderes Sicherheitsmerkmal dienen.

[0028] Vorzugsweise erfolgt das Erzeugen der Bildpunkte durch Materialabtrag eines die Schicht bildenden Materials, wobei durch Materialabtrag eine Laserbohrung mit einer Bohrungstiefe erzeugt wird. Dabei kann die Schicht auch mehrere Materialien aufweisen. Vorzugsweise erfolgt das Erzeugen der Bildpunkte dann durch gleichmäßigen Materialabtrag der die Schicht bildenden Materialien. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass nur ein Teil der die Schicht bildenden Materialien abgetragen wird und/oder dass die Materialien in verschiedener Menge abgetragen werden. Die Bohrungstiefe entlang einer Bohrungssachse wird vorzugsweise senkrecht zu einer Oberfläche der Schicht gemessen. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass die Bohrungstiefe quer zur ersten Bahn und parallel zu einer Strahlrichtung des Laserstrahls gemessen wird. Vorzugsweise ist die Laserbohrung ein Sackloch. Das heißt die Laserbohrung erstreckt sich vorzugsweise nicht vollständig durch die Schicht.

[0029] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt der Materialabtrag karbonisierungslos. Ein Materialabtrag ist karbonisierungslos, wenn ein den Bildpunkt umgebendes Material nicht karbonisiert wird. Karbonisieren beschreibt dabei ein Schwärzen von in dem die Schicht bildenden Material enthaltenem Kohlenstoff. Wird ein Materialabtrag karbonisierungslos erzeugt, kann in vorteilhafter Weise erreicht werden, dass die Markierung nur unter bestimmten optischen Blickachsen wahrnehmbar ist. Wenn beispielsweise die Blickachse parallel zur Bohrungstiefe einer Laserbohrung und das die Schicht bildende Material transluzent ist, so kann die Markierung optisch nicht oder nur sehr schwer wahrgenommen werden. Ist die Blickachse hingegen zur Bohrungssachse geneigt, so wird die Markierung wahrnehmbar, wodurch eine besonders große Sicherheitswirkung einer derart Erzeugten Markierung erreicht werden kann.

[0030] Bevorzugt erfolgt der Materialabtrag durch Sublimation des die Schicht bildenden Materials. Hierdurch kann eine besonders detailgenaue, exakte Markierung erreicht werden. Beispielsweise können mittels Sublimation des die Schicht bildenden Materials besonders kleine Bildpunkte erzeugt werden. Weiterhin eignet sich Sublimation besonders, um ein Karbonisieren des den Bildpunkt umgebenden Materials zu vermeiden. Sublimation beschreibt dabei einen unmittelbaren Phasenübergang des Materials von der festen Phase in die gasförmige Phase.

[0031] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung weist die Laserbohrung einen im Wesentlichen ovalen Querschnitt auf. Laserstrahlen weisen in der Regel einen im Wesentlichen runden Querschnitt auf, sodass auch mittels solcher Laserstrahlen erzeugte herkömmliche Laserbohrungen im Wesentlichen rund bzw. zylindrisch sind. Vorzugsweise kann eine ovale Laserbohrung auch wie ein Langloch geformt sein. Bevorzugt wird der ovale Querschnitt der Laserbohrung mittels Bewegen des Laserstrahls beziehungsweise des Auftreffpunkts zwischen aufeinanderfolgenden Laserpulsen der Pulsfolge erzeugt. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, einen Laserstrahl mit einem ovalen Querschnitt vorzusehen. Zum Erzeugen einer Laserbohrung mit ovalem Querschnitt müssen mehrere Prozessparameter gezielt gesteuert und aufeinander abgestimmt werden. Hierdurch steigt eine Komplexität beim Durchführen des Verfahrens und eine Fälschungssicherheit wird erhöht. Besonders bevorzugt ist der ovale Querschnitt elliptisch.

[0032] Vorzugsweise ist eine kurze Halbachse des ovalen Querschnitts im Wesentlichen quer zur ersten Bahn der Mehrzahl an Bildpunkten. Hierdurch kann der ovale Querschnitt in vorteilhafter Weise mittels geeigneter Steuerung der Oszillatorfrequenz und der Scangeschwindigkeit erzeugt werden.

[0033] Bevorzugt weist die Laserbohrung ein Aspektverhältnis, gemessen als Quotient aus der Bohrungstiefe und einem maximalen Bohrungsdurchmesser, in einem Bereich von $0,05$ bis 5 auf. Das Aspektverhältnis beeinflusst eine optische Wahrnehmung, die durch die Laserbohrung hervorgerufen wird. So können Laserbohrungen mit einem hohen Aspektverhältnis kontrastreicher erscheinen als Laserbohrungen mit einem geringen Aspektverhältnis. Beispielsweise kann die Bohrungstiefe einen Wert von $1 \mu\text{m}$ und der Bohrungsdurchmesser einen Wert von $20 \mu\text{m}$ aufweisen, sodass die Laserbohrung ein Aspektverhältnis von $0,05$ hat.

[0034] In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine wahrgenommene Farbintensität der Markierung mittels Variation der Bohrungstiefe und/oder eines maximalen Bohrungsdurchmessers der Laserbohrungen variiert. Vorzugsweise kann die Bohrungstiefe mittels einer Anzahl der zum Erzeugen des Bildpunktes erzeugten Laserpulse variiert werden. Ferner kann vorzugsweise ein Bohrungsdurchmesser der Laserbohrung gesteigert werden, indem die Pulsdauer der Laserpulse und/oder die Energie der Laserpulse erhöht wird.

[0035] Bevorzugt weisen die Bildpunkte eine Abmessung quer zu einer Einstrahlrichtung des Laserstrahls von $200 \mu\text{m}$

oder kleiner, bevorzugt 100 µm oder kleiner, besonders bevorzugt 40 µm oder kleiner auf. Je kleiner die Abmessungen sind, desto schwieriger ist es, das Sicherheitselement zu fälschen oder zu manipulieren. Andererseits sollen die Strukturelemente bevorzugt größere Abmessungen als die Wellenlänge von sichtbarem Licht haben, weshalb beispielsweise Strukturelemente mit Abmessungen von größer als 1 µm eingesetzt werden können.

5 **[0036]** Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung die eingangs genannte Aufgabe mit der in Anspruch 11 definierten Markierungsvorrichtung.

[0037] In einer ersten bevorzugten Ausführungsform weist der Lasergenerator einen Laseroszillator und einen nachgeschalteten Verstärker auf, wobei der Laser dazu ausgebildet ist, eine Pulsfolge von Laserpulsen bereitzustellen, deren Oszillatorfrequenz einer Schwingfrequenz des Laseroszillators entspricht.

10 **[0038]** Vorzugsweise ist die Ablenkeinrichtung dazu ausgebildet, den Laserstrahl mit einer Scangeschwindigkeit von 10 m/s oder mehr, gemessen im Fokuspunkt des Laserstrahls oder im Auftreffpunkt des Laserstrahls auf der Schicht, entlang einer vorbestimmten Bahn zu bewegen.

[0039] Bevorzugt bildet die Markierungsvorrichtung mit einer zu markierenden Schicht ein Markierungssystem. Es soll dabei verstanden werden, dass das Markierungssystem neben der Markierungsvorrichtung und der Schicht auch weitere
15 Komponenten aufweisen kann.

[0040] Es soll verstanden werden, dass das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung und die Markierungsvorrichtung nach dem zweiten Aspekt der Erfindung gleiche und ähnliche Unter Aspekte aufweisen, wie sie insbesondere in den abhängigen Ansprüchen niedergelegt sind. Insofern wird für weitere Ausgestaltungen des Markierungssystems und deren Vorteile auch und vollumfänglich auf die obige Beschreibung zum ersten Aspekt der Erfindung verwiesen.

20 **[0041]** Gemäß einem dritten Aspekt löst die Erfindung die eingangs genannte Aufgabe mittels dem in Anspruch 13 definierten Sicherheitsdokument. Vorzugsweise weist eine mittels des beschriebenen Verfahrens hergestellte Schicht Laserbohrungen mit einem unrunder Querschnitt auf.

[0042] In einem vierten Aspekt löst die Erfindung die eingangs genannte Aufgabe durch die in Anspruch 14 definierte Verwendung.

25 **[0043]** Gemäß einem fünften Aspekt löst die Erfindung die eingangs genannte Aufgabe mit dem in Anspruch 15 definierten Computerprogramm.

[0044] Es soll verstanden werden, dass das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, die Markierungsvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung, das Sicherheitsdokument nach dem dritten Aspekt der Erfindung, die Verwendung gemäß dem vierten Aspekt der Erfindung und das Computerprogramm nach dem fünften Aspekt der
30 Erfindung gleiche und ähnliche Unter Aspekte aufweisen, wie sie insbesondere in den abhängigen Ansprüchen niedergelegt sind. Insofern wird für weitere Ausgestaltungen des Sicherheitsdokuments, der Verwendung und des Computerprogramms und deren Vorteile auch und vollumfänglich auf die obige Beschreibung zum ersten und zweiten Aspekt der Erfindung verwiesen.

35 Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0045] Ausführungsformen der Erfindung werden nun nachfolgend anhand der Zeichnungen beschrieben. Diese sollen die Ausführungsformen nicht notwendigerweise maßstäblich darstellen, vielmehr sind die Zeichnungen, wenn dies zur Erläuterung dienlich ist, in schematisierter und/oder leicht verzerrter Form ausgeführt. Im Hinblick auf Ergänzungen der
40 aus den Zeichnungen unmittelbar erkennbaren Lehren wird auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vielfältige Modifikationen und Änderungen betreffend die Form und das Detail einer Ausführungsform vorgenommen werden können, soweit sie in den Schutzbereich der Ansprüche fallen. Die in der Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Weiterbildung der Erfindung wesentlich sein. Zudem fallen in den Rahmen der Erfindung
45 alle Kombinationen aus zumindest zwei der in der Beschreibung, den Zeichnungen und/oder den Ansprüchen offenbarten Merkmale, soweit sie in den Schutzbereich der Ansprüche fallen. Die allgemeine Idee der Erfindung ist nicht beschränkt auf die exakte Form oder das Detail der im Folgenden gezeigten und beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen oder beschränkt auf einen Gegenstand, der eingeschränkt wäre im Vergleich zu dem in den Ansprüchen beanspruchten Gegenstand. Bei angegebenen Bemessungsbereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als
50 Grenzwerte offenbart und beliebig einsetzbar und beanspruchbar sein. Der Einfachheit halber sind nachfolgend für identische oder ähnliche Teile oder Teile mit identischer oder ähnlicher Funktion gleiche Bezugszeichen verwendet. Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen sowie anhand der Zeichnungen. Diese zeigen in:

- 55 **Figur 1** eine schematische Darstellung eines Markierungssystems, das eine Markierungsvorrichtung sowie eine Schicht aufweist und das erfindungsgemäße Verfahren ausführt;
Figur 2a eine schematische Darstellung der Schritte eines ersten herkömmlichen Verfahrens zum Erzeugen einer Markierung;

- Figur 2b eine schematische Darstellung der Schritte eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Erzeugen einer Markierung;
- Figur 2c eine schematische Darstellung, die das Erzeugen mehrerer Bildpunkte einer Markierung mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens illustriert;
- 5 Figur 3 das Erzeugen eines Bildpunktes einer Markierung in einer schematischen Darstellung, wobei der Bildpunkt durch Materialabtrag eines die Schicht bildenden Materials mittels Laserpulse erzeugt wird;
- Figur 4 eine schematische Draufsicht auf eine Schicht, in der eine Laserbohrung erzeugt wird;
- Figur 5 ein Sicherheitsdokument in einer teilweise geschnittenen und perspektivischen Ansicht;
- Figur 6 einen Ausschnitt einer eine Markierung aufweisenden Schicht in einer perspektivischen Ansicht; und
- 10 Figur 7 einen Vergleich einer mittels eines Standardimpulses auf die Schicht aufgetragenen Intensität zu einer mittels einer Pulsfolge aufgetragenen Intensität.

[0046] Figur 1 zeigt ein Verfahren 1 zum Einbringen einer Markierung 3 in eine Schicht 5 eines Sicherheitsdokuments 65, das hier von einer Markierungsvorrichtung 7 durchgeführt wird. Die Markierungsvorrichtung 7 weist einen Lasergenerator 9 auf, der dazu ausgebildet ist, einen Laserstrahl 11 zu erzeugen. Der Laserstrahl 11 wird von dem Lasergenerator 9 abgegeben und trifft auf eine Ablenkeinrichtung 13 der Markierungsvorrichtung 7, die hier einen ersten bewegbaren Spiegel 15 und einen zweiten bewegbaren Spiegel 17 aufweist. Die Ablenkeinrichtung 13 ist eine zweiachsige Ablenkeinrichtung 19, die dazu ausgebildet ist, den Laserstrahl 11 auf die Schicht 5 zu lenken. Zwischen der Ablenkeinrichtung 13 und der Schicht 5 ist ferner eine Fokussiereinrichtung 21 der Markierungsvorrichtung 7 angeordnet, die den Laserstrahl 11 auf der Schicht 5 fokussiert. Der Lasergenerator 9, die Ablenkeinrichtung 13 und die Fokussiereinrichtung 21 sind mit einer Steuereinheit 27 verbunden, die zum Steuern der Komponenten der Markierungsvorrichtung 7 ausgebildet ist. Zusammen mit der Schicht 5 bildet die Markierungsvorrichtung 7 dabei ein Markierungssystem 200.

[0047] Steuert nun die Steuereinheit 27 den Lasergenerator 9 entsprechend an, erzeugt dieser den Laserstrahl 11, der dann mittels der Ablenkeinrichtung 13 auf die Schicht 5 gelenkt wird. Dabei wird der Laserstrahl 11 durch die Fokussiereinrichtung 21 fokussiert. Durch Drehen der Spiegel 15, 17 (verdeutlicht durch Pfeile 27) kann der Laserstrahl 11 auf der Schicht 5 bewegt werden, wobei eine Drehung des ersten Spiegels 15 den Laserstrahl 11 parallel zu einer Y-Achse Y bewegt und eine Drehung des zweiten Spiegels 17 den Laserstrahl 11 parallel zu einer X-Achse X bewegt. Dabei steuert die Steuereinheit 27 die Spiegel 15, 17 derart an, dass der Laserstrahl 11 entlang einer mehrere Bildpunkte BP der Markierung 3 verbindenden Bahn 29 geführt wird. In diesem Ausführungsbeispiel weist die Markierung ein regelmäßiges Raster von Bildpunkten BP auf. Es können jedoch auch beliebige andere regelmäßige und/oder unregelmäßige Muster von Bildpunkten BP erzeugt werden.

[0048] Beim Erzeugen der Markierung 3 werden die Ablenkspiegel 15, 17 der Ablenkeinrichtung 13 kontinuierlich bewegt, wodurch Beschleunigungszeiten, die zum Beschleunigen und Abbremsen des ersten Spiegels 15 und des zweiten Spiegels 17 benötigt werden, minimiert oder vermieden werden können. Immer dann, wenn der Laserstrahl 11 dabei über einem zu erzeugenden Bildpunkt BP der Markierung 3 positioniert ist, steuert die Steuereinheit 27 den Lasergenerator 9 derart an, dass dieser eine mehrere Laserpulse 31 aufweisende Pulsfolge 33 erzeugt. Der Laserstrahl 11 wird hier also nicht durchgängig erzeugt, sondern nur dann, wenn ein Bildpunkt BP der Markierung 3 erzeugt werden soll. Ein theoretischer Auftreffpunkt 34 des Laserstrahls 11, der durch die jeweilige Position der Spiegel 15, 17 zu einem bestimmten Zeitpunkt definiert ist, wird jedoch kontinuierlich entlang der Bahn 29 geführt.

[0049] Ein erster Bildpunkt BP1 wird beispielsweise mittels der Laserpulse 31 erzeugt, wenn der Laserstrahl 11 durch die Ablenkeinrichtung 13 auf die in Fig. 1 dargestellte erste Position P1 geführt ist. Zwar bewegt sich der Laserstrahl 11 auch beim Erzeugen der Laserpulse 31 weiter, da aufgrund der hohen Oszillatorfrequenz 35 der zeitliche Abstand zwischen den Laserpulsen 31 jedoch sehr kurz ist, wird optisch wahrnehmbar nur ein Bildpunkt BP1 erzeugt. Vorzugsweise überlappen mittels der einzelnen Laserpulse 31 einer Pulsfolge 33 erzeugte Abschnitte des Bildpunktes BP.

[0050] Vorzugsweise liegt ein Fokuspunkt PF des Laserstrahls 11 auf einer der Fokussiereinrichtung 21 zugewandten Seite 23 der Schicht 5. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass der Fokuspunkt PF in der Schicht 5 oder auf einer der Fokussiereinrichtung 21 abgewandten Seite 25 liegt. Vorzugsweise ist die Fokussiereinrichtung 21 ein F-Theta-Objektiv 37 oder weist ein F-Theta-Objektiv 37 auf. Es soll verstanden werden, dass die Fokussiereinrichtung 21 vorzugsweise auch mehrere Linsen und/oder Objektive aufweisen kann.

[0051] Der Lasergenerator 9 weist in diesem Ausführungsbeispiel einen Laseroszillator 39 und einen Verstärker 41 auf. Der Laseroszillator 39 erzeugt Seedlaserpulse 43, wobei deren Energie dann mittels des Verstärkers 41 erhöht wird und diese dann als Laserpulse 31 abgegeben werden können. Dabei erzeugt der Laseroszillator 39 die Seedlaserpulse 43 mit einer Oszillationsfrequenz 45. Eine Koppelvorrichtung 47 des Lasergenerators 9 ist dazu ausgebildet Seedlaserpulse 43 auszukoppeln und zum Verstärker 41 zu leiten. Es soll verstanden werden, dass nicht jeder der Seedlaserpulse 43 zu einem Laserpuls 31 verstärkt wird.

[0052] Figur 2a illustriert die Schritte ein erstes herkömmliches Verfahrens 300, das zum Erzeugen einer Markierung 3 mit mehreren Bildpunkten BP ausgebildet ist. Gemäß diesem ersten Verfahren wird ein Laserstrahl 11 mittels einer Ablenkeinrichtung 13 zu einer ersten Position P1, an der ein erster Bildpunkt BP1 erzeugt werden soll, geführt (Schritt

S1.1). Sobald der Laserstrahl 11 die gewünschte Position P1 erreicht, werden die Ablenkspiegel 15, 17 der Ablenkeinrichtung 13 gestoppt (Schritt S1.2), sodass der Fokuspunkt FP des Laserstrahls 11 stillsteht. Anschließend werden zum Erzeugen des ersten Bildpunkts BP1 nacheinander mehrere Laserpulse 31 auf die Schicht 5 aufgebracht (Schritte S1.3 bis S1.5). Nachdem der erste Bildpunkt BP1 vollständig erzeugt wurde, werden die Ablenkspiegel 15, 17 der Ablenkeinrichtung 13 beschleunigt und der Laserstrahl 11 entlang einer die Bildpunkte verbindend Bahn 29 zu einer zweiten Position P2 eines zweiten zu erzeugenden Bildpunktes BP2 bewegt (Schritt S1.6). Dort wird der Laserstrahl 11 durch Abbremsen der Ablenkspiegel 15, 17 der Ablenkeinrichtung 13 erneut gestoppt (Schritt S1.7). Daraufhin wird der zweite Bildpunkt BP2 durch Aufbringen mehrerer Laserpulse 31 auf die Schicht 5 erzeugt (Schritte S1.8 bis S1.10). Dieses Vorgehen wird anschließend in analoger Weise fortgeführt, bis sämtliche Bildpunkte BP der Markierung 3 erzeugt worden sind (Schritt S1.11). Die Bewegung der Ablenkeinrichtung 13 wird also im Rahmen des bekannten Verfahrens 300 fortlaufend unterbrochen, wobei die vielen Unterbrechungen der Bewegung eine benötigte Bearbeitungsdauer zum Erzeugen der Markierung erhöht.

[0053] Figur 2b verdeutlicht nun ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens 1. Auch hier wird der Laserstrahl 11 von den Ablenkspiegel 15, 17 der Ablenkeinrichtung 13 entlang der die Bildpunkte BP verbindenden Bahn 29 geführt, jedoch mit einer kontinuierlichen Bewegung. Das kontinuierliche Führen des Laserstrahls 11 durch die kontinuierlich bewegten Ablenkspiegel 15, 17 der Ablenkeinrichtung 13 wird in Figur 2b mittels des durchgängigen Pfeils 49 verdeutlicht. Auf dem Pfeil 49 sind beispielhaft die erste Position P1 des ersten zu erzeugenden Bildpunkts BP1, die zweite Position P2 des zweiten zu erzeugenden Bildpunkts BP2 und die Position Pn des n-ten zu erzeugenden Bildpunkts BPn der Markierung dargestellt. Die Ablenkeinrichtung 13 führt den Laserstrahl 11 dabei mit der Scangeschwindigkeit Vs entlang der Bahn 29. Die Scangeschwindigkeit Vs beschreibt als diejenige Geschwindigkeit, mit der der Auftreffpunkt 34 des Laserstrahls 11, der vorzugsweise der Fokuspunkt FP ist, entlang der die Bildpunkte BP verbindenden Bahn 29 bewegt wird.

[0054] Sobald der Laserstrahl 11 die erste Position P1 des ersten Bildpunkts BP1 erreicht, wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren von dem Lasergenerator 9 eine erste Pulsfolge 33.1 erzeugt und auf die Schicht 5 aufgebracht (Schritt S2.1). Hier weist die Pulsfolge 33 insgesamt sechs Laserpulse 31.1, 31.2, 31.3, 31.4, 31.5, 31.6 auf. Das Aufbringen der Laserpulse 31.1, 31.2, 31.3, 31.4, 31.5, 31.6 wird durch die Teilschritte S2.1.1, S2.1.2, S2.1.3, S2.1.4, S2.1.5, S2.1.6 repräsentiert. Um mehrere Bildpunkte BP der Markierung 3 zu erzeugen, wird immer dann, wenn der Laserstrahl 11 eine Position entlang der Bahn 29 erreicht, an der ein Bildpunkt BP erzeugt werden soll, eine Pulsfolge 33 erzeugt. Beispielhaft sind hier eine erste Pulsfolge 33.1 zum Erzeugen eines ersten Bildpunktes BP1, eine zweite Pulsfolge 33.2 zum Erzeugen eines zweiten Bildpunktes BP2 (Schritt S2.2) und eine n-te Pulsfolge 33.n gezeigt (Schritt S2.3). Das Aufbringen der Laserpulse 31.7, 31.8, 31.9, 31.10, 31.11, 31.12 der zweiten Pulsfolge 33.2 ist in analoger Weise zur ersten Pulsfolge 33.1 mit durch die Teilschritte S2.2.1, S2.2.2, S2.2.3, S2.2.4, S2.2.5, S2.2.6 repräsentiert. Es soll verstanden werden, dass zum Erzeugen dritter Bildpunkte BP3 (nicht dargestellt) bis n-ter Bildpunkte jeweils Pulsfolgen 33.3 bis 33.n abgegeben werden. Nach einem einmaligen Führen des Laserstrahls 11 entlang der die Bildpunkte BP verbindenden Bahn 29 ist die Markierung 3 vollständig erzeugt, wobei ein zum Erzeugen der Markierung 3 benötigter Zeitbedarf gegenüber dem herkömmlichen Verfahren 300 erheblich reduziert werden kann.

[0055] Die Laserpulse 31 der Pulsfolge 33 werden gemäß diesem Ausführungsbeispiel mit einer besonders hohen Oszillatorfrequenz 35 von beispielsweise 50 MHz erzeugt und auf die Schicht 5 aufgebracht. Somit liegt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Laserpulsen 31.1, 31.2 der Pulsfolge 33 ein Zeitraum von 20 ns. Zwischen einem Erzeugen des ersten Laserpulses 31.1 und einem Erzeugen des sechsten Laserpulses 31.6 verstreicht in diesem Beispiel insgesamt ein Zeitraum von 100 ns, woraus sich eine Pulsfolgedauer 36 der ersten Pulsfolge 33.1 von 100 ns ergibt.

[0056] Das Erzeugen der Pulsfolge 33 erfolgt parallel zu dem Pfeil 49 beziehungsweise während der Bewegung des Laserstrahls 11 durch die Ablenkeinrichtung 13. Wie mittels der geschweiften Klammern in Figur 2b verdeutlicht wird, ist der Zeitraum, der zum Erzeugen einer der Pulsfolgen 33 benötigt wird, sehr viel geringer, als ein gesamter Zeitbedarf zum Erzeugen der Markierung 3. Das Erzeugen eines Bildpunktes BP kann daher illustrierend als Punkt auf dem das Führen des Laserstrahls 11 entlang der Bahn 29 darstellenden Pfeils 49 verdeutlicht werden.

[0057] Ein Zeitraum, der zwischen dem Erzeugen zweier aufeinanderfolgender Pulsfolgen 33 verstreicht, ist größer als die Pulsfolgedauer 36 zum Erzeugen sämtlicher Laserpulse 31 einer Pulsfolge 33. Der Zeitraum zwischen aufeinanderfolgenden Pulsfolgen 33 wird durch die Modulationsfrequenz 55 bestimmt. Hier weist die Modulationsfrequenz 55 einen Wert von 10 kHz auf, sodass zwischen der ersten Pulsfolge 33.1 und der zweiten Pulsfolge 33.2 ein zeitlicher Abstand von 100 μ s liegt. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel entspricht ein zeitlicher Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Pulsfolgen 33 also dem tausendfachen der Pulsfolgedauer 36 zum Erzeugen der Laserpulse 31 einer einzelnen Pulsfolge 33. Vorzugsweise weist die Oszillatorfrequenz einen Wert in einem Bereich von 40 MHz bis 50 MHz und die Modulationsfrequenz einen Wert von bis zu 2 MHz, besonders bevorzugt 1,5 MHz bis 2 MHz auf.

[0058] Die Laserpulse 31 sind gemäß diesem Ausführungsbeispiel ultrakurze Laserpulse 32 mit einer Pulsdauer 81 von kleiner 10 ps (Figur 7). Aufgrund der ultrakurzen Pulsdauer der ultrakurzen Laserpulse 32 wird der Laserstrahl 11 während eines ultrakurzen Laserpulses 32 nur unmerklich entlang der Bahn 29 bewegt. Auch die Oszillatorfrequenz 35 ist so hoch, dass eine Bewegung des Auftreffpunktes 34 des Laserstrahls 11 entlang der Bahn 29 zwischen zwei aufeinander-

folgenden Pulsen 31.1, 31.2 nur sehr gering ist. Daher treffen beispielsweise sämtliche Laserpulse 31.1, 31.2, 31.3, 31.4, 31.5, 31.6 der ersten Pulsfolge 33.1 an der im Wesentlichen identischen ersten Position P1 entlang der Bahn 29 auf die Schicht 5 auf, und wirken zum Erzeugen des ersten Bildpunkt BP1 der Markierung 3 zusammen. Es soll verstanden werden, dass aufgrund des kontinuierlichen Führens des Laserstrahls 11 mittels der Ablenkeinrichtung 13 jeweilige Auftreffpunkte 34.1, 34.2, 34.3, 34.4, 34.5, 34.6 der einzelnen Laserpulse 31.1, 31.2, 31.3, 31.4, 31.5, 31.6 der ersten Pulsfolge 33.1 geringfügig zueinander versetzt sind und dennoch zum Erzeugen des ersten Bildpunktes BP1 zusammenwirken.

[0059] Figur 2c verdeutlicht, dass Bildpunkte BP der Markierung 3 unregelmäßig zueinander angeordnet sein können. Vorzugsweise ist die Scangeschwindigkeit V_c , mit der der Laserstrahl 11 von der Ablenkeinrichtung 13 entlang der Bahn 29 geführt wird, konstant. Mögliche Positionen P1 bis Pn zum Erzeugen von Bildpunkten weisen dann einen regelmäßigen Abstand zueinander auf. In diesem Ausführungsbeispiel hat die Scangeschwindigkeit V_c einen Wert von 10 m/s, sodass zwei aufeinanderfolgende Positionen P1, P2 bei einer Modulationsfrequenz 55 von beispielsweise 10 kHz einen räumlichen Abstand von 1 mm entlang der Bahn 29 aufweisen. Zum Erzeugen eines regelmäßigen Musters von Bildpunkten BP wird immer dann, wenn der Laserstrahl 11 eine Position P erreicht, eine Pulsfolge 33 erzeugt. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass nicht an jeder der Positionen P eine Pulsfolge 33 erzeugt wird. So wird in Figur 2c nur an der ersten Position P1, an der zweiten Position P2, an einer fünften Position P5 und an einer siebten Position P7 eine jeweilige Pulsfolge 33.1, 33.2, 33.5, 33.7 erzeugt. Die mittels der Pulsfolgen 33.1, 33.2, 33.5, 33.7 erzeugten Bildpunkte BP1, BP2, BP5, BP7 der Markierung 3 sind parallel zum Pfeil 49 dargestellt.

[0060] Die Pulsfolgen 33 können also vorzugsweise auch mit einem ganzzahligen Bruchteil der Modulationsfrequenz 55 erzeugt werden. In diesem Ausführungsbeispiel liegt zwischen der ersten Pulsfolge 33.1 und der zweiten Pulsfolge 33.2 ein Intervall 56 der Modulationsfrequenz 55. Zwischen der zweiten Pulsfolge 33.2 und der fünften Pulsfolge 33.5 liegen hingegen drei Intervalle 56 und zwischen der fünften Pulsfolge 33.5 und der siebten Pulsfolge 33.7 zwei Intervalle 56 der Modulationsfrequenz 55. Das Erzeugen der Pulsfolgen 33 mit einem ganzzahligen Vielfachen des Intervalls 56 bzw. einem ganzzahligen Bruchteil der Modulationsfrequenz 55 ermöglicht dabei eine besonders einfache Verfahrensführung. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass zwei aufeinanderfolgende Pulsfolgen 33 beliebig zueinander beabstandet sind. Somit können beispielsweise Markierungen 3 mit besonders individuellen Mustern erzeugt werden.

[0061] Figur 3 verdeutlicht eine Markierung 3, die mittels Materialabtrag eines die Schicht 5 bildenden Materials 57 erzeugt wird. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird der Materialabtrag mittels Sublimation des die Schicht 5 bildenden Materials 57 bewirkt, wobei ein den Bildpunkt BP umgebendes Material 59 karbonisierungsfrei ist. Im umgebenden Material 59 enthaltene Polymermoleküle werden dabei nicht verkoht. In Figur 3a trifft ein erster Laserpuls 31.1 der Pulsfolge 33 auf das Material 57 der Schicht 5, wobei eine Laserbohrung 61 erzeugt wird. Die Laserbohrung 61 erstreckt sich im Wesentlichen gleichmäßig um den Auftreffpunkt 34.1 des ersten Laserpulses, der an der Spitze des den ersten Laserpulses 31.1 illustrierenden Pfeils angeordnet ist.

[0062] In Figur 3b trifft ein zweiter Laserpuls 31.2 der Pulsfolge 33 auf das Material 57. Dabei wird ein weiterer Teil des Materials 57 der Schicht 5 sublimiert und somit entfernt, wobei eine Bohrungstiefe T1 der Laserbohrung 61 zunimmt. Zwischen dem ersten Laserpuls 31.1 und dem zweiten Laserpuls 31.2 wurde der Laserstrahl 11 geringfügig entlang der Bahn 29 weiterbewegt, sodass ein zweiter Auftreffpunkt 34.2 des zweiten Laserpulses 31.2 geringfügig entlang der Bahn 29 zum ersten Auftreffpunkt 34.1 des ersten Laserpulses 31.1 verschoben ist. In Figur 3 verläuft die Bahn 29, die die Bildpunkte BP verbindet also nach rechts.

[0063] In analoger Weise erfolgt auch mittels der weiteren Laserpulse 31.3, 31.4, 31.5, 31.6 ein Materialabtrag (Fig. 3c bis Fig. 3f), wobei die jeweiligen Auftreffpunkte 34.3, 34.4, 34.5, 34.6 zueinander versetzt sind. Die Bohrungstiefe T1 der Laserbohrung 61 nimmt mit jedem auftreffenden Laserpuls 31 zu. Nachdem der sechste Laserpuls 31.6 auf die Schicht 5 aufgebracht wurde, ist das Erzeugen der Laserbohrung 61 abgeschlossen. Das Aspektverhältnis der fertigen Laserbohrung 61 bestimmt sich aus einem Quotient $T1/D$ der Bohrungstiefe T1 und eines maximalen Durchmessers D der Laserbohrung 61.

[0064] Aufgrund der Bewegung des Laserstrahls 11 entlang der Bahn 29, weist die Laserbohrung zudem das in Figur 3 dargestellte gestufte Profil auf. Das abgestufte Profil ist jedoch je nach Ausprägung kaum oder nicht wahrnehmbar. Figur 4 verdeutlicht dabei das Verfahren zum Erzeugen der Laserbohrung 61 in einer parallel zur Bohrungstiefe T1 gerichteten Ansicht. Der erste Laserpuls 31.1 trifft im ersten Auftreffpunkt 34.1 auf die Schicht 5 und verdampft das die Schicht 5 bildende Material 57. Dabei wird die etwa kreisförmige Laserbohrung 61 erzeugt. Anschließend wird der zweite Laserpuls 31.2 erzeugt und trifft im zweiten Auftreffpunkt 34.2 auf die Schicht 5, wobei die Bohrungstiefe T1 zunimmt. In der dargestellten Ansicht ist das Bewegen des Auftreffpunktes 34 besonders gut zu erkennen. Die Figuren 4c bis 4e illustrieren die sich verändernde Form der Laserbohrung 61 durch das Auftreffen der weiteren Laserpulse 31.3, 31.4, 31.5 an den Auftreffpunkten 34.3, 34.4, 34.5. Figur 4f zeigt den Querschnitt der Laserbohrung 61, nachdem auch durch Auftreffen des sechsten Laserpulses 31.6 der Pulsfolge 33 das Material 57 der Schicht 5 abgetragen wurde.

[0065] Die Laserbohrung 61 ist somit in Figur 4f fertiggestellt und weist einen ovalen Querschnitt auf, der hier der Form eines Langlochs entspricht. Eine kurze Halbachse 63 der Laserbohrung 61 ist aufgrund der Verschiebung des Auftreffpunktes 34 quer zur Bahn 29. Eine Gestalt des ovalen Querschnitts der Laserbohrung 61 wird dabei von einer

Scangeschwindigkeit V_s , mit der der Laserstrahl 11 von der Ablenkeinrichtung 13 entlang der Bahn 29 geführt wird, der Oszillatorfrequenz 35 und der Pulsfolgedauer 36 der Laserpulse 31 einer Pulsfolge 33 beeinflusst. Eine Markierung 3 mit Laserbohrungen 61, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren 1 erzeugt wurden, ist daher besonders fälschungssicher. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass die Oszillatorfrequenz 35, die Pulsfolgedauer 36 der Laserpulse 31 und die Scangeschwindigkeit V_c derart gewählt sind, dass die Laserbohrung 61 einen im Wesentlichen runden Querschnitt aufweist. Ferner kann die Laserbohrung 61 auch einen elliptischen Querschnitt aufweisen. Vorzugsweise kann eine Querschnittsform der Laserbohrung 61 durch Variation eines Strahlquerschnitts des Laserstrahls 11 variiert werden.

[0066] In Fig. 5 ist, beispielhaft und nicht maßstäblich, ein Ausschnitt eines Dokumentenkörpers eines Sicherheitsdokuments 65 dargestellt. Das Sicherheitsdokument 65 weist eine Vorderseite 67 und eine Rückseite 69 auf. Das Sicherheitsdokument 65 ist aus mehreren Schichten 71 aufgebaut und umfasst eine vorzugsweise transparente Deckschicht 73, die hier die Schicht 5 (siehe Fig. 1) ist. Mindestens eine der Schichten 71 und/oder 73 kann als Folie ausgestaltet sein. Die Schichten sind miteinander durch Lamination zu einem Dokumentenkörper verbunden. Unter der Deckschicht 73 befindet sich die für das Sicherheitsdokument 65 charakteristische, vorzugsweise personalisierte oder individualisierte, Information, wie zum Beispiel ein personenbezogenes oder individuelles Textelement und/oder graphische Darstellung und/oder Bild, zum Beispiel ein Portrait.

[0067] Auf der Vorderseite 67 des Sicherheitsdokuments 65 ist eine Markierung 3 angeordnet, welche bei Betrachtung senkrecht zur Vorderseite 67 im Wesentlichen nicht sichtbar ist und somit die darunterliegende Information gut erkennbar bleibt. Allgemein kann die Markierung 3, wenn diese vor dem Aufbringen der Deckschicht 73 auf den Folienstapel gebildet wird, auch auf der bezüglich des Folienstapels innenliegenden Oberfläche der Deckschicht 73 angeordnet sein. Auch können eine oder mehrere weitere Schichten zum Schutz der Markierung 3 aufgebracht sein.

[0068] Bei Betrachtung unter einem Glanzwinkel, d.h. unter einem flachen Winkel wird die Markierung 3 als mattierte Fläche sichtbar. Vorzugsweise ist die Markierung 3 passgenau zu einem darunterliegenden Bildelement 77 eingebracht. Vorzugsweise korrespondiert die Markierung 3 mit der darunterliegenden Information, vorzugsweise dem Bildelement 77. Die Markierung 3 ist also vorzugsweise eine individuelle oder personalisierte Markierung 3 und trägt oder kodiert eine individuelle oder personalisierte Information, die mit der Information der darunterliegenden Schicht korrespondiert. Eine Manipulation der Oberfläche oder ein Austausch der Deckschicht 73 wäre dadurch gut erkennbar. Die Markierung 3 muss nicht über, insbesondere deckungsgleich über, dem Bildelement 77 angeordnet sein, sondern kann auch an einer anderen Stelle des Sicherheitsdokumentes 65 eingebracht werden. Zum Beispiel kann die mit der Markierung 3 versehene Schicht 5 auch auf der Rückseite 69 des Sicherheitsdokuments 65 angebracht sein.

[0069] Figur 6 zeigt einen Ausschnitt einer mit einer Markierung 3 versehenen Schicht 5. Die Markierung 3 hat ein Muster von Bildpunkten BP, die als Laserbohrungen 61 ausgeführt sind. Vorzugsweise umfasst das Verfahren 1 ferner optional einen der Schritte: Füllen der Laserbohrungen mit einem Material, das sich von dem die Schicht 5 bildenden Material unterscheidet und/oder Abdecken der Markierung 3 mittels einer Schicht, einer Folie und/oder einem Film. Beispielsweise können die Laserbohrungen 61 mittels einer Lackschicht abgedeckt werden.

[0070] Figur 7 verdeutlicht eine Intensität einer Pulsfolge 33 mit drei ultrakurzen Laserpulsen 32, die im erfindungsgemäßen Verfahren 1 zum Erzeugen einer Markierung 3 auf die Schicht 5 aufgebracht werden, im Vergleich zu einem Standardpuls 79, wie dieser in einem herkömmlichen Verfahren 300 eingesetzt werden kann. Die Abszisse des dargestellten Koordinatensystems beschreibt eine Zeitachse ZA, während die Ordinate einen Wert der Intensität I repräsentiert.

[0071] Eine Intensität IKP der ultrakurzen Laserpulse 32.1, 32.2, 32.3 entspricht in diesem Ausführungsbeispiel etwa einem Drittel der Intensität IS des Standardpulses 79. Somit stimmt eine Summe der Intensitäten IKP der ultrakurzen Pulse 32, die während der Pulsfolge 33 auf die Schicht 5 aufgebracht wird, mit der Intensität IS eines Standardpulses 79 überein. Auch eine Pulsdauer 81 der ultrakurzen Laserpulse 32 und des Standardpulses 79 sowie die Modulationsfrequenz 55 sind in diesem Ausführungsbeispiel identisch. Durch die Verteilung der Intensität I auf mehrere ultrakurze Laserpulse 32 ist eine Abtrageeffizienz der Pulsfolge 33 größer als eine Abtrageeffizienz des Standardpulses IS. Das heißt mittels der Pulsfolge 33 kann mehr Material 57 aus der Schicht 5 entfernt werden als mit dem Standardpuls IS, wodurch ein gesamter Energiebedarf zum Erzeugen der Markierung 3 reduziert werden kann.

Bezugszeichenliste

[0072]

Verfahren	1
Markierung	3
Schicht	5
Markierungsvorrichtung	7
Lasergenerator	9
Laserstrahl	11

EP 3 900 944 B1

(fortgesetzt)

	Ablenkeinrichtung	13
	Erster Spiegel	15
5	Zweiter Spiegel	17
	Zweiachsige Ablenkeinrichtung	19
	Fokussiereinrichtung	21
	Fokussiereinrichtung zugewandte Seite	23
	Fokussiereinrichtung abgewandte Seite	25
10	Steuereinheit	27
	Bahn	29
	Laserpuls	31, 31.1, 31.2, 31.3, 31.4, 31.5, 31.6, 31.7, 31.8, 31.9, 31.10, 31.11, 31.12
	Ultrakurzer Laserpuls	32
15	Pulsfolge	33, 33.1, 33.2
	Auftreffpunkt	34, 34.1, 34.2, 34.3, 34.5
	Oszillatorfrequenz	35
	Pulsfolgedauer	36
20	F-Theta-Objektiv	37
	Laseroszillator	39
	Verstärker	41
	Seedlaserpuls	43
	Oszillationsfrequenz	45
25	Koppelvorrichtung	47
	Pfeil	49
	Modulationsfrequenz	55
	Intervall der Modulationsfrequenz	56
30	Die Schicht bildendes Material	57
	Umgebendes Material	59
	Laserbohrung	61
	Kurze Halbachse	63
	Sicherheitsdokument	65
35	Vorderseite	67
	Rückseite	69
	Schichten	71
	Transparente Deckschicht	73
40	Bildelement	77
	Standardpuls	79
	Pulsdauer	81
	Markierungssystem	200
	herkömmliche Verfahren	300
45	Bildpunkte	BP, BP1, BP2, BP5, BP7, BPn
	Maximaler Durchmesser	D
	Fokuspunkt	FP
	Intensität	I
50	Intensität ultrakurzer Laserpulse	IKP
	Intensität Standardpuls	IS
	Positionen der Bildpunkte	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, Pn
	Schritte	S#
	Tiefe der Laserbohrung	T1
55	Scangeschwindigkeit	Vs
	Zeitachse	ZA

Patentansprüche

1. Verfahren (1) zum Einbringen einer Markierung (3) mittels eines von einem Lasergenerator (9) erzeugten Laserstrahls (11), in eine Schicht (5) eines Sicherheitsdokuments (65), wobei

5 die Markierung (3) eine Mehrzahl an Bildpunkten (BP) in wenigstens einer ersten die Bildpunkte (BP) verbindenden Bahn (29) aufweist,
 der Laserstrahl (11) mittels zumindest einem bewegbaren Ablenkspiegel (15, 17) einer Ablenkeinrichtung (13) entlang der die Bildpunkte (BP) verbindenden ersten Bahn (29) auf der Schicht (5) geführt wird,
 10 wobei eine Bewegung des Laserstrahls (11) durch die Ablenkeinrichtung (13) kontinuierlich erfolgt, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 zum Erzeugen eines der Bildpunkte (BP) der Markierung (3) während der kontinuierlichen Bewegung durch die Ablenkeinrichtung (13) eine Pulsfolge (33) von zwei oder mehr aufeinanderfolgenden Laserpulsen (31) des Laserstrahls (11) erzeugt wird.

15 2. Verfahren (1) nach Anspruch 1, wobei die Laserpulse (31) ultrakurze Laserpulse (32) sind, wobei die Laserpulse (31) vorzugsweise mit einer Oszillatorfrequenz (35), gemessen zwischen den zwei aufeinanderfolgenden Laserpulsen (31) der Pulsfolge (33), erzeugt werden, die einen Wert in einem Bereich von 100 kHz bis 100 MHz aufweist.

20 3. Verfahren (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Scangeschwindigkeit (V_s), mit der der Laserstrahl (11) entlang der ersten Bahn (29) bewegt wird, einen Wert von 10 m/s oder größer aufweist.

25 4. Verfahren (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Gesamtenergie der Pulsfolge (33) im Wesentlichen gleichmäßig auf die Laserpulse (31) der Pulsfolge (33) verteilt ist, wobei eine Energie eines Laserpulses (31) der Pulsfolge (33) vorzugsweise einen Wert von 10 μ J oder kleiner aufweist.

30 5. Verfahren (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Fluenz eines auftreffenden Laserpulses (31) der Pulsfolge (33) einen Wert aufweist, der kleiner oder gleich einem zehnfachen Wert einer Schwellfluenz des die Schicht (5) bildenden Materials (57) ist.

35 6. Verfahren (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Anzahl der Laserpulse (31) der Pulsfolge (33), die zum Erzeugen des jeweiligen Bildpunktes (BP) erzeugt wird, variiert wird.

7. Verfahren (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Laserstrahl (11) in einem Zeitraum zwischen einem ersten Laserpuls (31.1) und einem letzten Laserpuls (31.n) der Pulsfolge (33) um einen Strahlfortschrittswert in einem Bereich von 0,1 μ m bis 10 μ m, besonders bevorzugt um einen Wert von 1 μ m, entlang der ersten Bahn (29) bewegt wird.

40 8. Verfahren (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der Bildpunkte (BP) durch Materialabtrag eines die Schicht (5) bildenden Materials (57) erfolgt, wobei durch Materialabtrag eine Laserbohrung (61) mit einer Bohrungstiefe (T1) erzeugt wird, wobei der Materialabtrag vorzugsweise karbonisierungslos und/oder durch Sublimation des die Schicht (5) bildenden Materials (57) erfolgt.

45 9. Verfahren (1) nach Anspruch 8, wobei die Laserbohrung (61) einen im Wesentlichen ovalen Querschnitt aufweist, wobei eine kurze Halbachse (63) des ovalen Querschnitts vorzugsweise im Wesentlichen quer zur ersten Bahn (29) der Mehrzahl an Bildpunkten (BP) ist.

50 10. Verfahren (1) nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Laserbohrung (61) ein Aspektverhältnis (T1/D), gemessen als Quotient aus der Bohrungstiefe (T1) und einem maximalen Bohrungsdurchmesser (D), in einem Bereich von 0,05 bis 5 aufweist.

55 11. Markierungsvorrichtung (7) zum Einbringen einer eine Mehrzahl an Bildpunkten (BP) aufweisenden Markierung (3) in eine Schicht (5) eines Sicherheitsdokuments (65), aufweisend

einen Lasergenerator (9), der zum Erzeugen eines Laserstrahls (11) ausgebildet ist, eine Ablenkeinrichtung (13) mit zumindest einem bewegbaren Ablenkspiegel (15, 17) zum Führen des Laserstrahls (11) auf der Schicht (5), und eine Steuereinheit (27), die zum Steuern der Ablenkeinrichtung (13) und des Lasergenerators (9) ausgebildet ist,

wobei die Steuereinheit (27) dazu ausgebildet ist, die Ablenkeinrichtung (13) derart zu steuern, dass der zumindest eine bewegbare Ablenkspiegel (15, 17) der Ablenkeinrichtung (13) zum Führen des Laserstrahls (11) entlang einer die Bildpunkte (BP) verbindenden ersten Bahn (29) eine kontinuierliche Bewegung ausführt, und den Lasergenerator (9) derart zu steuern, dass der Lasergenerator (9) zum Erzeugen eines Bildpunkts (BP) der Markierung (3) während der Bewegung des zumindest einen Ablenkspiegels (15, 17) eine Pulsfolge (33) von zwei oder mehr aufeinanderfolgenden Laserpulsen (31) des Laserstrahls (11) auf die Schicht (5) aufbringt.

12. Markierungsvorrichtung (7) nach Anspruch 11, wobei der Lasergenerator (9) einen Laseroszillator (39) und einen nachgeschalteten Verstärker (41) aufweist, und wobei der Lasergenerator (9) dazu ausgebildet ist, eine Pulsfolge (33) von Laserpulsen (31) bereitzustellen, deren Oszillatorfrequenz (35) einer Schwingfrequenz des Laseroszillators (39) entspricht.

13. Sicherheitsdokument (65), aufweisend eine Schicht (5) mit einer Markierung (3), die eine Mehrzahl an Bildpunkten (BP) aufweist, herstellbar durch ein Verfahren (1) mit den Schritten:

Führen eines Laserstrahls (11) mittels zumindest einem bewegbaren Ablenkspiegel (15, 17) einer Ablenkeinrichtung (13) entlang einer die Bildpunkte (BP) verbindenden ersten Bahn (29) auf der Schicht (5), wobei eine Bewegung des Laserstrahls (11) durch die Ablenkeinrichtung (13) kontinuierlich erfolgt, und Erzeugen einer Pulsfolge (33) von zwei oder mehr aufeinanderfolgenden Laserpulsen (31) des Laserstrahls (11) während der kontinuierlichen Bewegung der Ablenkeinrichtung (13) zum Erzeugen eines der Bildpunkte (BP) der Markierung (3).

14. Verwendung einer Schicht (5) mit einer Markierung (3), die eine Mehrzahl an Bildpunkten (BP) aufweist, herstellbar durch ein Verfahren (1) mit den Schritten:

Führen eines Laserstrahls (11) mittels zumindest einem bewegbaren Ablenkspiegel (15, 17) einer Ablenkeinrichtung (13) entlang einer die Bildpunkte (BP) verbindenden ersten Bahn (29) auf der Schicht (5), wobei eine Bewegung des Laserstrahls (11) durch die Ablenkeinrichtung (13) kontinuierlich erfolgt, und Erzeugen einer Pulsfolge (33) von zwei oder mehr aufeinanderfolgenden Laserpulsen (31) des Laserstrahls (11) während der kontinuierlichen Bewegung der Ablenkeinrichtung (13) zum Erzeugen eines der Bildpunkte (BP) der Markierung (3) in einem Sicherheitsdokument (65).

15. Computerprogramm, umfassend Befehle, die bewirken, dass die Markierungsvorrichtung (7) gemäß Anspruch 11 oder 12, das in den Ansprüchen 1 bis 10 definierte Verfahren (1) ausführt, wenn das Computerprogramm auf einer Recheneinheit ausgeführt wird.

Claims

1. Method (1) for introducing a marking (3) by means of a laser beam (11) generated by a laser generator (9) into a layer (5) of a security document (65), wherein

the marking (3) comprises a plurality of pixels (BP) in at least a first path (29) connecting the pixels (BP), the laser beam (11) is guided by means of at least one movable deflection mirror (15, 17) of a deflection device (13) along the first path (29) connecting the pixels (BP) on the layer (5),

characterized in that a movement of the laser beam (11) through the deflection device (13) takes place continuously, and

for generating one of the pixels (BP) of the marking (3) during the continuous movement by the deflection device (13) a pulse sequence (33) of two or more subsequent laser pulses (31) of the laser beam (11) is generated.

2. Method (1) of claim 1, wherein the laser pulses (31) are ultrashort laser pulses (32), wherein the laser pulses (31) are preferably generated with an oscillator frequency (35), measured between the two subsequent laser pulses (31) of the pulse sequence (33), the oscillator frequency (35) having a value in a range from 100 kHz to 100 MHz.

3. Method (1) of any of the preceding claims, wherein a scanning velocity (V_s) at which the laser beam (11) is being moved along the first path (29), has a value of 10 m/s or higher.

4. Method (1) of any of the preceding claims, wherein a total energy of the pulse sequence (33) is substantially evenly distributed among the laser pulses (31) of the pulse sequence (33), wherein an energy of a laser pulse (31) of the pulse sequence (33) has preferably a value of 10 μ J or less.
- 5 5. Method (1) of any of the preceding claims, wherein a fluence of an impinging laser pulse (31) of the pulse sequence (33) comprises a value which is less than or equal to a tenfold value of a threshold fluence of the material (57) forming the layer (5).
6. Method (1) of any of the preceding claims, wherein a number of laser pulses (31) of the pulse sequence (33), which is generated for generating the corresponding pixel (BP), is varied.
- 10 7. Method of any of the preceding claims, wherein the laser beam (11) is moved in a time period between a first laser pulse (31.1) and a last laser pulse (31.n) of the pulse sequence (33) by a beam progression value in a range from 0.1 μ m to 10 μ m, particularly preferred by a value of 1 μ m along the first path (29).
- 15 8. Method (1) of any of the preceding claims, wherein the generation of pixels (PB) takes place by material removal of a material (57) forming the layer (5), wherein by material removal a laser bore (61) with a bore depth (T1) is generated, wherein the material removal takes place preferably without carbonization and/or by sublimation of the material (57) forming the layer (5).
- 20 9. Method (1) of claim 8, wherein the laser bore (61) comprises a substantially oval cross section, wherein short half axis (63) of the oval cross section is preferably substantially transverse to the first path (29) of the plurality of pixels (BP).
- 25 10. Method (1) of claim 8 or claim 9, wherein the laser bore (61) comprises an aspect ratio (T1/D), measured as quotient of the bore depth (T1) and a maximum bore diameter (D), in a range of 0.05 to 5.
- 30 11. Marking device (7) for introducing a marking (3), the marking (3) comprising a plurality of pixels (BP), into a layer (5) of a security document (65), the marking device (7) comprising:
- a laser generator (9) being configured for generating a laser beam (11),
a deflection device (14) with at least one movable deflection mirror (15, 17) for guiding the laser beam (11) on the layer (5), and
a control unit (27) being configured for controlling the deflection device (13) and the laser generator (9),
wherein the control unit (27) is configured to control the deflection device (13) such that the at least one movable deflection mirror (15, 17) of the deflection device (13) for guiding the laser beam (11) along a first path (29) connecting the pixels (BP) executes a continuous movement, and to control the laser generator (9) such that the laser generator (9) for generating a pixel (BP) of the marking (3) during the movement of the at least one deflection device (15, 17) applies a pulse sequence (33) of two or more subsequent laser pulses (31) of the laser beam (11) on the layer (5).
- 35 40 12. Marking device (7) of claim 11, wherein the laser generator (9) comprises a laser oscillator (39) and a downstream amplifier (41), and wherein the laser generator (9) is configured to provide a pulse sequence (33) of laser pulses (31) whose oscillator frequency (35) corresponds to an oscillation frequency of the laser oscillator (39).
- 45 13. Security document (65), comprising a layer (5) with a marking (3), comprising a plurality of pixels (BP), producible by a method (1) with the steps:
- guiding a laser beam (11) by means of at least one movable deflection mirror (15, 17) of a deflection device (13) along a first path (29) that connects the pixels (BP) of the layer (5), wherein a movement of the laser beam (11) by the deflection device (13) takes place continuously, and
generating a pulse sequence (33) of two or more subsequent laser pulses (31) of the laser beam (11) during the continuous movement of the deflection device (14) for generating one of the pixels (BP) of the marking (3).
- 50 55 14. Use of a layer (5) with a marking (3), comprising a plurality of pixels (BP), producible by a method (1) with the steps:
- guiding a laser beam (11) by means of at least one movable deflection mirror (15, 17) of a deflection device (13) along a first path (29) that connects the pixels (BP) of the layer (5), wherein a movement of the laser beam (11) by the deflection device (13) takes place continuously, and

generating a pulse sequence (33) of two or more subsequent laser pulses (31) of the laser beam (11) during the continuous movement of the deflection device (14) for generating one of the pixels (BP) of the marking (3) in a security document (65).

- 5 15. Computer program, comprising commands that cause the marking device (7) of claim 11 or claim 12 to execute the method (1) defined in claims 1 to 10, when the computer program is executed on a computing unit.

10 **Revendications**

1. Procédé (1) pour introduire un marquage (3), au moyen d'un faisceau laser (11) généré par un générateur laser (9), dans une couche (5) d'un document de sécurité (65),

15 le marquage (3) comprenant une pluralité de points d'image (BP) dans au moins une première piste (29) qui relie les points d'image (BP),

le faisceau laser (11) étant guidé sur la couche (5) au moyen d'au moins un miroir de déviation (15, 17) mobile d'un dispositif de déviation (13) le long de la première piste (29) qui relie les points d'image (BP), un déplacement du faisceau laser (11) par le dispositif de déviation (13) étant effectué en continu,

caractérisé en ce que

20 pour produire l'un des points d'image (BP) du marquage (3) pendant le déplacement continu par le dispositif de déviation (13), un train d'impulsions (33) de deux impulsions laser (31) successives ou plus du faisceau laser (11) est généré.

- 25 2. Procédé (1) selon la revendication 1, les impulsions laser (31) étant des impulsions laser ultracourtes (32), les impulsions laser (31) étant de préférence générées à une fréquence d'oscillateur (35), mesurée entre les deux impulsions laser (31) successives du train d'impulsions (33), qui a une valeur comprise dans une plage de 100 kHz à 100 MHz.

- 30 3. Procédé (1) selon l'une des revendications précédentes, une vitesse de balayage (V_s) à laquelle le faisceau laser (11) est déplacé le long de la première piste (29) ayant une valeur de 10 m/s ou plus.

- 35 4. Procédé (1) selon l'une des revendications précédentes, une énergie totale du train d'impulsions (33) étant répartie sensiblement uniformément entre les impulsions laser (31) du train d'impulsions (33), une énergie d'une impulsion laser (31) du train d'impulsions (33) ayant de préférence une valeur de 10 μ J ou moins.

5. Procédé (1) selon l'une des revendications précédentes, une fluence d'une impulsion laser (31) incidente du train d'impulsions (33) présentant une valeur qui est inférieure ou égale à dix fois une valeur d'une fluence de seuil du matériau (57) formant la couche (5).

- 40 6. Procédé (1) selon l'une des revendications précédentes, un nombre d'impulsions laser (31) du train d'impulsions (33), qui sont générées pour produire le point d'image (BP) respectif, étant varié.

- 45 7. Procédé (1) selon l'une des revendications précédentes, le faisceau laser (11) étant déplacé le long de la première piste (29) d'une valeur de progression du faisceau comprise dans une plage allant de 0,1 μ m à 10 μ m, de manière particulièrement préférée d'une valeur de 1 μ m, pendant une période comprise entre une première impulsion laser (31.1) et une dernière impulsion laser (31.n) du train d'impulsions (33).

- 50 8. Procédé (1) selon l'une des revendications précédentes, la génération des points d'image (BP) s'effectuant par enlèvement de matériau d'un matériau (57) formant la couche (5), un alésage laser (61) ayant une profondeur d'alésage (T1) étant généré par enlèvement de matériau, l'enlèvement de matériau s'effectuant de préférence sans carbonisation et/ou par sublimation du matériau (57) formant la couche (5).

- 55 9. Procédé (1) selon la revendication 8, l'alésage laser (61) présentant une section transversale sensiblement ovale, un demi-axe court (63) de la section transversale ovale étant de préférence sensiblement transversal à la première piste (29) de la pluralité de points d'image (BP).

10. Procédé (1) selon la revendication 8 ou 9, l'alésage laser (61) présentant un rapport d'aspect (T1/D), mesuré comme quotient de la profondeur d'alésage (T1) et d'un diamètre d'alésage maximal (D), compris dans une plage de 0,05 à 5.

11. Dispositif de marquage (7) pour l'introduction d'un marquage (3) présentant une pluralité de points d'image (BP) dans une couche (5) d'un document de sécurité (65), présentant

5 un générateur laser (9) qui est configuré pour générer un faisceau laser (11),
un dispositif de déviation (13) avec au moins un miroir de déviation (15, 17) mobile pour guider le faisceau laser (11) sur la couche (5), et
une unité de commande (27) qui est configurée pour commander le dispositif de déviation (13) et le générateur laser (9),
10 l'unité de commande (27) étant configurée pour commander le dispositif de déviation (13) de telle sorte que l'au moins un miroir de déviation (15, 17) mobile du dispositif de déviation (13) exécute un déplacement continu pour guider le faisceau laser (11) le long d'une première piste (29) qui relie les points d'image (BP), et pour commander le générateur laser (9) de telle sorte que, pour générer un point d'image (BP) du marquage (3), le générateur laser (9) applique sur la couche (5), pendant le déplacement de l'au moins un miroir de déviation (15, 17), un train d'impulsions (33) de deux impulsions laser (31) successives ou plus du faisceau laser (11).

12. Dispositif de marquage (7) selon la revendication 11, le générateur laser (9) comportant un oscillateur laser (39) et un amplificateur (41) monté en aval, et le générateur laser (9) étant configuré pour fournir un train d'impulsions (33) d'impulsions laser (31) dont la fréquence d'oscillateur (35) correspond à une fréquence d'oscillation de l'oscillateur laser (39).

13. Document de sécurité (65), présentant une couche (5) avec un marquage (3), qui présente une pluralité de points d'image (BP), pouvant être fabriquée par un procédé (1) comprenant les étapes suivantes:

25 guidage d'un faisceau laser (11) au moyen d'au moins un miroir de déviation (15, 17) mobile d'un dispositif de déviation (13) le long d'une première piste (29) qui relie les points d'image (BP) sur la couche (5), un déplacement du faisceau laser (11) par le dispositif de déviation (13) s'effectuant en continu, et
génération d'un train d'impulsions (33) de deux impulsions laser (31) successives ou plus du faisceau laser (11) pendant le déplacement continu du dispositif de déviation (13) afin de générer l'un des points d'image (BP) du marquage (3).

14. Utilisation d'une couche (5) avec un marquage (3), qui présente une pluralité de points d'image (BP), pouvant être fabriquée par un procédé (1) comprenant les étapes suivantes:

35 guidage d'un faisceau laser (11) au moyen d'au moins un miroir de déviation (15, 17) mobile d'un dispositif de déviation (13) le long d'une première piste (29) reliant les points d'image (BP) sur la couche (5), un déplacement du faisceau laser (11) par le dispositif de déviation (13) s'effectuant en continu, et
génération d'un train d'impulsions (33) de deux impulsions laser (31) successives ou plus du faisceau laser (11) pendant le déplacement continu du dispositif de déviation (13) afin de générer l'un des points d'image (BP) du marquage (3) dans un document de sécurité (65).

15. Programme informatique, comprenant des instructions qui ont pour effet que le dispositif de marquage (7) selon la revendication 11 ou 12 mette en oeuvre le procédé (1) défini dans les revendications 1 à 10 lorsque le programme informatique est exécuté sur une unité de calcul.

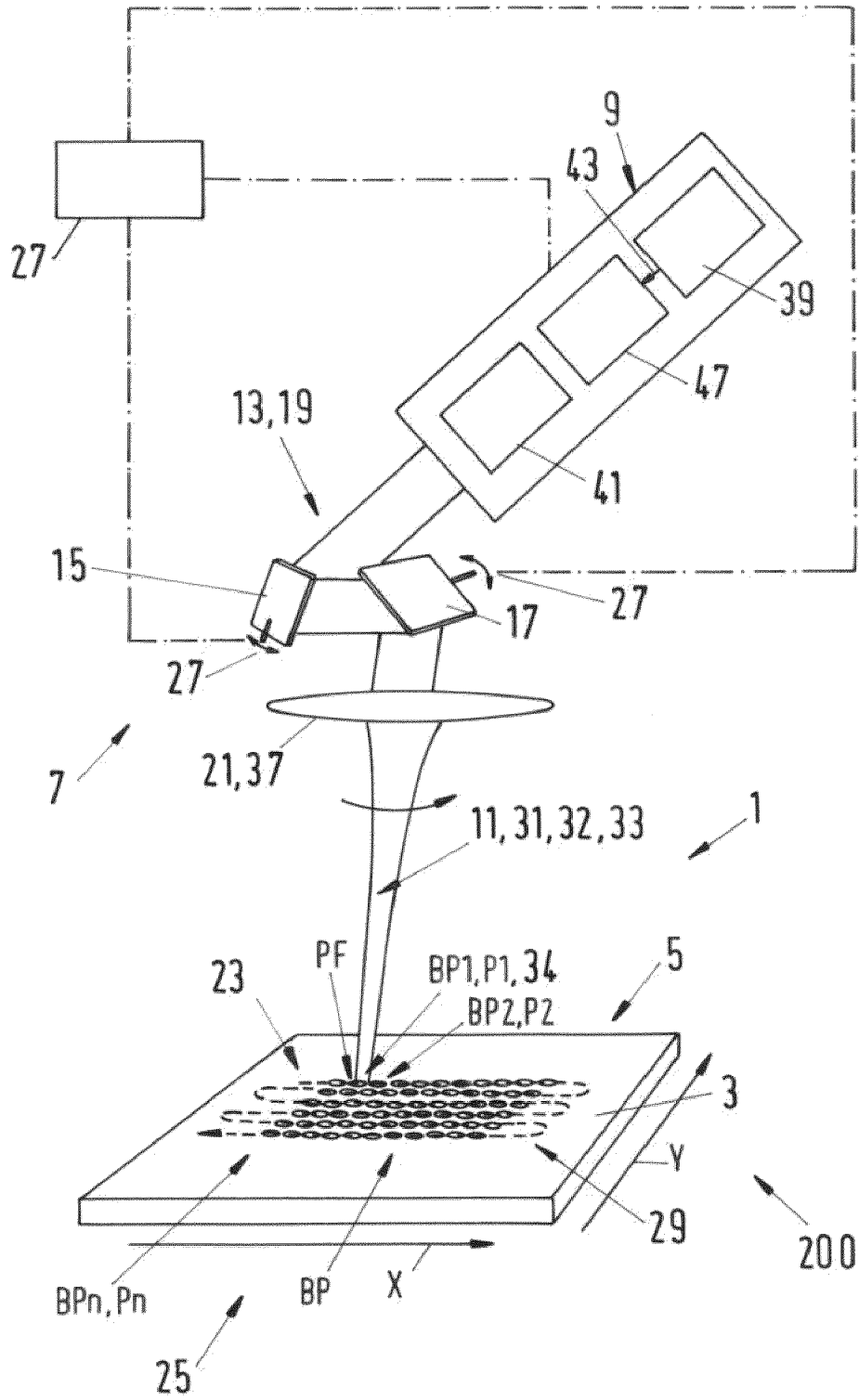


Fig.1

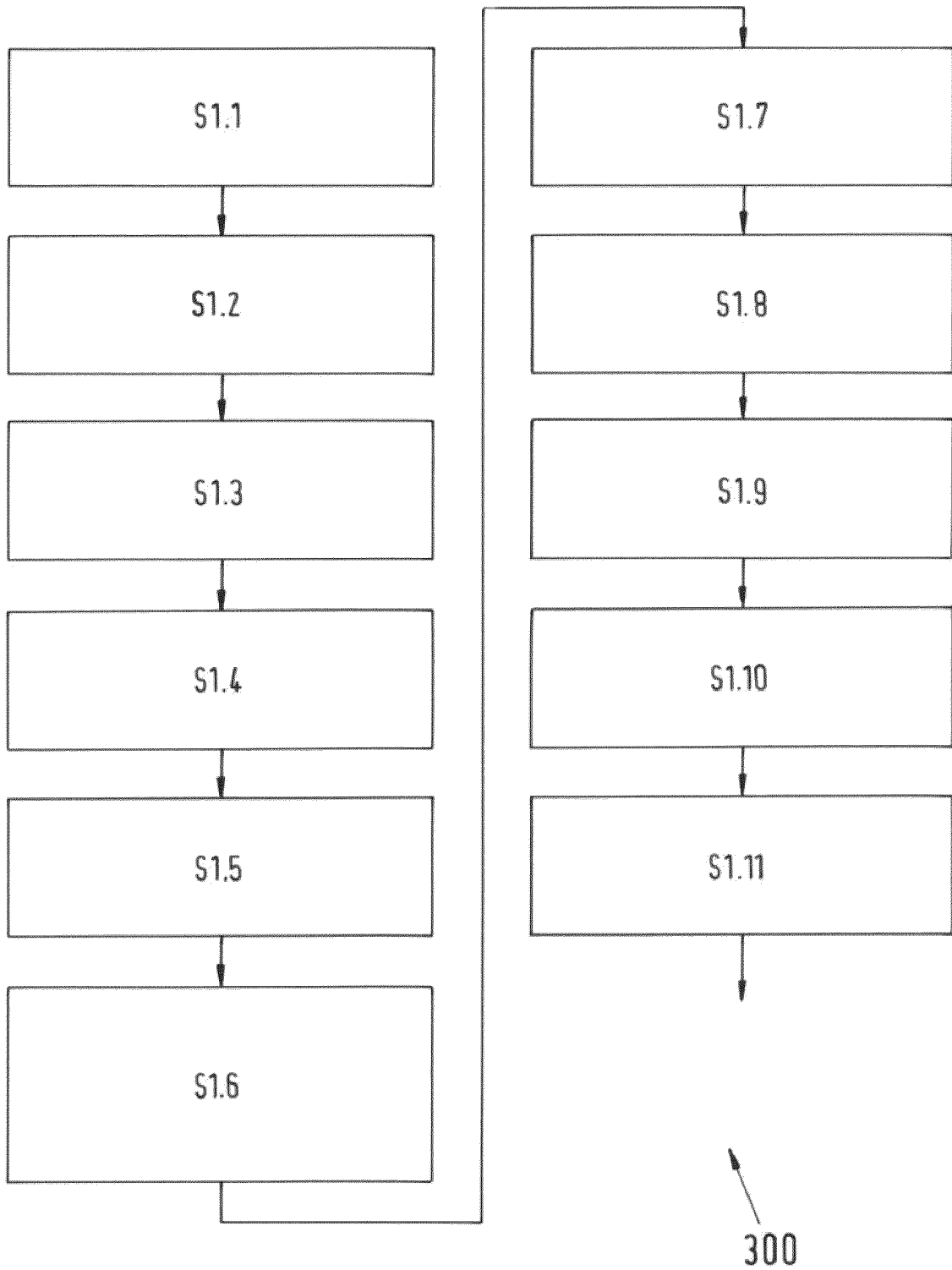


Fig.2a

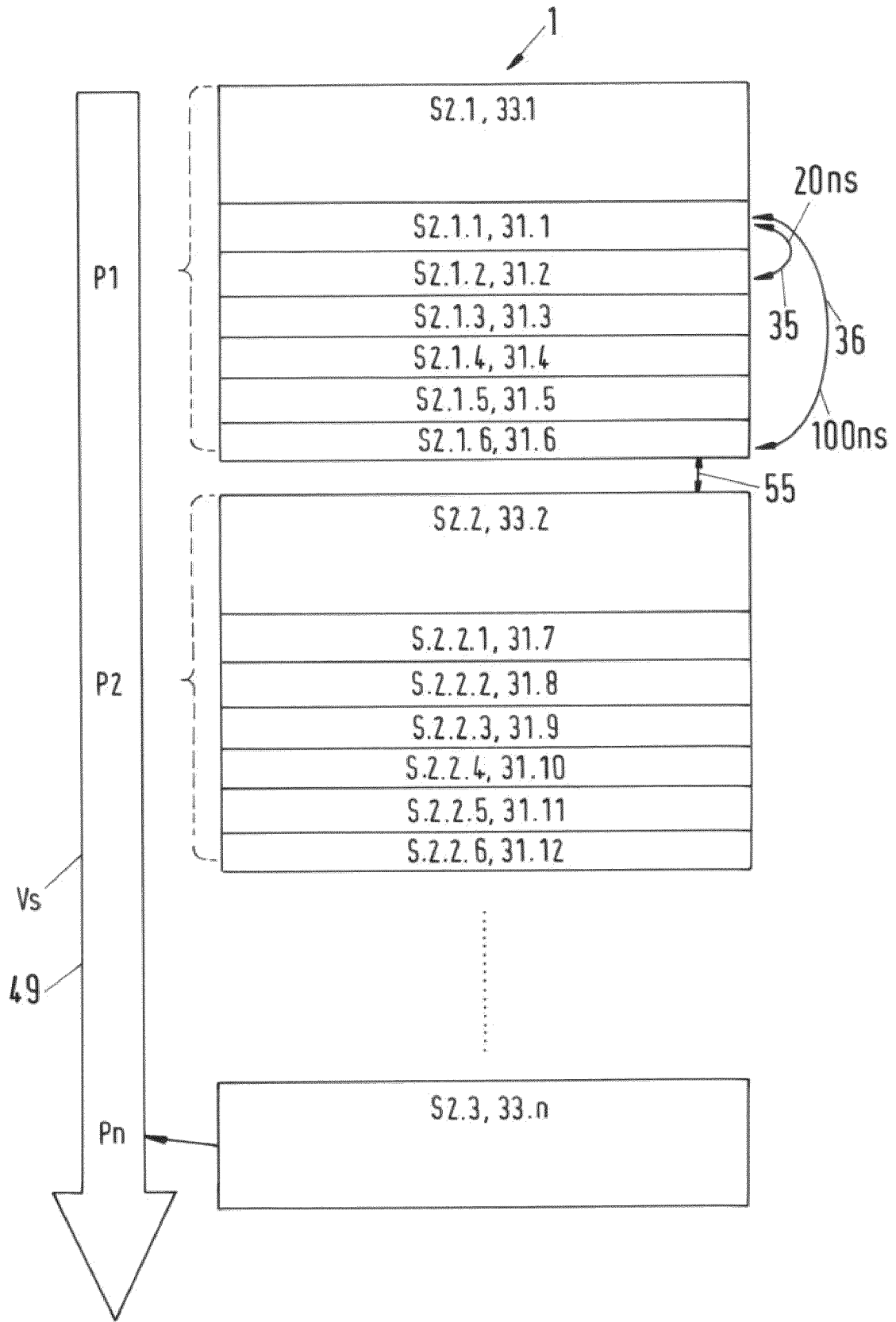


Fig.2b

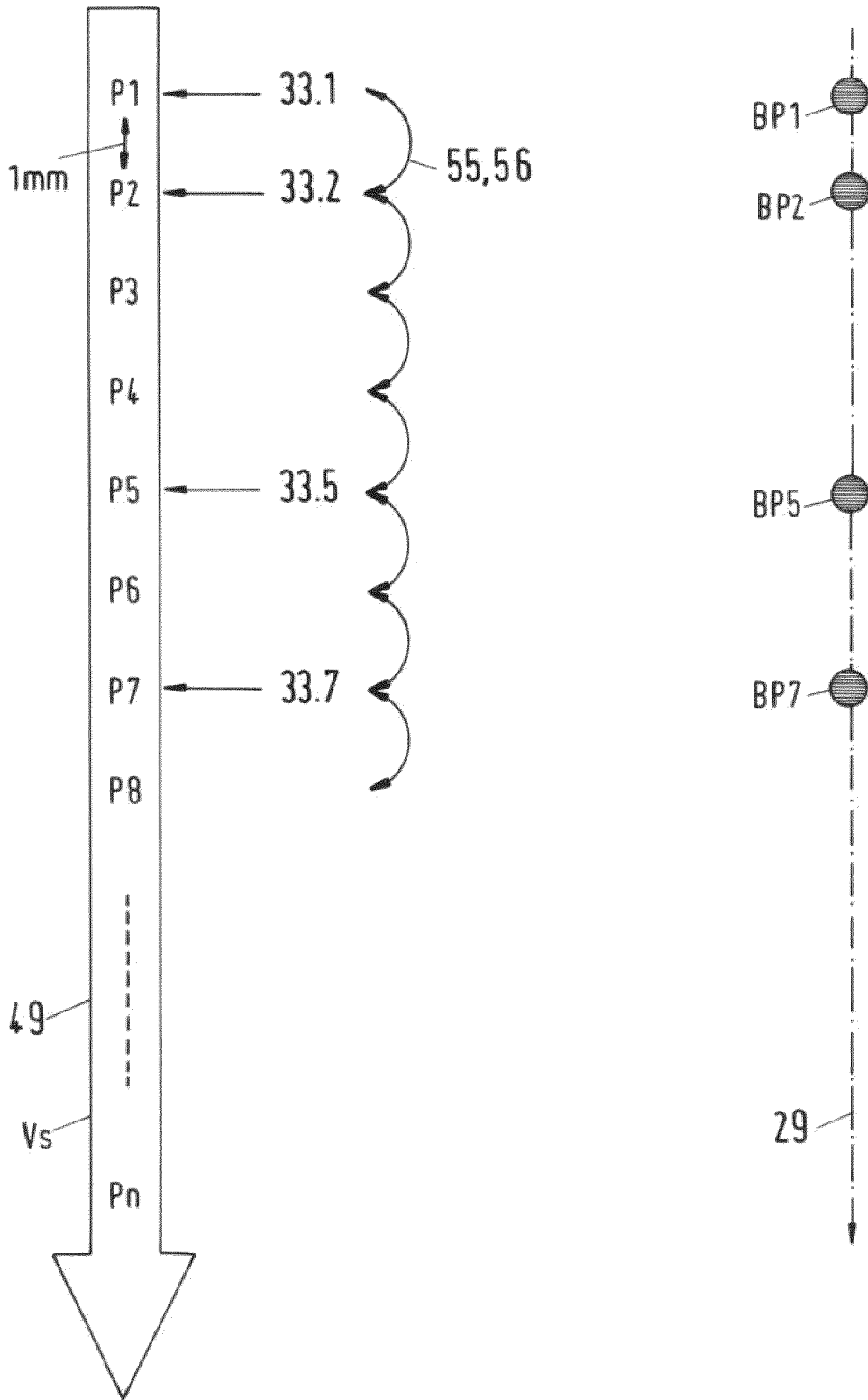
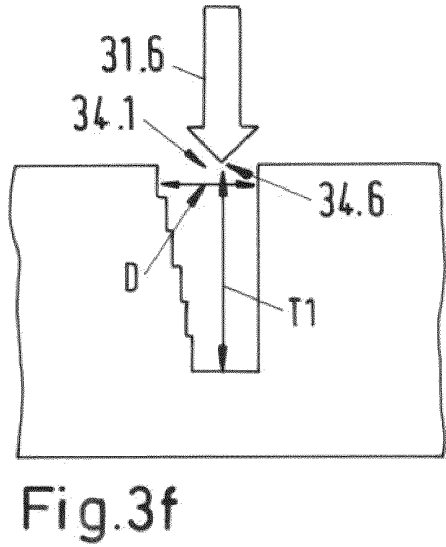
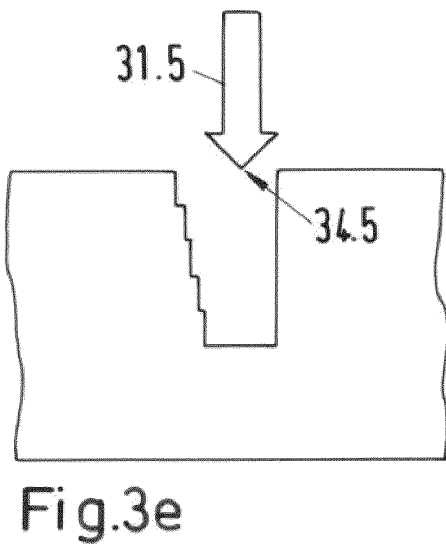
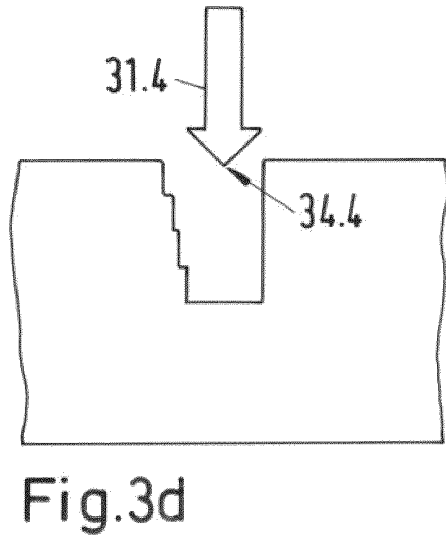
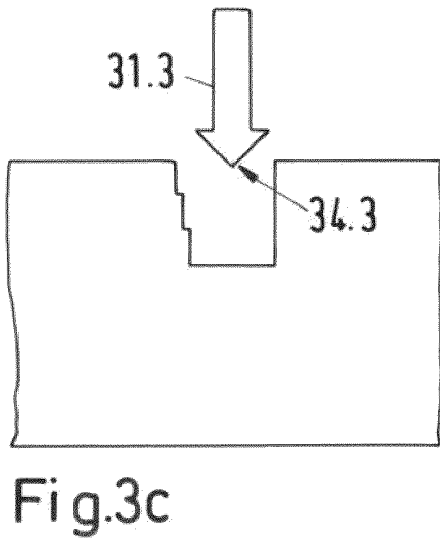
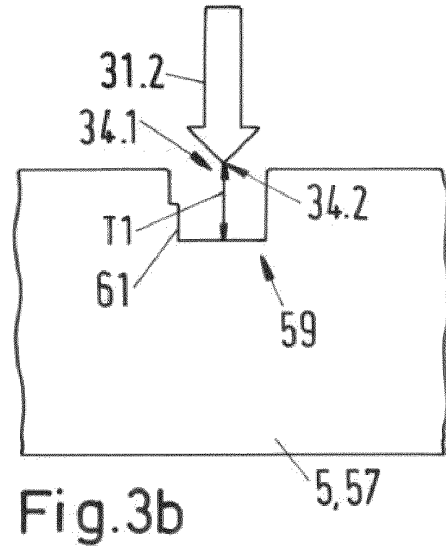
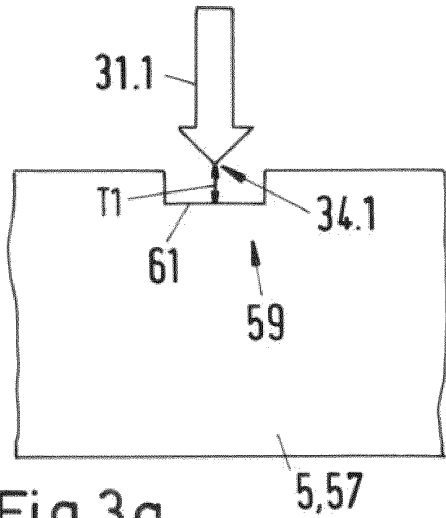


Fig.2c



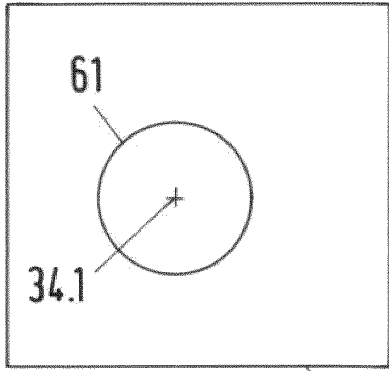


Fig. 4a

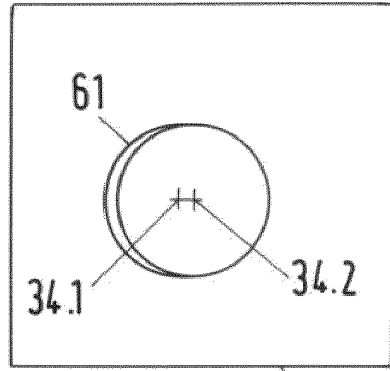


Fig. 4b

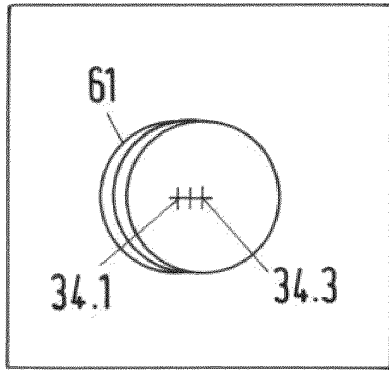


Fig. 4c

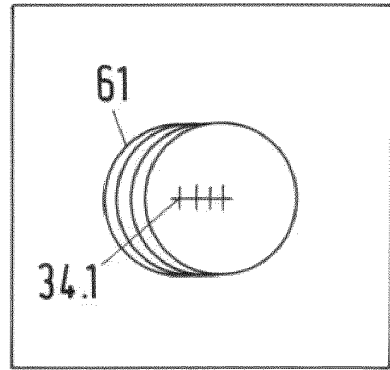


Fig. 4d

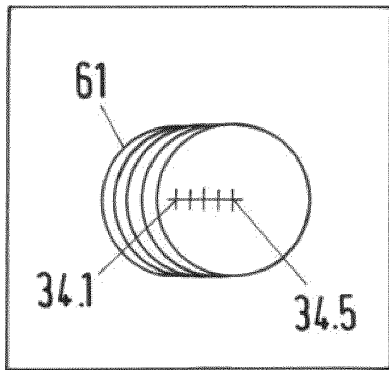


Fig. 4e

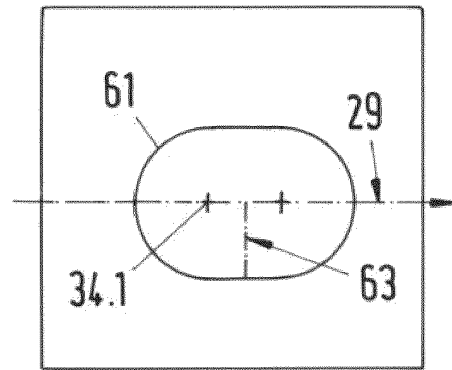


Fig. 4f

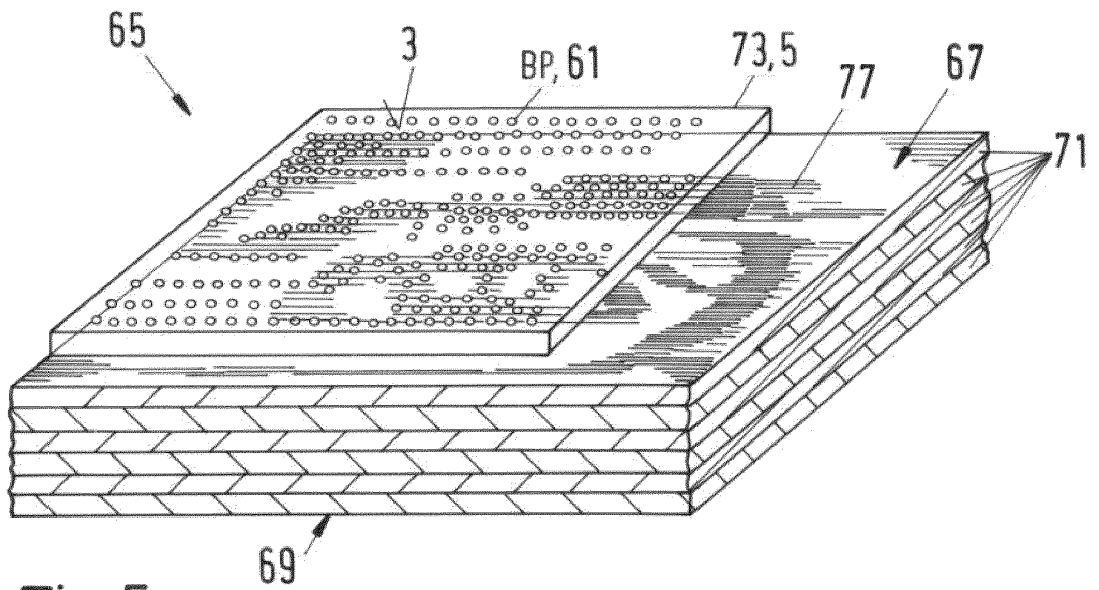


Fig.5

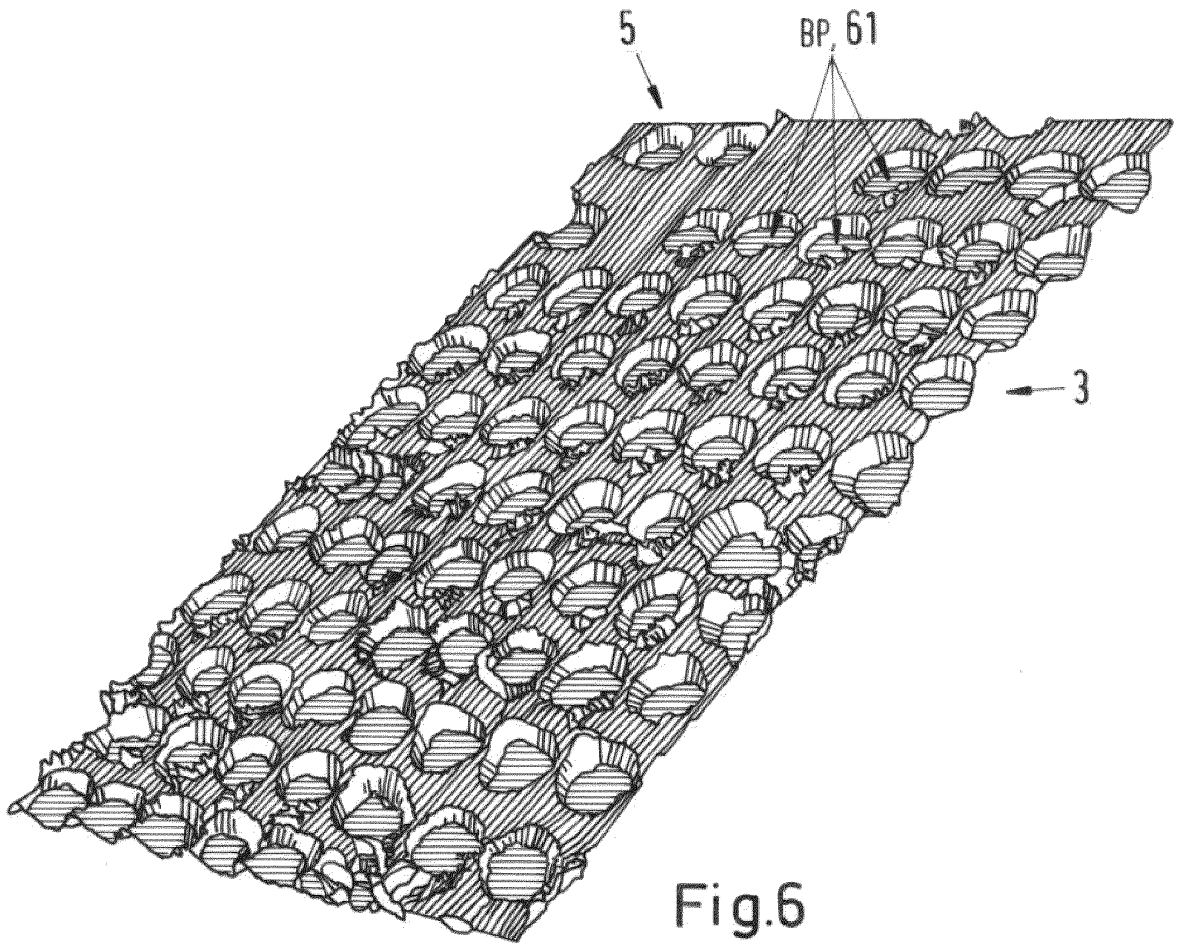


Fig.6

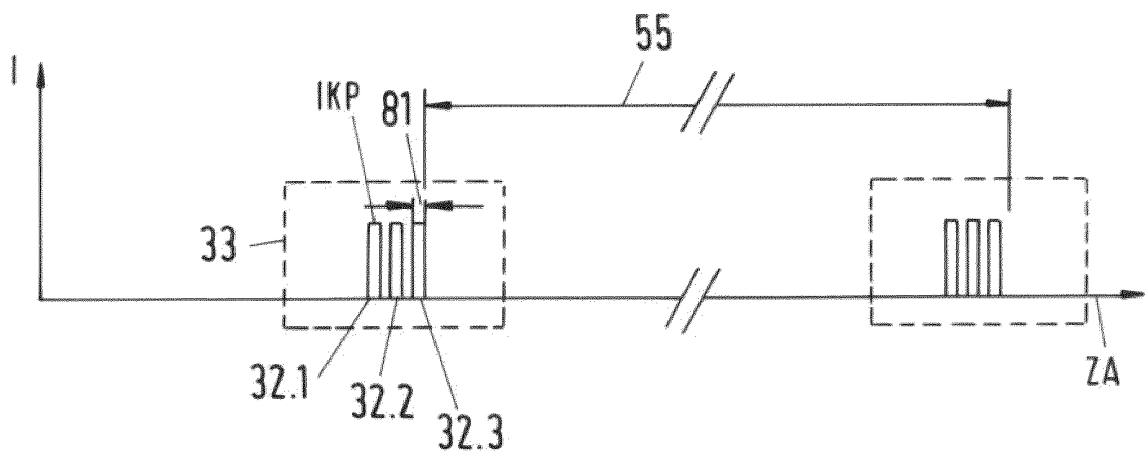
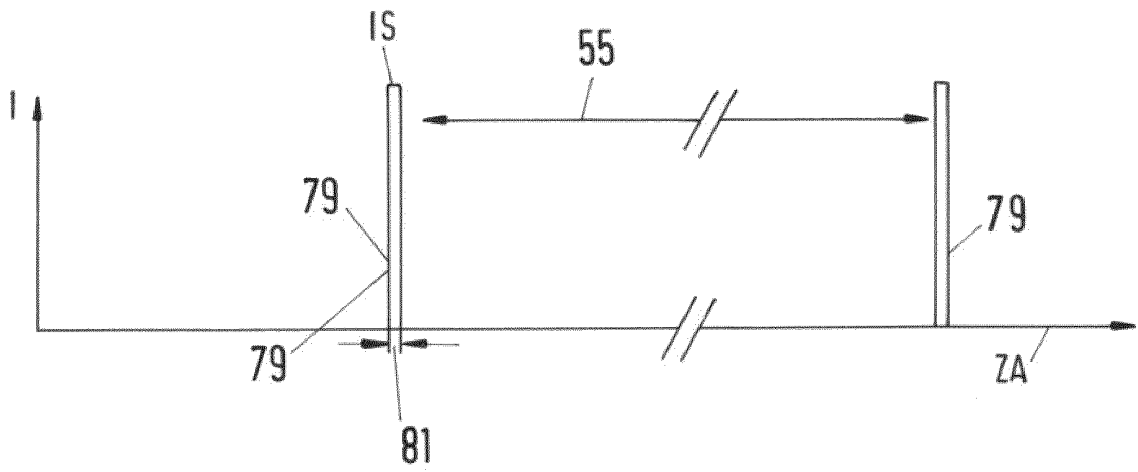


Fig.7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2017109119 A1 [0003]
- DE 102007042386 A1 [0003]
- EP 2738624 B1 [0003]
- EP 1475678 B1 [0003]
- EP 1970211 A1 [0003]
- DE 102018106430 A1 [0004]
- US 10391586 B1 [0006]
- WO 2014106517 A1 [0007]
- WO 2013017738 A1 [0008]