



(11) **EP 4 384 995 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
30.04.2025 Patentblatt 2025/18

(21) Anmeldenummer: **22758017.2**

(22) Anmeldetag: **26.07.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
G07D 7/1205^(2016.01) G07D 7/202^(2016.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
G07D 7/1205; G07D 7/205

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/IB2022/056898

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2023/017347 (16.02.2023 Gazette 2023/07)

(54) **VERFAHREN ZUR FESTSTELLUNG DER ECHTHEIT EINES OBJEKTS**

METHOD FOR DETERMINING THE AUTHENTICITY OF AN OBJECT

PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION DE L'AUTHENTICITÉ D'UN OBJET

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

(30) Priorität: **12.08.2021 DE 102021120981**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.06.2024 Patentblatt 2024/25

(73) Patentinhaber:
• **Leuchtstoffwerk Breitung GmbH**
98597 Breitung (DE)
• **Sensor-Instruments Entwicklungs- und Vertriebs-GmbH**
94169 Thurmansbang (DE)

(72) Erfinder:
• **DAUMANN, Benedikt**
94522 Wallersdorf (DE)

- **KAIB, Thomas**
99817 Eisenach (DE)
- **UHLICH, Dominik**
36448 Bad Liebenstein (DE)
- **BITZER, Thomas**
41066 Mönchengladbach (DE)
- **BRAUMANDL, Walter**
94169 Thurmansbang (DE)

(74) Vertreter: **Castell, Klaus**
Patentanwaltskanzlei Liermann-Castell
Oberstraße 135
52349 Düren (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 449 055 DE-A1- 102017 130 027
US-A1- 2019 162 864 US-B2- 10 457 087

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Echtheit eines Objektes, aufweisend die folgenden Verfahrensschritte: Markieren des Objektes mit einem ersten Leuchtstoff mit einem ersten zeitlichen Abklingverhalten, Markieren des Objektes mit einem zweiten Leuchtstoff mit einem zweiten Abklingverhalten, das sich vom ersten Abklingverhalten unterscheidet, Anregen der Leuchtstoffe mit einem Lichtimpuls, Ein-

messen der Nachleuchtintensitäten beider Leuchtstoffe zeitlich nach dem Anregen mit dem Lichtimpuls.
[0002] Zur fälschungssicheren Markierung von Objekten mit einem Echtheitsmerkmal ist es bekannt, nach Anregung nachleuchtende Leuchtstoffe einzusetzen und deren Abklingzeit durch zeitaufgelöste spektrale Vermessung numerisch zu charakterisieren. Schon das Herstellen eines Leuchtstoffes mit einer bestimmten, charakteristischen Nachleuchtzeit macht es einem Fälscher wirtschaftlich uninteressant, das Echtheitsmerkmal zu synthetisieren, wobei das Einstellen einer bestimmten Nachleuchtzeit als charakteristisches Stoffmerkmal keine triviale Aufgabe ist.

[0003] In der deutschen Offenlegungsschrift DE 10 2004 016 249 A1 wird ein Verfahren zur Echtheitsbestimmung von Objekten vorgestellt, das genau auf der Charakterisierung des Abklingverhaltens eines Leuchtstoffes basiert.

[0004] In dem US-Patent US 10,900,898B2 wird ein Verfahren zum Untersuchen eines Echtheitsmerkmals vorgestellt. Dabei werden Leuchtstoffe mit einem Modulationssignal angeregt und das Nachleuchten wird mit einem Lock-In-Verstärker verfolgt. Dadurch, dass die Leuchtstoffe ein festgelegtes Nachleuchten aufweisen, kann aus dem Phasenversatz des Nachleuchtens die Exponentialkonstante abgeleitet werden. Durch eine hohe Modulationsfrequenz kann die Zeit der Echtheitsbestimmung stark herabgesetzt werden.

[0005] Um das Fälschen eines solchen Echtheitsmerkmals weiter zu erschweren, wird in der deutschen Offenlegungsschrift DE 10 2017 130 027 A1 vorgeschlagen, bekannte Leuchtstoffe irreproduzierbar zu verändern. Die Veränderung findet statt durch thermisches, chemisches und oder rein mechanisches behandeln, wobei eine Degradation des Leuchtstoffes stattfindet. Durch diesen Degradationsschritt weist der so erhaltene Leuchtstoff kein typisches Abklingverhalten eines exponentiellen Prozesses erster Ordnung mehr auf, sondern ist vielmehr durch eine Summe von Prozessen erster Ordnung zu beschreiben. Der Intensitätsverlauf des Nachleuchtens entspricht somit nicht mehr einem Prozess erster Ordnung. Um die Echtheit eines mit einem solchen Leuchtstoff markierten Objektes festzustellen bedarf es einer hochgenauen Messtechnik, um das Abklingverhalten exakt zu charakterisieren und die Kurve, die das Nachleuchten als Funktion der Zeit bestimmt, ausreichend zu vermessen. Die hohe Anforderung an die Messtechnik verleiht dem Markierungsverfahren zwar

eine hohe Fälschungssicherheit, jedoch ist der breite Einsatz von entsprechenden Prüfgeräten entweder nicht wirtschaftlich oder aufgrund der hohen Anforderung an das Messsystem kaum zu erreichen. Für einen Einsatz bei einem hohen Durchsatz von Prüflingen steht die notwendige Messzeit dem hohen Durchsatz entgegen.

[0006] Beispielsweise können Geldscheinverarbeitungssysteme einen Geldschein mit einer Geschwindigkeit von ca. 12 m/s befördern, um die schiere Anzahl der Geldscheine in angemessener Zeit zu verarbeiten. Für eine Echtheitsüberprüfung in einem kleinen Bereich des Geldscheinbleibens bleiben somit nur wenige μs , um eine Echtheitsprüfung durchführen zu können. Um innerhalb von wenigen μs ein Signalverlauf numerisch zu charakterisieren, bedarf es abermals einer kürzeren Abklingzeit im Bereich von ns, um in dem kurzen zeitlichen Messfenster das Nachleuchten durch Mehrfachmessung statistisch zu präzisieren. Leuchtstoffe mit einem derart kurzen Abklingverhalten im ns-Bereich sind bekannt. Diese weisen auch ein so stabiles Abklingverhalten als intrinsische Stoffeigenschaft auf, dass eine Echtheitsprüfung möglich ist. Eine spektrale Vermessung von Abklingprozessen im ns-Bereich bei Lichtintensitäten mit Bestrahlungsstärken, bei denen Geldscheine nicht ausbleichen, läuft damit zwangsläufig auf eine Einzelphotonenmessung hinaus. Um aus einer diskreten Einzelphotonenmessung ein kontinuierliches Abklingverhalten abzuleiten und dieses numerisch zu charakterisieren, bedarf es einer Vielzahl von Messungen, um rein statistisch die Charakterisierung durchführen zu können. Das Verfahren ist ziemlich fälschungssicher, zumindest aber ist die Fälschung wirtschaftlich nicht durchführbar. Allerdings ist der Messaufwand zur Echtheitsprüfung ebenfalls recht hoch, was dem breiten Einsatz in der Fläche dieses Verfahrens entgegensteht. Zur Messung sind nämlich hochgenaue, messartefaktfreie und kalibrierte Messsysteme vonnöten. Diese basieren auf ebenso stabilen Sensoren mit einer hohen Linearität.

[0007] Es wäre wünschenswert, ein Verfahren zur Echtheitsbestimmung von Objekten zu haben, das auf Basis eines für einen Leuchtstoff individuellen Abklingverhaltens funktioniert, das aber mit einfacheren Messsystemen betreibbar ist.

[0008] Die US 2019/0162864 A1 offenbart ein Verfahren zur Echtheitsprüfung basierend auf dem Abklingverhalten von Leuchtstoffen. Dabei wird vorgeschlagen die Abklingzeit, die Wellenlänge der maximalen Emission oder das Verhältnis der Konzentrationen der Leuchtstoffe zu bestimmen.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Echtheitsbestimmung von Objekten zur Verfügung zu stellen, das auf Basis von in der Breite verfügbare Standardbauteilen durchführbar ist.

[0010] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen nach Anspruch 1. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen zu Anspruch 1 angegeben.

[0011] Nach dem Gedanken der Erfindung ist vorge-

sehen, dass ein Echtheitsmerkmal mindestens zwei verschieden nachleuchtende Leuchtstoffe aufweist. Damit wird das echttheitzumarkierende Objekt mit diesen beiden Leuchtstoffen markiert. Als Leuchtstoffe lassen sich sowohl Upkonversions-Leuchtstoffe einsetzen als auch Downkonversions-Leuchtstoffe, wie auch eine Kombination von Upkonversions-Leuchtstoffen und Downkonversions-Leuchtstoffen. Es ist dabei unwesentlich und daher vorteilhaft, ob die Markierung mit den verschiedenen Leuchtstoffen an verschiedenen Stellen oder an gleicher Stelle vorgenommen wird. Die verschiedenen Leuchtstoffe haben Emissionsbanden in verschiedenen Bereichen des Spektrums. Dadurch kann eine Trennung der Nachleuchtsignale beider Leuchtstoffe leicht vorgenommen werden, in dem ein Breitband-Detektor über einen ersten Filter das Signal eines ersten Leuchtstoffes und ein anderer Detektor über einen weiteren Filter das Signal eines weiteren Leuchtstoffes verfolgt. Anstelle den gegebenenfalls nicht mehr durch einen physikalischen Prozess erster Ordnung beschreibbaren Verlauf des Abklingverhaltens numerisch zu charakterisieren, ist nach dem Gedanken der Erfindung vorgesehen, eine Differenzbildung der Signale vorzunehmen. Dabei entsteht, wenn das Signal zweier zu einem Differenzsignal verbundener Signale auf Leuchtstoffen mit einer unterschiedlichen Sättigungsemission und unterschiedlichen zeitlichem Verlauf basiert, zwangsläufig ein Nulldurchgang. Ein Nulldurchgang ist messtechnisch auch bei sehr kurzen oder hochfrequenten Signalen gut zu detektieren. Der Vorteil der Differenzbildung ist, dass die Differenzbildung artefaktfrei oder zumindest stark artefaktarm ist. Denn beide Detektoren können so aufgebaut werden, dass sie den gleichen Artefakten unterliegen. So kann ein nichtlinearer Detektor oder ein Detektor, dessen Linearität eine nicht so hohe Güte aufweist, verwendet werden. Selbst dann, wenn einfache Detektoren eine ausreichende Linearität aufweisen, so ist die Hochfrequenzelektronik zur Verfolgung des Signals im ns-Bereich an sehr vielen Stellen anfällig, ein Signal systemisch nichtlinear abzubilden. Durch die Differenzbildung heben sich die Artefakte gegenseitig auf. Der tatsächliche gemessene Nulldurchgang der Differenz beider Signale ist sehr stark von dem tatsächlichen Verlauf des Nachleuchtens beider Signale abhängig und weniger von der Signalverarbeitung in einer Elektronik. Das macht es möglich, mit in der Breite verfügbaren Mitteln die Echtheitsüberprüfung durchzuführen. Die Differenzbildung der Signale wird hier zur Detektion eines zwischen zwei Signalverläufen gleich hohen Signals zu einem bestimmten Zeitpunkt t eingesetzt. Diese Detektion kann durch Bilden der Differenz beider Signale und Bestimmen des Nulldurchgangs durchgeführt werden oder aber durch einen Vergleich der beiden Signale. Aus Sicht der einzusetzenden Elektronik ist es ein geringfügiger Unterschied, ob tatsächlich ein erstes Signal von einem zweiten Signal subtrahiert und der Nulldurchgang festgestellt wird oder ob die identische Signalhöhe durch ein Identitätssignal eines Komparators festgestellt

wird. Beide Techniken, die Signaldifferenzschaltung als auch die Komparatorschaltung sind in der Elektronik wohlbekannt und als zueinander äquivalent zu betrachten, wenn es um die Detektion des Nulldurchgangs eines Differenzsignals aus zwei Signalen geht oder der Detektion der identischen Signalhöhe zweier Signale durch ein Identitätssignal eines Komparators.

[0012] Wird ein irreversibel veränderter Leuchtstoff eingesetzt, so ist dieser, selbst dann, wenn der Zeitpunkt des Nulldurchgangs / des Identitätssignals durch eine Kombination anderer Leuchtstoffe durch eine Fälschung simuliert wird, nicht "verloren". Es ist möglich, durch eine andere Kombination zweier an sich bekannter irreversibel veränderter Leuchtstoffe ein neues Echtheitsmerkmal zu erzeugen. Es kommt nämlich auf die Kombination und den sich daraus ergebenden Nulldurchgang / das daraus ergebende Identitätssignal an. Der originale Leuchtstoff verliert selbst bei einer einmal gelungenen Fälschung nicht sofort an Relevanz. Es ist denkbar, dass eine Echtheitsprüfung mit zwei oder mehr als zwei Leuchtstoffen, Anzahl n , durchgeführt wird, wobei sich n über 2 Kombinationen für einen Nulldurchgang / ein Identitätssignal ergeben. Bei drei Leuchtstoffen ergeben sich 3 Nulldurchgänge, bei 4 Leuchtstoffen ergeben sich 6 Nulldurchgänge und bei 5 Leuchtstoffen ergeben sich bereits 10 Nulldurchgänge. Mit einer überschaubaren Anzahl verschiedener Leuchtstoffe ergibt sich also eine sehr schwer zu simulierende Anzahl von Nulldurchgängen verschiedener Nachleuchtsignale.

[0013] Um ein Reverse-Engineering der eingesetzten Leuchtstoffe zu erschweren, kann in vorteilhafter Weise vorgesehen sein, das mindestens einer der eingesetzten Leuchtstoffe ein Abklingverhalten zeigt, welches durch eine Linearkombination verschiedener exponentieller Abklingverhalten erster Ordnung beschrieben werden kann, gemäß folgendem Nachleuchtverhalten

$$I_t = \sum_{i=0}^n I_{0,i} e^{-k_i t}$$

mit

$I(t)$ Intensität I zum Zeitpunkt t

i Index über eine Anzahl n verschiedener Prozesse

n Anzahl der Prozesse

I_0 Sättigungsintensität zum Zeitpunkt $t = 0$

k_i Abklingkonstante des Prozesses i aus n

t Zeit

e Basis des natürlichen Logarithmus

wobei sämtliche k_i voneinander verschieden sind. Dabei entspricht I_t der Nachleuchtintensität nach Anregung, $I_{0,i}$ entspricht der Sättigungsintensität oder der Anfangsintensität, e der Basis des natürlichen Logarithmus, k_i einer Konstante und t der Zeit.

[0014] Es ist möglich, mit Leuchtstoffen zu arbeiten, die sich im Emissionsbereich stark überlappen, wobei jedoch unterschiedliche Peaks (Emissionsmaxima) ein unterschiedliches Abklingverhalten zeigen. Für eine optimale Trennung der Signale kann vorgesehen sein, dass sich die Emissionsbanden der eingesetzten Leuchtstoffe möglichst wenig überlappen, wobei eine Überlappung der Emissionsbanden verschiedener Leuchtstoffe von weniger als 20% bevorzugt ist, und besonders bevorzugt ist eine Überlappung weniger als 5%, bezogen auf die Fläche unter der jeweils normierten Emissionsbande bei einer Auftragung der Emissionsbande über die Wellenzahl ν . Das hier vorgestellte Verfahren lässt sich einsetzen für Leuchtstoffe mit Halbwertszeiten des Abklingverhaltens im ms-Bereich, im μ s-Bereich und im ns-Bereich. So können die Halbwertszeiten im Bereich zwischen 1 ms und 1.000 ms liegen, im Bereich zwischen 1 μ s und 1.000 μ s liegen oder im Bereich zwischen 1 ns und 1.000 ns liegen.

[0015] Zur Messung bieten sich neben der Einzelmessung der Zeiten für Nulldurchgänge prinzipiell zwei verschiedene Verfahren an.

[0016] Ein erstes Verfahren umfasst das Anregen der Leuchtstoffe mit einer Folge rechteckförmiger Lichtimpulse, wobei der zeitliche Abstand zweier aufeinander folgender Lichtimpulse, gemessen zwischen dem Halbwertszeitpunkt der abfallenden Flanke eines vorhergehenden Lichtimpulses und dem Halbwertszeitpunkt einer aufsteigenden Flanke eines nachfolgenden Lichtimpulses, größer ist als die Zeit des durch die Abklingverhalten der eingesetzten Leuchtstoffe zu erwartenden Nulldurchgangs / zu erwartenden Identitätssignals nach Anregen mit dem vorhergehenden Lichtimpuls, wobei der zeitliche Abstand je zweier aufeinander folgender Lichtimpulse zufällig oder pseudozufällig ist. Das zufallsmodulierte Signal hilft bei der Auswertung des Hochfrequenzsignals ein mit einer Messung zwangsläufig einhergehendes Rauschen zu glätten und so das Ergebnis statistisch zu präzisieren. Ein Lichtimpuls zum Anregen kann ein schmalbandiger Lichtimpuls aus einem Ultraschall-Laser sein oder auch ein Lichtimpuls einer Leuchtdiode. Die spektrale Bandbreite des Lichtimpulses sollte möglichst schmalbandig sein. Der Lichtimpuls eines Lasers ist als monochromatisch aufzufassen, wobei auch ein Laser eine physikalisch bedingte Bandbreite aufweist, die bei einer Auftragung der Lichtintensität über die Wellenzahl (Frequenz) nahezu gaussförmig ist, also durch eine gauss'sche Verteilungsfunktion beschrieben werden kann, und dabei eine Halbwertsbreite von 10 nm bis herunter zu 2 nm aufweisen kann. Abweichungen ergeben sich aus der Boltzmann-Verteilung und aus bauartbedingten Artefakten des Lasers. Leuchtdioden haben eine größere Bandbreite. Auch hier ist die Ver-

teilung der Lichtintensität bei einer Auftragung über der Wellenzahl etwa gaussförmig. Bei einer Gaussannäherung der tatsächlichen Wellenlängenverteilung mit einem RMS-Fehler von weniger als 5 % beträgt die Bandbreite einer Leuchtdiode zwischen 10 nm Halbwertsbreite der annähernden Gaussfunktion bis 50 nm Halbwertsbreite der annähernden Gaussfunktion. Als besondere Anregungswellenlängen eignen sich bei Einsatz von Leuchtdioden oder Laserdioden die Wellenlänge von 640 nm (rot), 530 nm (grün) 460 nm bis 480 nm (blau) im visuellen Bereich und 940 nm und 980 nm, die letzten beide im NIR-Bereich. Diese Wellenlängen stammen aus bekannten Leuchtdioden / Laserdioden, welche eine besondere Langzeitstabilität aufweisen. Zur Anregung ist es möglich, einen schmalbandigen Lichtimpuls bei einer zentralen Wellenlänge des Lichtimpulses mit einer zuvor genannten Bandbreite einzusetzen als auch eine Kombination von mindestens zwei oder mehr schmalbandigen Lichtimpulsen mit je einer zuvor genannten Bandbreite.

[0017] Ein zweites Verfahren umfasst das Anregen der Leuchtstoffe mit einem regelmäßigen, sinusförmigen Anregungssignal, dessen unterer Scheitelpunkt des sinusförmigen Verlaufs bei etwa Null liegt, und das Bestimmen des Phasenversatzes zwischen dem oberen Scheitelpunkt des Anregungssignals und des Nulldurchgangs des Differenzsignals bzw. des Identitätssignals. Solche Messtechniken können mit Lock-In-Verstärkern durchgeführt werden, wobei der Phasenversatz in Verbindung mit der der Frequenz des Lock-In-Verstärkers auf den Nulldurchgang bzw. auf das Identitätssignal schließen lässt.

[0018] Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren näher erläutert. Es zeigt:

- Fig. 1 Emissionsspektren dreier beispielhafter Leuchtstoffe mit schmalen Emissionsbanden,
- Fig. 2 ein Signaldiagramm zur Verdeutlichung der Signalbildung aus den verschiedenen Abklingverhalten der eingesetzten Leuchtstoffe,
- Fig. 3 ein Signaldiagramm zur Verdeutlichung der Zufallsmodulation,
- Fig. 4 ein Signaldiagramm zur Verdeutlichung der Sinusmodulation,
- Fig. 5 ein Signaldiagramm zur Verdeutlichung des Unterschiedes der Abklingverhalten eines Prozesses erster Ordnung und eines Leuchtstoffes, der eine irreversible Degradation durchlaufen ist.
- Fig. 6 ein erstes beispielhaftes Objekt mit einer Markierung nach dem Gedanken der Erfindung,
- Fig. 7 ein zweites beispielhaftes Objekt mit einer

Markierung nach dem Gedanken der Erfindung,

Fig. 8 ein drittes beispielhaftes Objekt mit einer Markierung nach dem Gedanken der Erfindung,

Fig. 9 ein viertes beispielhaftes Objekt mit einer Markierung nach dem Gedanken der Erfindung,

[0019] In **Figur 1** sind drei Emissionsspektren dreier beispielhafter Leuchtstoffe L1, L2 und L3 mit jeweils einer schmalen Emissionsbande $I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$ und $I(\lambda_3)$ gezeigt. Diese Leuchtstoffe können entweder Upkonversionsleuchtstoffe sein, die im IR-Bereich bis in den VIS-Bereich hinein anregbar sind und die im VIS-Bereich bis in den UV-Bereich nach Anregung eine Emission zeigen. Upkonversionsleuchtstoffe haben aufgrund der Upkonversion von geringerer Anregungsenergie zu höherer Emissionsenergie pro Photon eine in der Regel geringe Konversionsrate im Bereich von 1 bis 5%. Diese Konversionsrate genügt jedoch, um eine Echtheitsüberprüfung durchführen zu können. Für eine optimale Signaltrennung und zur Vermeidung einer Kaskade von Anregung, Emission und erneuter Anregung eines weiteren Leuchtstoffes durch die Emission des ursprünglichen Leuchtstoffes kann vorgesehen sein, dass sich die Emissionsbanden möglichst wenig überlappen. Die Überlappung lässt sich am besten in einer Auftragung der Emissionsbande über der Wellenzahl ν definieren, da bei der Auftragung über der Wellenlänge eine Verzerrung und Überbewertung der langwelligen Anteile in Bezug auf die Energieverteilung der abgestrahlten Photonen geschieht. Die Überlappung der Emissionsbanden ist in dem hier gezeigten Beispiel weniger als 20% bezogen auf die normierten Emissionsbanden. Nach der Erfindung besonders bevorzugt 5% bezogen auf die normierten Emissionsbanden.

[0020] In **Figur 2** ist ein Signaldiagramm zur Verdeutlichung der Signalbildung aus den verschiedenen Abklingverhalten der eingesetzten Leuchtstoffe L1, L2 und L3 gezeigt. Die linke Abszisse zeigt die Intensität I des Nachleuchtens an. Der erste Leuchtstoff L1 hat ein natürliches Abklingverhalten gemäß einem Prozess erster Ordnung, wobei das Abklingverhalten durch die Kurve für die Nachleuchtintensität $I(\lambda_1, t)$ gezeigt ist. Diese Kurve basiert auf der höchsten Sättigungsintensität I_0 bei $t=0$, wobei die Halbwertszeit für die Abklingkurve die kürzeste ist. Der zweite Leuchtstoff L2 hat ein natürliches Abklingverhalten gemäß einem Prozess erster Ordnung, wobei das Abklingverhalten durch die Kurve für die Nachleuchtintensität $I(\lambda_2, t)$ gezeigt ist. Diese Kurve basiert auf einer mittleren Sättigungsintensität I_0 bei $t=0$, wobei die Halbwertszeit für die Abklingkurve hier im Mittelfeld liegt. Der dritte Leuchtstoff L3 hat schließlich ebenfalls ein natürliches Abklingverhalten gemäß einem Prozess erster Ordnung das durch die Kurve für die Nachleuchtintensität $I(\lambda_3, t)$ gezeigt ist. Diese dritte Kurve basiert auf der geringsten Sättigungsintensität I_0 bei $t=0$, wobei die

Halbwertszeit für die Abklingkurve hier die längste ist.

[0021] Das hier gezeigte Diagramm zeigt Leuchtstoffe mit kurzen Nachleuchtzeiten im ns-Bereich. Etwa bei $t = 19$ ns treffen sich die Kurven der Nachleuchtintensität $I(\lambda_1, t)$ und $I(\lambda_2, t)$. Aus diesen beiden Kurven lässt sich ein Differenzsignal $\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$ ableiten. Die rechte Abszisse zeigt diesen Differenzwert an. Das erste Differenzsignal $\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$ aus den beiden Nachleuchtintensität $I(\lambda_1, t)$ und $I(\lambda_2, t)$ hat an identischer Stelle, nämlich bei $t = 19$ ns einen Nulldurchgang, der sich elektronisch gut ermitteln lässt. Analog zur Bildung der Differenzsignals $\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$ lassen sich zwei weitere Differenzsignale $\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_3, t))$ und $\Delta(I(\lambda_2, t), I(\lambda_3, t))$ aus den Kurven der Nachleuchtintensitäten $I(\lambda_1, t)$ und $I(\lambda_3, t)$ und aus den Kurven der Nachleuchtintensitäten $I(\lambda_2, t)$ und $I(\lambda_3, t)$ bilden. Mit den drei verschiedenen Leuchtstoffen L1, L2 und L3 lassen sich also drei Nulldurchgänge von Signalen bilden, die als physikalische oder intrinsische Stoffkonstanten festgelegt und unveränderbar sind und die Vergleichsweise einfach mit einfachen Mitteln auch bei hoher Frequenz ermittelbar sind, weil sich Artefakte bei der Messung aufheben.

[0022] In **Figur 3** ist ein Signaldiagramm zur Verdeutlichung der Zufallsmodulation gezeigt. In diesem Diagramm sind die Anregungen als weiß hinterlegte Rechtecksignale gezeigt, die zufallsmoduliert sind. Dabei ist die Anregungsdauer stets gleich lang, die weiß hinterlegten Anregungsimpulse haben die gleiche Breite. Der zeitliche Abstand zwischen einem Halbwertszeitpunkt H_{td} einer abfallenden Flanke der weiß hinterlegten Anregungsimpulse und einer Halbwertszeit H_{tu} einer darauf folgenden aufsteigenden Flanke eines weiß hinterlegten Anregungsimpulses variiert jedoch zufällig oder zumindest pseudozufällig. Die Zeiten der aufsteigenden Flanken der Anregungsimpulse zu $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ sind also zufällig gewählt. Jeweils einem Anregungssignal folgt ein Signal der Relaxation des jeweiligen Leuchtstoffes mit einer Nachleuchtintensität $I(\lambda_1, t)$. Dieses modulierte Zufallssignal kann durch eine Auswerteelektronik ausgelesen werden. In diesem Diagramm ist nur die Relaxation eines ersten Leuchtstoffes gezeigt. Ein fast identisches Signaldiagramm würde sich für die Relaxation eines zweiten Leuchtstoffes ergeben, wobei die Relaxationszeiten anders sind. Erst ein Differenzsignal aus $I(\lambda_1, t)$ und $I(\lambda_2, t)$ ergibt das Differenzsignal $\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$ in welchem der Nulldurchgang sicher bestimmt werden kann.

[0023] In **Figur 4** ist ein Signaldiagramm zur Verdeutlichung der Sinusmodulation dargestellt. Bei der Sinusmodulation findet die Anregung nicht durch Rechteckimpulse statt, wodurch die Anregung und die Relaxation streng voneinander getrennt sind, sondern bei der Sinusmodulation wird das Anregungssignal sinusartig moduliert, wobei der untere Scheitelpunkt S_u der Sinusmodulation ungefähr bei null liegt. Schon während der Anregung findet eine Relaxation des Leuchtstoffes statt. Bei dieser Modulation lässt sich ein Phasenversatz feststellen, beispielsweise durch einen Lock-In-Verstärker. Der

Phasenversatz ist hier nicht definierbar wie beim Phasenversatz zweier Sinussignale, die eine feste, zeitliche Beziehung ihrer Nulldurchgänge haben. Vielmehr kann ein Phasenversatz $\Delta\varphi$ beschrieben werden durch den Abstand zwischen dem oberen Scheitelpunkt S_0 und dem Nulldurchgang durch die Differenzbildung zweier Relaxationssignale zweier verschiedener Leuchtstoffe, in dem die Differenz $\varphi_{\lambda 1, \lambda 2}$ gebildet wird aus der Nachleuchtintensität $I(\lambda 1, t)$ für einen ersten Leuchtstoff L1 und aus der Nachleuchtintensität $I(\lambda 2, t)$ für einen zweiten Leuchtstoff L2. Der Abstand zwischen dem Zeitpunkt t für φ_0 und dem Zeitpunkt für $\varphi_{\lambda 1, \lambda 2} = 0$ kann als charakteristischer Phasenversatz herangezogen werden, weil der Zeitpunkt des Scheitelpunkts S_0 durch ein Nulldurchgang eines Differentialsignals, hier ein Cosinussignal leicht feststellbar ist. Ein Differentialsignal kann durch eine in Resonanz befindliche Spulen- oder Kondensatorschaltung erreicht werden. Der Bezug auf das Differentialsignal S_0 und dem Nulldurchgang ermöglicht, den durch die Emission überlagerten Wendepunkt des Anregungssignals zu ignorieren.

[0024] In **Figur 5** ist ein Signaldiagramm zur Verdeutlichung des Unterschiedes der Abklingverhalten eines Prozesses erster Ordnung und eines Leuchtstoffes gezeigt, wobei der zuletzt genannte Leuchtstoff eine irreversible Degradation durchlaufen ist.

[0025] Das Signal des ersten Leuchtstoffes, der einem Prozesses erster Ordnung gehorcht, wird beschrieben durch eine Funktion für das Nachleuchten gemäß

$$I(t) = I_0 e^{-kt}$$

mit

$I(t)$ Intensität I zum Zeitpunkt t

I_0 Sättigungsintensität zum Zeitpunkt $t = 0$

k Abklingkonstante

t Zeit

e Basis des natürlichen Logarithmus

[0026] Das Signal des zweiten Leuchtstoffes, der durch Degradation nicht einem Prozess erster Ordnung gehorcht, wird beschrieben durch eine Funktion für das Nachleuchten gemäß

$$I(t) = \sum_{i=1}^n I_{0,i} e^{k_i t}$$

mit

$I(t)$ Intensität I zum Zeitpunkt t

i Index über eine Anzahl n verschiedener Prozesse

n Anzahl der Prozesse

I_0 Sättigungsintensität zum Zeitpunkt $t = 0$

k_i Abklingkonstante des Prozesses i aus n

t Zeit

e Basis des natürlichen Logarithmus

wobei hier eine Summe aus Prozessen erster Ordnung besteht. Je nach Art der Degradation kann aber auch die Sättigungsintensität variieren gemäß

$$I(t) = \sum_{i=1}^n I_{0,i} e^{k_i t}$$

mit

$I(t)$ Intensität I zum Zeitpunkt t

i Index über eine Anzahl n verschiedener Prozesse

n Anzahl der Prozesse

$I_{0,i}$ Sättigungsintensität des Prozesses i aus n zum Zeitpunkt $t = 0$

k_i Abklingkonstante des Prozesses i aus n

t Zeit

[0027] Der Signalverlauf der Summe aus Prozessen erster Ordnung ist nicht mehr durch eine abklingende e-Funktion beschreibbar. Um den exakten Verlauf der Kurve zu messen, fehlt es der Messung an einer klaren Gesetzmäßigkeit. Folglich kann die Summenkurve nicht durch Regressionsrechnung der Ergebnisse aus einer Vielzahl von Einzelmessungen bestimmt werden. Die Anforderung an die Messgenauigkeit zur Charakterisierung der Summenkurve ist also sehr erheblich, da statistische Methoden zur Kurvenbestimmung und deren Glättung gegebenenfalls fehlen. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird der Messaufwand auf die zeitliche Bestimmung von Nulldurchgängen reduziert, wobei die Nulldurchgänge durch Differenzbildung zweier Signale aus den Leuchtstoffen selbst erzeugt werden.

[0028] In **Figur 6** ist eine Verwendung des Sicherheitsmerkmals durch Markieren mit mindestens zwei Leuchtstoffen mit verschiedenem Abklingverhalten auf einem beispielhaften Geldschein 500 gezeigt. Das Sicherheitsmerkmal 100 ist dort angeordnet, wo bei vielen Geldscheinen 500 ein klassisches Wasserzeichen angeordnet ist, das von beiden Seiten des Geldscheines 500 aus gegen das Licht sichtbar ist.

[0029] In **Figur 7** ist eine Verwendung des durch Markieren mit mindestens zwei Leuchtstoffen mit verschiedenem Abklingverhalten auf einer beispielhaften Konzertkarte 600 gezeigt. Die Markierung ist dort angeordnet, wo bei vielen Konzertkarten 600 ein Hologramm als Sicherheitsmerkmal angeordnet ist, das einseitig sichtbar ist.

[0030] In **Figur 8** ist eine Verwendung des Sicherheitsmerkmals durch Markieren mit mindestens zwei Leuchtstoffen mit verschiedenem Abklingverhalten auf einer beispielhaften Medikamentendose gezeigt. Da viele Me-

dikamentendosen gefärbt, aber klar sind, kann die Markierung entweder nur nach vorne oder nur durch die Medikamentendose hindurch angesehen werden.

[0031] In **Figur 9** ist schließlich eine Verwendung des Sicherheitsmerkmals durch Markieren mit mindestens zwei Leuchtstoffen mit verschiedenem Abklingverhalten auf einem beispielhaften Etikett für eine Ware gezeigt, hier ein Etikett für einen modernen Schuh. Anstelle des Schuhs kommen auch hochpreisige Waren in Betracht, wie Schmuck oder Uhren. Aber auch hochpreisige Lebensmittel können mit einem erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmal auf einem Etikett ausgezeichnet werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0032]

500	Objekt	
600	Objekt	
700	Objekt	
800	Objekt	
$\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$	Differenzsignal	
$\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_3, t))$	Differenzsignal	
$\Delta(I(\lambda_2, t), I(\lambda_3, t))$	Differenzsignal	
e	Basis des natürlichen Logarithmus	
$I(\lambda_1, t)$	Nachleuchtintensität	
$I(\lambda_2, t)$	Nachleuchtintensität	
$I(\lambda_1)$	Emissionsbande	
$I(\lambda_2)$	Emissionsbande	
$I(\lambda_3)$	Emissionsbande	
I_0	Sättigungsintensität	
$I_{\sin}$	Anregungssignal	
k	Abklingkonstante	
k_i	Abklingkonstante des Prozesses i aus n	
λ	Wellenlänge	
n	Anzahl der Prozesse	
L1	Leuchtstoff	
L2	Leuchtstoff	
L3	Leuchtstoff	
v	Wellenzahl	
Su	unterer Scheitelpunkt	
So	oberer Scheitelpunkt	
t	Zeit	
$t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$	Zeit des Nulldurchgangs	
t_{Htd}	Halbwertszeitpunkt der abfallenden Flanke	
t_{Htu}	Halbwertszeitpunkt der aufsteigenden Flanke	

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Echtheit eines Objektes (500, 600, 700, 800), aufweisend die folgenden Verfahrensschritte

- **Markieren** des Objektes (500, 600, 700, 800) mit einem ersten Leuchtstoff (L1) mit einem ersten zeitlichen Abklingverhalten,
- **Markieren** des Objektes (500, 600, 700, 800) mit einem zweiten Leuchtstoff (L2) mit einem zweiten Abklingverhalten, das sich vom ersten Abklingverhalten unterscheidet,
- **Anregen** der Leuchtstoffe (L1, L2) mit einem Lichtimpuls,
- **Einmessen** der Nachleuchtintensitäten ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$) beider Leuchtstoffe (L1, L2) zeitlich nach dem Anregen mit dem Lichtimpuls,

gekennzeichnet durch

- **Bilden** eines Differenz- ($\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) oder Identitätssignals aus den über die vergangene Zeit (t) eingemessenen Nachleuchtintensitäten ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$),
- **Bestimmen** der Zeit ($t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) eines Nulldurchgangs des Differenzsignals ($\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) bzw. der Zeit ($t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) des Identitätssignals eines Komparators, wobei im letzten Fall eine identische Signalthöhe durch ein Identitätssignal eines Komparators festgestellt wird,
- **Vergleichen** der durch den Nulldurchgang bzw. durch das Identitätssignal bestimmten Zeit ($t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) mit einem Sollwert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

Markieren des Objektes (500, 600, 700, 800) mit mindestens einem weiteren Leuchtstoff (L3) mit einem weiteren Abklingverhalten, das sich von den Abklingverhalten der weiteren Leuchtstoffe unterscheidet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch

Verwenden mindestens eines Leuchtstoffes (L1, L2, L3), dessen Abklingverhalten durch eine Linearkombination verschiedener exponentieller Abklingverhalten erster Ordnung entspricht gemäß

$$I_t = \sum_{i=0}^{\infty} I_{0,i} e^{-k_i t}$$

wobei sämtliche k_i voneinander verschieden sind, mit

I_t Nachleuchtintensität nach Anregung,
 $I_{0,i}$ Sättigungsintensität oder der Anfangsintensität des Prozesses i aus n Prozessen,
 k_i Abklingkonstante des Prozesses i aus n Prozessen

n Anzahl von Prozessen

t Zeit.

e Basis des natürlichen Logarithmus,

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

gekennzeichnet durch

eine Überlappung der Emissionsbanden ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) verschiedener Leuchtstoffe (L1, L2, L3) von weniger als 20%, bevorzugt von weniger als 5%, bezogen auf die Fläche unter der jeweils normierten Emissionsbande ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) bei einer Auftragung der Emissionsbande ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) über die Wellenzahl v.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

gekennzeichnet durch

Anregen der Leuchtstoffe (L1, L2, L3) mit einer Folge rechteckförmiger Lichtimpulse, wobei

- der zeitliche Abstand (t_1 , t_2 , $t_3 \dots t_n$) zweier aufeinander folgender Lichtimpulse,

gemessen zwischen

dem Halbwertszeitpunkt (t_{Htd}) der abfallenden Flanke eines vorhergehenden Lichtimpulses und

dem Halbwertszeitpunkt (t_{Hu}) einer aufsteigenden Flanke eines nachfolgenden Lichtimpulses,

größer ist als die Zeit ($t_{\Delta 0}$ ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$)) des durch die Abklingverhalten der eingesetzten Leuchtstoffe (L1, L2, L3) zu erwartenden Nulldurchgangs / zu erwartenden Identitätssignals nach Anregen mit dem vorhergehenden Lichtimpuls,

wobei der zeitliche Abstand je zweier aufeinander folgender Lichtimpulse zufällig oder pseudozufällig ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

gekennzeichnet durch

- **Anregen** der Leuchtstoffe (L1, L2, L3) mit einem regelmäßigen, sinusförmigen Anregungssignal (I_{sin}), dessen unterer Scheitelpunkt (S_u) des sinusförmigen Verlaufs bei etwa Null liegt,

- **Bestimmen** des Phasenversatzes ($\Delta\varphi$) zwischen dem oberen Scheitelpunkt (S_o) des Anregungssignals (φ_0) und des Nulldurchgangs des Differenzsignals ($t_{\Delta 0}$ ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$)) bzw. des Identitätssignals eines Komparators bei $\varphi_{\lambda 1, \lambda 2}$.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

gekennzeichnet durch

Verwenden von Leuchtstoffen (L1, L2, L3), deren Halbwertszeit ($t_{1/2}$) aller Leuchtstoffe bezogen auf das Nachlassen der Leuchtintensität nach Anregen mit einem Lichtimpuls im Bereich zwischen 1 ms und 1.000 ms liegt, im Bereich zwischen 1 μ s und 1.000 μ s liegt oder im Bereich zwischen 1 ns und 1.000 ns liegt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

gekennzeichnet durch

Verwenden von Leuchtstoffen (L1, L2, L3), deren Sättigungsintensität I_0 unterschiedlich ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

gekennzeichnet durch

Verwenden von Upkonversions-Leuchtstoffen als Leuchtstoffe (L1, L2, L3), im UV-, VIS- und/oder IR-Bereich des Lichtspektrums anregbar sind und die im UV-Bereich, im VIS-Bereich bis in den UV-Bereich nachleuchten.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

gekennzeichnet durch

Verwenden von Downkonversions-Leuchtstoffen (L1, L2, L3), die im IR-Bereich, im VIS-Bereich bis in den UV-Bereich anregbar sind und im UV-Bereich, im VIS-Bereich und/oder im IR-Bereich nachleuchten.

Claims

1. A method for determining the authenticity of an object (500, 600, 700, 800), comprising the following method steps

- **marking** the object (500, 600, 700, 800) with a first phosphor (L1) having a first temporal decay behaviour,

- **marking** the object (500, 600, 700, 800) with a second phosphor (L2) having a second decay behaviour which differs from the first decay behaviour,

- **exciting** of the phosphors (L1, L2) with a light pulse,

- **measuring** the afterglow intensities ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$) of both phosphors (L1, L2) after excitation with the light pulse,

characterised by

- **forming** a difference ($\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) or identity signal from the afterglow intensities ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$) measured over the elapsed time (t),

- **determining** the time ($t_{\Delta 0}$ ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$)) of a zero crossing of the difference signal ($\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) or the time ($t_{\Delta 0}$ ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$)) of the identity signal of a comparator, wherein in the latter case an identical signal level is determined

by an identity signal of a comparator,
 - **comparing** the time ($t_{\Delta 0} (I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) determined by the zero crossing or by the identity signal with a target value.

5

2. The method according to claim 1,

characterised by

marking the object (500, 600, 700, 800) with at least one additional phosphor (L3) having an additional decay behaviour which differs from the decay behaviours of the other phosphors.

10

3. The method according to claim 1 or 2,

characterised by

using at least one phosphor (L1, L2, L3), the decay behaviour of which corresponds by a linear combination of different first-order exponential decay behaviours according to

15

$$I_t = \sum_{i=0}^n I_{0,i} e^{-k_i t}$$

20

wherein all k_i are different from one another,
 with

I_t afterglow intensity after excitation

$I_{0,i}$ saturation intensity or of the initial intensity of process i among n processes. K_i decay constant of process i among n processes

25

n number of processes

t time

e base of the natural logarithm.

30

4. The method according to one of the claims 1 to 3,
characterised by

an overlap of the emission bands ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) of different phosphors (L1, L2, L3) of less than 20%, preferably of less than 5%, relative to the area under the respective normalised emission band ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) when the emission band ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) is plotted over the wave number ν .

35

5. The method according to one of the claims 1 to 4,
characterised by

45

exciting the phosphors (L1, L2, L3) with a sequence of rectangular light pulses, wherein

- the time interval ($t_1, t_2, t_3 \dots t_n$) between two successive light pulses,

50

measured between
 the half-value time (t_{Htd}) of the falling edge of a previous light pulse and
 the half-value time (Htu) of an ascending edge of a subsequent light pulse,

55

is greater than the time ($t_{\Delta 0} (I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) of the zero crossing / identity signal to be expected from the decay behaviour of the used phosphors (L1, L2, L3) after excitation with the preceding light pulse,

wherein the time interval between two successive light pulses is random or pseudorandom.

6. The method according to one of the claims 1 to 5,
characterised by

- exciting the phosphors (L1, L2, L3) with a regular, sinusoidal excitation signal (I_{sin}), the sinusoidal curve of which has a lower peak (S_u) of approximately zero,

- **determining** the phase offset ($\Delta\phi$) between the upper peak (S_o) of the excitation signal (ϕ_0) and the zero crossing of the difference signal ($t_{\Delta 0} (I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) or the identity signal of a comparator, with $\phi_{\lambda 1}, \lambda_2$.

7. The method according to one of the claims 1 to 6,
characterised by

using phosphors (L1, L2, L3) whose half-life ($t_{1/2}$) of all phosphors in relation to the decrease in luminous intensity after excitation with a light pulse is in the range of 1 ms to 1,000 ms, in the range of 1 μ s to 1,000 μ s or in the range of 1 ns to 1,000 ns.

25

8. The method according to one of the claims 1 to 7,
characterised by

using phosphors (L1, L2, L3) whose saturation intensity I_0 is different.

35

9. The method according to one of the claims 1 to 8,
characterised by

using upconversion phosphors as phosphors (L1, L2, L3) which can be excited in the UV, VIS and/or IR range of the light spectrum and which luminesce in the UV range, in the VIS range and into the UV range.

40

10. The method according to one of the claims 1 to 7,
characterised by

using downconversion phosphors (L1, L2, L3) which can be excited in the IR range, in the VIS range and into the UV range and luminesce in the UV range, in the VIS range and/or in the IR range.

45

50

Revendications

1. Procédé pour déterminer l'authenticité d'un objet (500, 600, 700, 800), présentant les étapes de procédé suivantes :

- **le marquage** de l'objet (500, 600, 700, 800)

avec un premier phosphore (L1) ayant un premier comportement de décroissance dans le temps,

- **le marquage** de l'objet (500, 600, 700, 800) avec un second phosphore (L2) ayant un second comportement de décroissance qui diffère du premier comportement de décroissance,

- **l'excitation** des phosphores (L1, L2) par une impulsion lumineuse,

- **la mesure** des intensités de rémanence ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$) des deux phosphores (L1, L2) dans le temps après l'excitation par l'impulsion lumineuse,

caractérisé par

- **la formation** d'un signal de différence ($\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) ou d'identité à partir des intensités de rémanence ($I(\lambda_1, t)$, $I(\lambda_2, t)$) mesurées pendant le temps écoulé (t),

- **la détermination** du temps ($t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) d'un passage par zéro du signal de différence ($\Delta(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) ou du temps ($t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) du signal d'identité d'un comparateur, où, dans le dernier cas, une hauteur de signal identique est déterminée par un signal d'identité d'un comparateur,

- **la comparaison** du temps ($t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) déterminé par le passage par zéro ou par le signal d'identité avec une valeur prescrite.

2. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé par

le marquage de l'objet (500, 600, 700, 800) avec au moins un autre phosphore (L3) ayant un autre comportement de décroissance qui diffère des comportements de décroissance des autres phosphores.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2,

caractérisé par

l'utilisation d'au moins un phosphore (L1, L2, L3), dont le comportement de décroissance correspond selon une combinaison linéaire de différents comportements de décroissance exponentiels de premier ordre d'après

$$I_t = \sum_{i=0}^n I_{0,i} e^{-k_i t}$$

où toutes les k_i sont différentes les unes des autres, avec

I_t Intensité de rémanence après excitation

$I_{0,i}$ Intensité de saturation ou intensité initiale du procédé i parmi n processus,

k_i Constante de décroissance du processus i parmi n processus,

n Nombre de processus

t Temps

e Base du logarithme naturel

5 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3,

caractérisé par

un chevauchement des bandes d'émission ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) de différents phosphores (L1, L2, L3) de moins de 20%, de préférence de moins de 5%, par rapport à la surface en dessous de la bande d'émission normalisée respective ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) lors d'un report de la bande d'émission ($I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$) sur le nombre d'ondes v .

15 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4,

caractérisé par

l'excitation des phosphores (L1, L2, L3) par une suite d'impulsions lumineuses rectangulaires, où

- l'intervalle de temps ($t_1, t_2, t_3 \dots t_n$) entre deux impulsions lumineuses successives,

mesuré entre

l'instant de demi-valeur (t_{Htd}) du front descendant d'une impulsion lumineuse précédente et

l'instant de demi-valeur (Htu) d'un flanc ascendant d'une impulsion lumineuse suivante,

est supérieur au temps ($t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) du passage par zéro / du signal d'identité attendu du fait du comportement de décroissance des phosphores utilisés (L1, L2, L3) après excitation par l'impulsion lumineuse précédente,

où l'intervalle de temps entre deux impulsions lumineuses successives est aléatoire ou pseudo-aléatoire.

40 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5,

caractérisé par

- **l'excitation** des phosphores (L1, L2, L3) avec un signal d'excitation sinusoïdal régulier (I_{sin}), dont le sommet inférieur (Su) de la courbe sinusoïdale est proche de zéro,

- **la détermination** du décalage de phase ($\Delta\phi$) entre le sommet supérieur (So) du signal d'excitation (ϕ_0) et le passage par zéro du signal de différence ($t_{\Delta 0}(I(\lambda_1, t), I(\lambda_2, t))$) ou du signal d'identité d'un comparateur pour $\phi_{\lambda 1, \lambda 2}$.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6,

caractérisé par

l'utilisation de phosphores (L1, L2, L3) dont la demi-vie ($t_{1/2}$) de tous les phosphores, par rapport à la diminution de l'intensité lumineuse après excitation par une impulsion lumineuse, se situe dans une

plage comprise entre 1 ms et 1000 ms, dans une
plage comprise entre 1 μ s et 1000 μ s ou dans une
plage comprise entre 1 ns et 1000 ns.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, 5
caractérisé par
l'utilisation de phosphores (L1, L2, L3) ayant des
intensités de saturation I_0 différentes.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, 10
caractérisé par
l'utilisation de phosphores à conversion ascen-
dante comme phosphores (L1, L2, L3), qui sont
excitables dans les domaines UV, VIS et/ou IR du
spectre lumineux et qui sont luminescents dans le 15
domaine UV, dans le domaine VIS et jusque dans le
domaine UV.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, 20
caractérisé par
l'utilisation de phosphores à conversion descen-
dante (L1, L2, L3) qui peuvent être excités dans le
domaine IR, dans le domaine VIS et jusque dans le
domaine UV et qui sont luminescents dans le do-
maine UV, dans le domaine VIS et/ou dans le do- 25
maine IR.

30

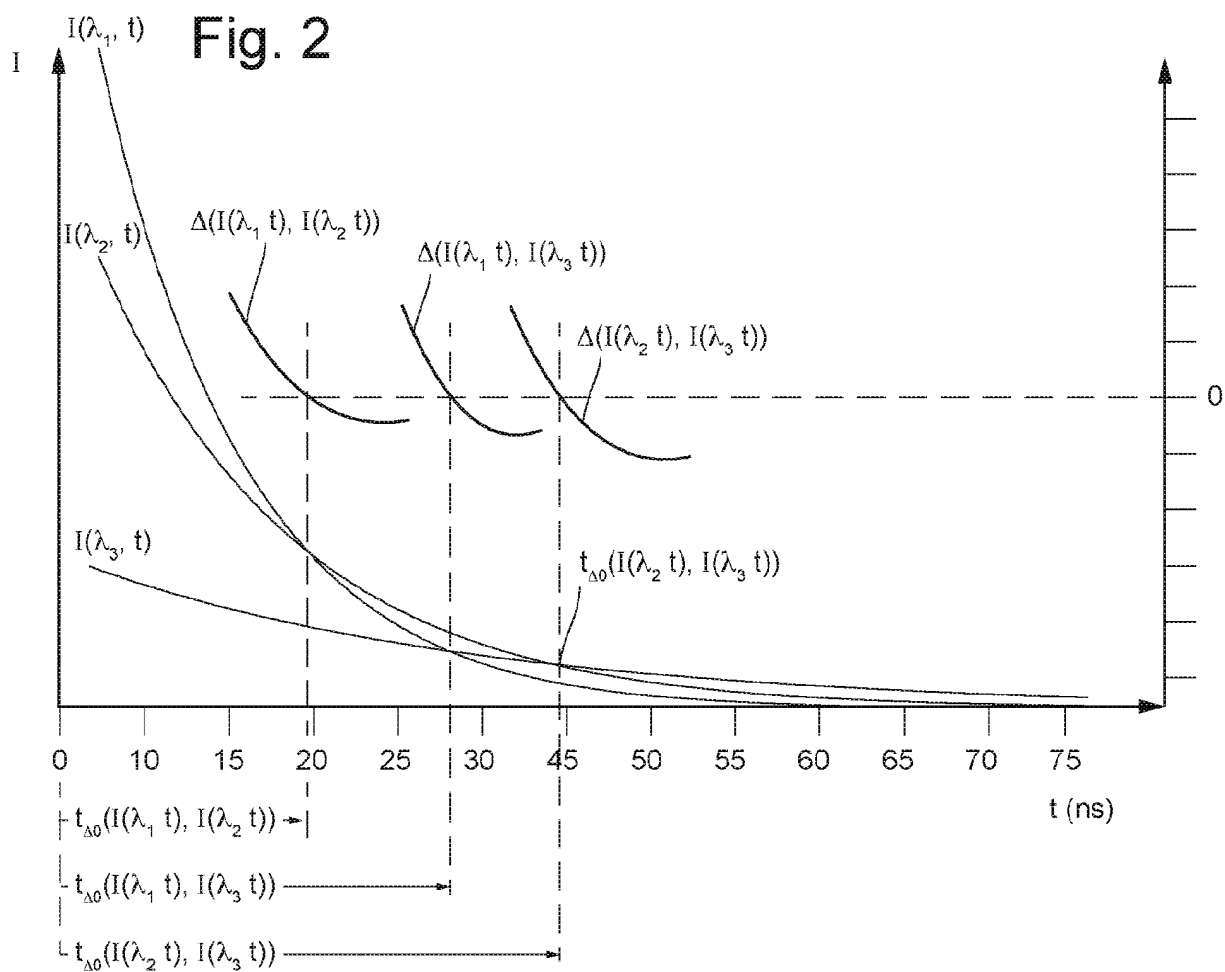
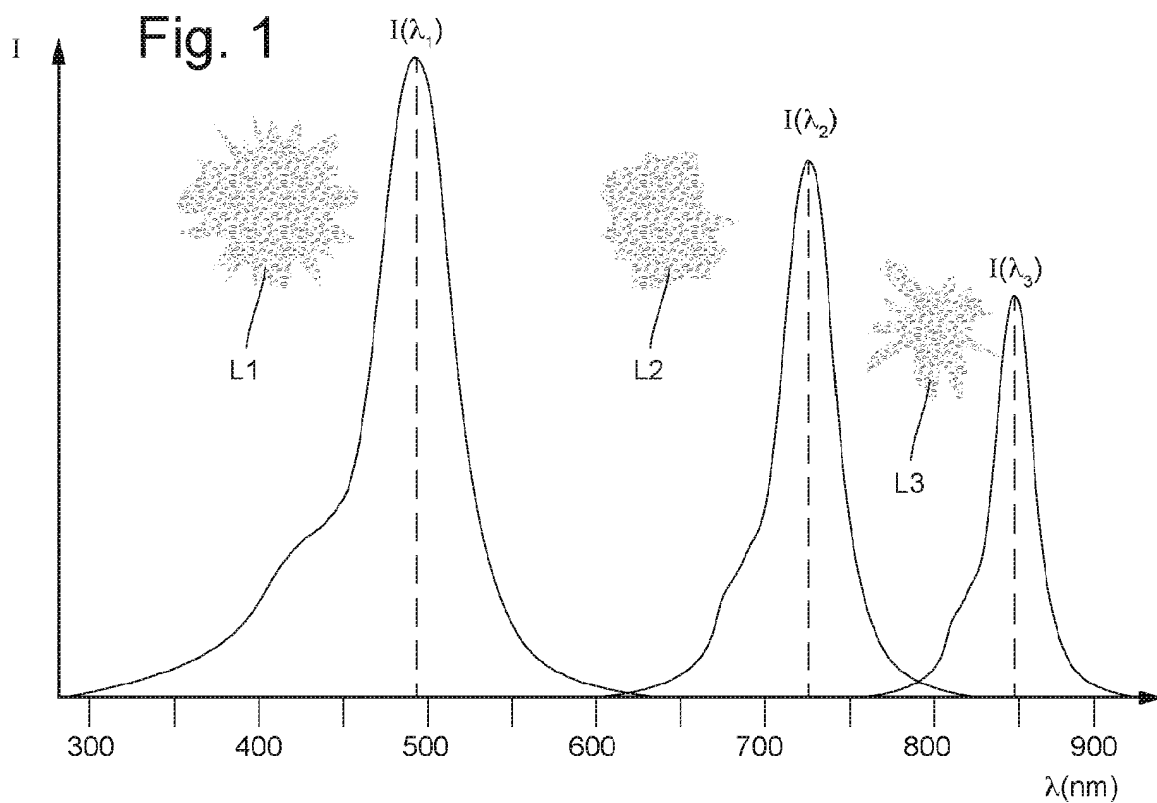
35

40

45

50

55



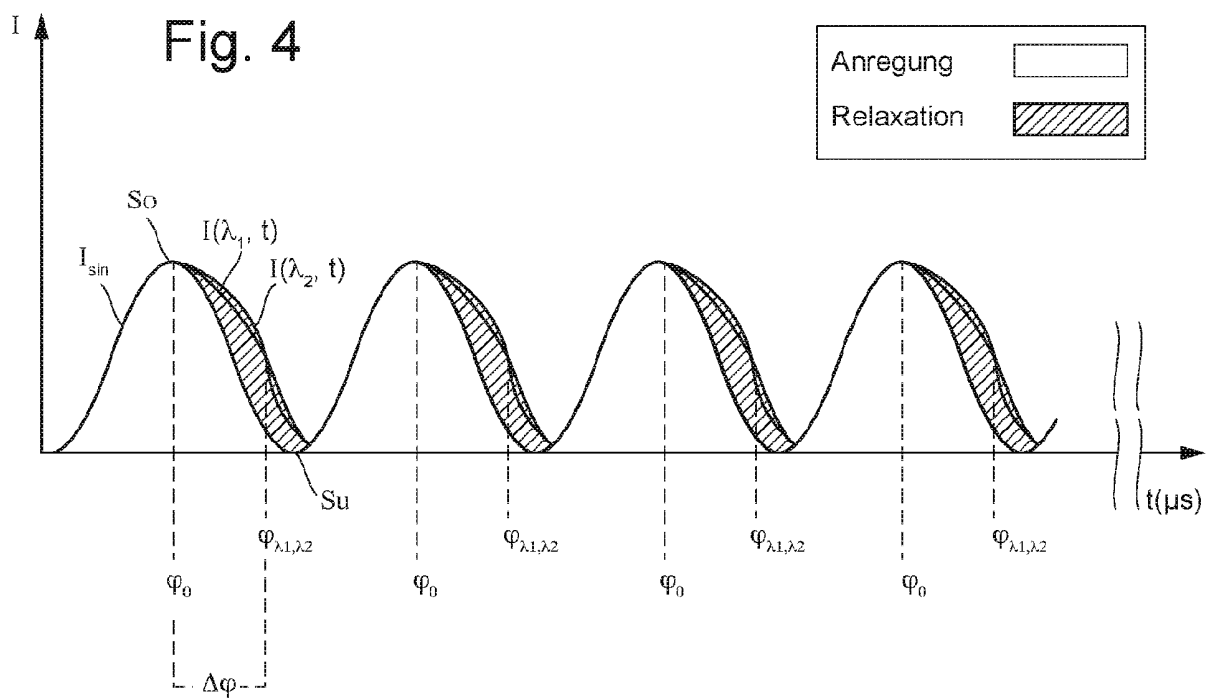
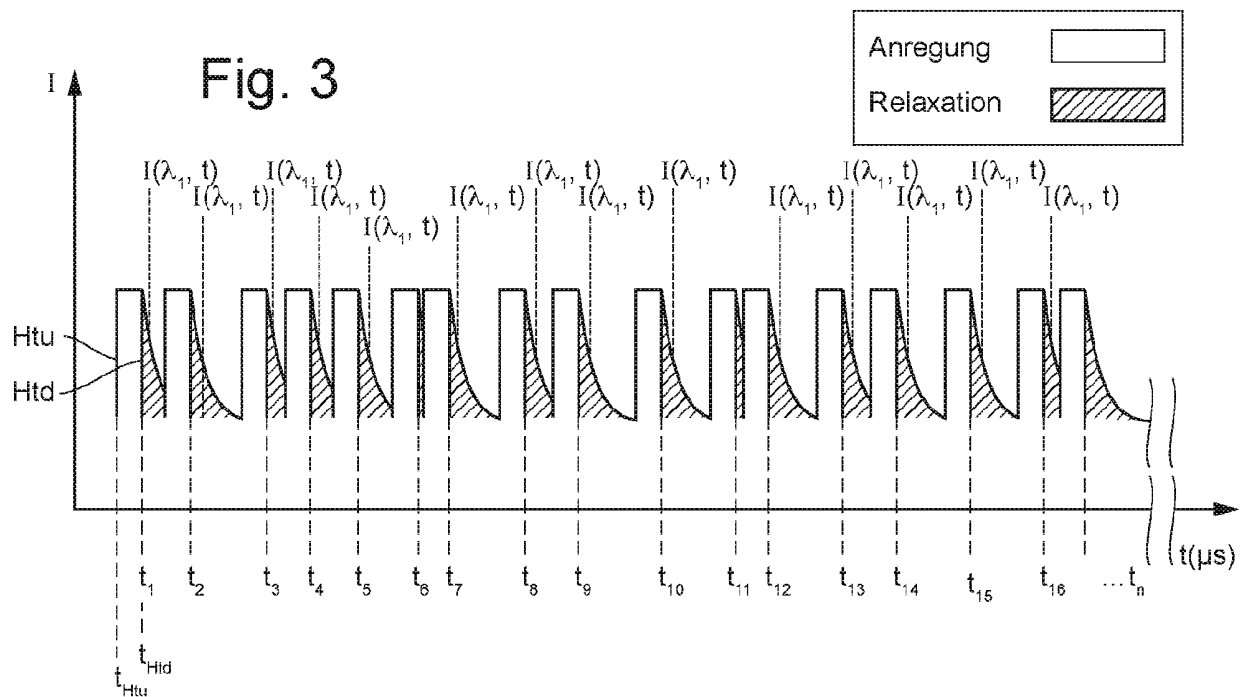


Fig. 5

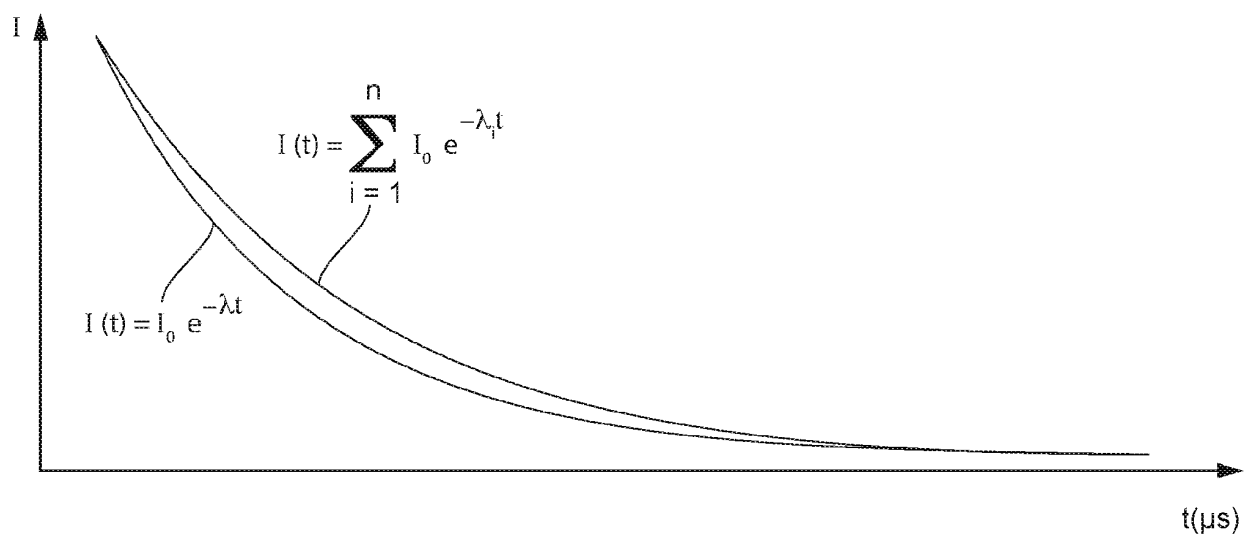


Fig. 6

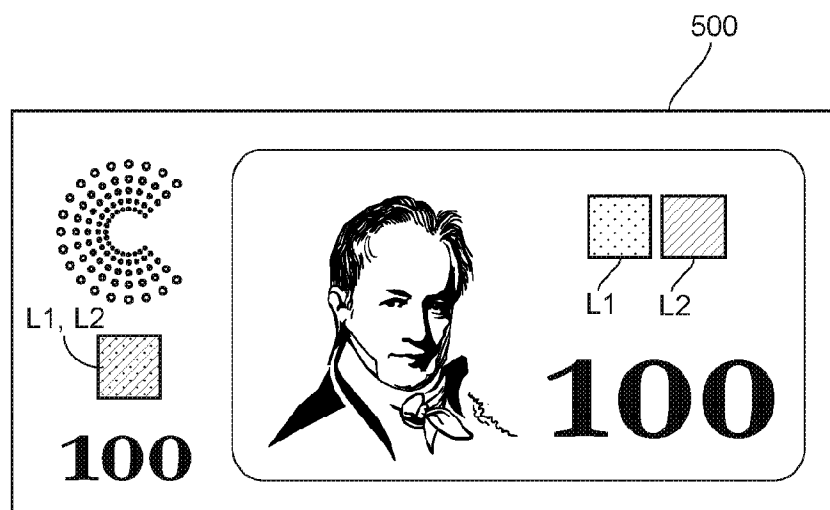


Fig. 7

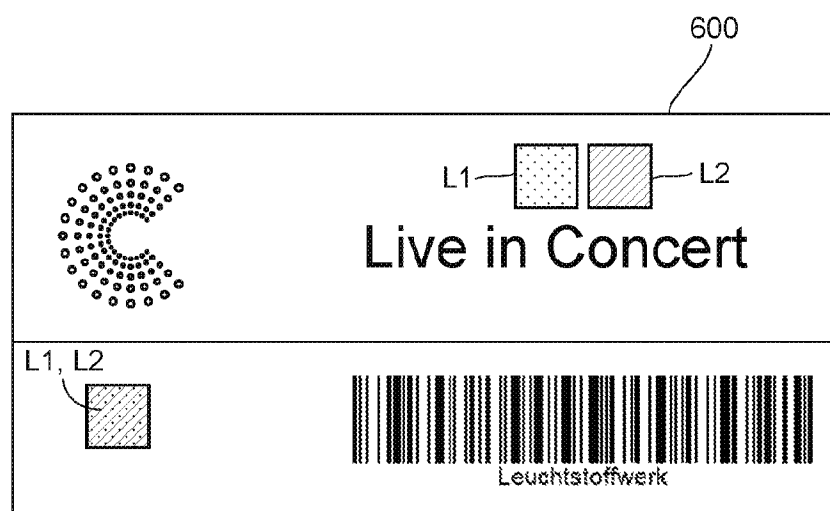


Fig. 8

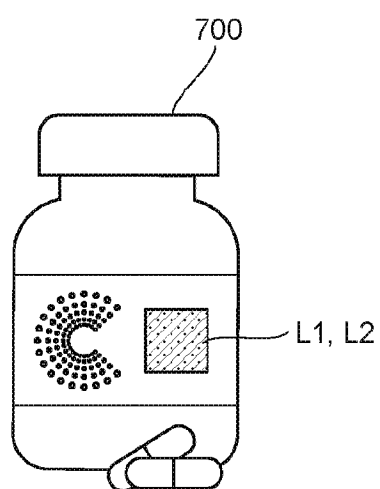
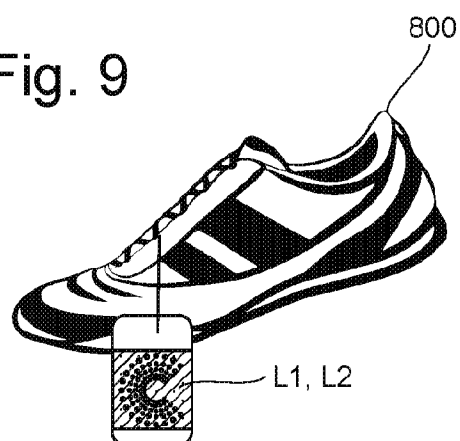


Fig. 9



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102004016249 A1 [0003]
- US 10900898 B2 [0004]
- DE 102017130027 A1 [0005]
- US 20190162864 A1 [0008]