



(11)

EP 3 781 408 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.12.2022 Patentblatt 2022/51

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B42D 25/387 ^(2014.01) **B42D 25/382** ^(2014.01)
B42D 25/29 ^(2014.01) **G07D 7/1205** ^(2016.01)

(21) Anmeldenummer: **19722000.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B42D 25/29; B42D 25/382; B42D 25/387;
G07D 7/1205; G07D 7/205

(22) Anmeldetag: **15.04.2019**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2019/059709

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2019/201877 (24.10.2019 Gazette 2019/43)

(54) **SMARTPHONE VERIFIZIERBARES, LEUCHTSTOFFBASIERTES SICHERHEITSMERKMAL UND ANORDNUNG ZUR VERIFIZIERUNG**

SMARTPHONE-VERIFIABLE, LUMINESCENT-MATERIAL-BASED SECURITY FEATURE AND ASSEMBLY FOR VERIFICATION

CRITÈRE DE SÉCURITÉ À BASE DE SUBSTANCE FLUORESCENTE VÉRIFIABLE PAR ORDIPHONE ET SYSTÈME DE VÉRIFICATION

(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

- **KULIKOVSKY, Lazar**
14165 Berlin (DE)
- **JÜSTEL, Thomas**
58455 Witten (DE)
- **MALYSA, Beata**
48565 Steinfurt (DE)
- **ANSELM, Viktor**
49699 Lindern (DE)
- **HAUSSMANN, Guido**
12203 Berlin (DE)

(30) Priorität: **17.04.2018 DE 102018109141**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.02.2021 Patentblatt 2021/08

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

(74) Vertreter: **Engel, Christoph Klaus**
PATENTSCHUTZengel
Marktplatz 6
98527 Suhl (DE)

(72) Erfinder:

- **STARICK, Detlef**
17491 Greifswald (DE)
- **PAESCHKE, Manfred**
16348 Wandlitz (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 091 184 WO-A1-2013/012656
WO-A1-2013/034471 WO-A1-2013/034603

EP 3 781 408 B1

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Sicherheitsmerkmal mit einem Leuchtstoff, dass mit der Hilfe eines handelsüblichen Smartphone verifiziert werden kann. Die Erfindung betrifft außerdem eine Anordnung zur Verifizierung eines Sicherheitsdokuments mit einem solchen Sicherheitsmerkmal.

[0002] Aus dem Stand der Technik ist es seit langem bekannt, mit lumineszierenden Substanzen (Leuchtstoffen) ausgestattete Sicherheitsmerkmale zum Schutz und zum Echtheitsnachweis von Wert- und Sicherheitsdokumenten einzusetzen. Sie werden zumeist als sogenannte Level-2-Merkmale verwendet. Ihre Anwesenheit kann über die mit einfachen Handgeräten (UV- oder IR- Strahlungsquellen) anregbare und zumeist im sichtbaren Spektralbereich erfolgende Emission der Leuchtstoffe nachgewiesen werden. Darüber hinaus dienen sie dem Kopierschutz. Andererseits finden mit besonders hoher Fälschungssicherheit ausgestattete lumineszierende Sicherheitsmerkmale aber auch als maschinell auslesbare Level-3-Merkmale Anwendung. Die Echtheitsverifikation derartiger Merkmale ist in der Regel mit einem hohen technischen Aufwand verbunden.

[0003] Sowohl im Bereich der Sicherheits- und Werdokumente als auch im Bereich des Produktschutzes gibt es ein zunehmendes Interesse an der Anwendung von Echtheitsmerkmalen, die eine hohe Sicherheitsstufe (Level-2⁺- bzw. Level-3-Charakteristik) aufweisen, sich aber mit geringem technischen Aufwand prüfen lassen.

[0004] So ist aus der WO 2012/083469 A1 eine Vorrichtung zur Authentifizierung von mit fotochromen Systemen markierten Dokumenten bekannt. Das fotochrome Sicherheitsmerkmal zeigt unter Einwirkung einer Blitzlichtanregung eine Farbänderung und/oder eine Formänderung. Es wird weiterhin beschrieben, dass das Sicherheitsmerkmal auf Basis eines Retinalproteins ausgebildet ist.

[0005] Aus der DE 10 2015 219 395 A1 ist ein Identifikationsmerkmal mit mindestens zwei in einer definiert begrenzten Fläche angeordneten Identifikationselementen zur Identifikation eines Gegenstandes bekannt. Nach dem Bestrahlen der Fläche mit sichtbarem Licht wird ein erstes, aus Druckerfarbe oder Tinte bestehendes Identifikationselement visuell sichtbar und ein zweites Identifikationselement nicht visuell sichtbar.

[0006] Die EP 0 091 184 A1 nennt einen sulfidischen Leuchtstoff, welcher mit einer langen Nachleuchtzeit grünes bis oranges Licht emittiert. Dieser Leuchtstoff ist durch die allgemeine Formel $(Zn_{1-x}, Cd_x) S:eM^I, fM^{III}, gX'$ beschrieben, wobei M^I aus Kupfer und Gold gewählt ist, M^{III} aus Gallium und Indium gewählt ist, und X' aus Chlor, Brom, Jod, Fluor und Aluminium gewählt ist.

[0007] Die WO 02/071347 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Authentifizierung von Sicherheitsdokumenten oder -gegenständen, welche eine lumineszierende Verbindung aufweisen. Die Verbindung ist durch Anregungslicht anregbar.

[0008] Aus der US 7,079,230 B1 ist ein Verfahren sowie eine Authentifikationseinrichtung zum Detektieren einer Authentifikationsmarkierung bekannt.

[0009] Die EP 1 672 568 A1 beschreibt fälschungssichere Sicherheitsetiketten sowie einen optischen Scanner zum Beleuchten, Detektieren und Klassifizieren einer Probe bzw. des Sicherheitsetiketts.

[0010] In der US 2010/0102250 A1 sind ein Verfahren und ein Gerät zur Authentifikation eines fotolumineszierenden Sicherheitsmerkmals beschrieben.

[0011] Die US 2016/0314374 A1 beschreibt eine Vorrichtung für ein portables Smart-Gerät sowie ein Verfahren zum Authentifizieren eines zu authentifizierenden Objekts.

[0012] Aus der US 2013/0153789 A1 ist ein lumineszierendes Material und Gegenständen mit diesem Material bekannt. Weiterhin ist ein Verfahren zur Authentifikation der Gegenstände mit dem lumineszierenden Material beschrieben. Das Material besteht aus einem ersten Partikel eines ersten anorganischen Wirtsgitters mit mindestens einer ersten Substanz und einem zweiten Partikel eines zweiten anorganischen Wirtsgitters mit mindestens einer zweiten Substanz.

[0013] Die WO 2018/007444 A1 beschreibt ein Verfahren zum Authentifizieren einer Sicherheitsmarkierung sowie die Sicherheitsmarkierung und ein Lesegerät, welches das Verfahren ausführen kann. Die Sicherheitsmarkierung kann ein lang nachleuchtendes Lumineszenzlicht emittieren. Zum Erzeugen und Erfassen der Emission kommt das Lesegerät mit CPU-Einheit und Speichereinheit, beispielsweise ein Smartphone, zum Einsatz.

[0014] Die WO 2013/012656 A1 offenbart verschiedene Leuchtstoffzusammensetzungen, die ein oder mehrere emittierende Ionen sowie ein oder mehrere Störstellenionen umfassen. Ein emittierendes Ion ist durch eine erste Abklingzeitkonstante im ungestörten Zustand gekennzeichnet. Die Störstellenionen führen zu einem vorbestimmten Abklingverhalten mit einer veränderten Abklingzeit, die größer Null und kleiner als die ungestörte Abklingzeit ist. Ein Authentifizierungssystem ist für die Messung der Abklingzeit konfiguriert, wenn diese Leuchtstoffzusammensetzung an einem Artikel angebracht ist.

[0015] Die WO 2013/034471 A1 sowie die DE 10 2011 082 174 A1 beschreiben eine Vorrichtung zum Erkennen eines Dokuments, das ein Leuchtstoff basiertes Sicherheitsmerkmal mit so bezeichneten Wellenlängen-Konversionseigenschaften aufweist. Dazu ist eine Lichterzeugungseinrichtung (beispielsweise eine LED- Blitzlichteinheit) vorgesehen, welche das Sicherheitsmerkmal mit Anregungslicht bestrahlt, sowie eine Bildaufnahmeeinrichtung (beispielsweise eine Digitalkamera eines mobilen Kommunikationsgerätes), welche das vom Sicherheitsmerkmal emittierte Licht aufnehmen

soll. Es hat sich aber gezeigt, dass die offenbaren Leuchtstoffe regelmäßig Abklingzeiten aufweisen, die eine Auswertung der Emission mit weit verbreiteten Geräten, insbesondere eine Echtheitsprüfung mit der Hilfe handelsüblicher Smartphones nicht gestatten.

[0016] Die WO 2013/034603 A1 beschreibt ein Verfahren zur Verifikation eines Sicherheitsdokuments mit einem Sicherheitsmerkmal in Form eines fluoreszierenden Druckelements. Das Verfahren sieht vor, dass das Druckelement mittels einer Lichtquelle angeregt wird und es in Folge dieser Anregung eine elektromagnetische Strahlung emittiert, welche in einem weiteren Schritt mittels eines Sensors erfasst werden kann. Durch einen Vergleich mit vorgegebenen Daten, werden die erfassten Daten ausgewertet. Das Verifikationsergebnis wird in einem weiteren Schritt in Abhängigkeit vom Ergebnis des Vergleichs ausgegeben. Insbesondere soll das Verfahren mit einem Smartphone ausgeführt werden, wobei das Blitzlichtmodul des Smartphones als Anregungsquelle und der Fotosensor der Kamera des Smartphones als Detektionseinheit zur Anwendung kommen. Als Leuchtstoffe für das pigmentartige fluoreszierende Druckelement werden anorganische Leuchtstoffe genannt, nämlich nitridische Leuchtstoffe; Europium-dotierte Erdalkaliorthosilikat- und Erdalkalioxyorthosilikatleuchtstoffe; Cer-dotierte Seltenerdmetall-Aluminium-Gallium-Granat-Leuchtstoffe; rotes Licht emittierendes $(\text{Ca}, \text{Sr})\text{S}:\text{Eu}^{2+}$; und grünes Licht emittierendes $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$. Bei den vorgeschlagenen Leuchtstoffen handelt es sich um äußerst schnell abklingende sogenannte LED-Konversionsleuchtstoffe. Es hat sich aber gezeigt, dass es praktisch nicht möglich ist, die Lumineszenzsignale dieser schnell abklingenden Leuchtstoffe direkt während der Blitzlichtanregung sicher zu detektieren, weil die Lumineszenzsignale im Vergleich zum Anregungslicht eine viel zu geringe Intensität aufweisen und von dem intensitätsstarken anregenden Blitzlicht des Smartphones überdeckt werden.

[0017] Bei der praktischen Anwendung der im vorgenannten Stand der Technik beschriebenen Leuchtstoffe haben sich zwei bislang ungelöste Probleme gezeigt. Diese vorbekannten Leuchtstoffe werden regelmäßig als sogenannte Konversionsleuchtstoffe zur Herstellung weißer LED verwendet, sodass diese Leuchtstoffe regelmäßig auch als strahlungswandelnde Bestandteile in den Blitzlicht-LED der handelsüblichen Smartphones enthalten sind.

[0018] Das bedeutet, dass die Anregungsstrahlung der als Anregungsquelle verwendeten Blitzlichteinheiten der Smartphones mit hoher Wahrscheinlichkeit dieselbe Lumineszenzsignale aufweist, wie sie von dem zu untersuchenden Sicherheitsmerkmal erwartet werden. Ein sicherer Echtheitsnachweis der mit derartigen Sicherheitsmerkmalen ausgestatteten Wert- und Sicherheitsdokumente ist bereits aus diesem Grund ausgeschlossen.

[0019] Ein zweites Problem resultiert aus dem Umstand, dass die im Stand der Technik für die Verwendung als Sicherheitsmerkmale benannten Leuchtstoffe in aller Regel ebenso kurze Abklingzeiten im ns- bis μs -Bereich aufweisen, wie sie aus den genannten Gründen auch für die Blitzlicht-LED zutreffend sind. Bei einer Anregung mit dem Blitzlicht eines Smartphones werden die vom dem Sicherheitsmerkmal stammenden Emissionen entweder durch das Blitzlicht vollständig überlagert oder sie sind bereits abgeklungen, bevor die Bildaufnahme erfolgt.

[0020] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht ausgehend vom Stand der Technik darin, ein verbessertes leuchtstoffbasiertes Sicherheitsmerkmal zur Verfügung zu stellen, welches allein mithilfe eines Smartphones oder eines vergleichbaren multifunktionalen, weit verbreiteten Datenverarbeitungsgerätes verifizierbar ist. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Anordnung zur Verifikation eines solchen Sicherheitsmerkmals bereitzustellen.

[0021] Erfindungsgemäß erfolgt die Lösung der Aufgabe durch ein mit einem Smartphone verifizierbares, leuchtstoffbasiertes Sicherheitsmerkmal gemäß dem beigefügten Anspruch 1 sowie durch eine Anordnung zur Verifikation eines solchen Sicherheitsmerkmals gemäß dem beigefügten nebengeordneten Anspruch 9.

[0022] Ein allgemeiner Lösungsgedanke für die genannte Aufgabenstellung, den die Erfindung umsetzt, besteht zunächst darin, dass ein Sicherheitsmerkmal mit einem spezifischen Leuchtstoff ausgerüstet wird, der die oben beschriebenen Probleme umgeht. Dieser Leuchtstoff muss dazu derart konfiguriert sein, dass er einerseits mit einer Lichtquelle eines Smartphones bzw. eines gleichartigen mobilen Datenverarbeitungsgerätes, also insbesondere einer Blitzlicht-LED eines Smartphones, anregbar ist. Gleichzeitig muss der Leuchtstoff eine solche Lumineszenzcharakteristik aufweisen, die es ermöglicht, die Lumineszenzsignale auch nach Beendigung des Anregungsprozesses noch mit hoher Sicherheit mit der Hilfe der Bilderfassungseinheit desselben Smartphones (mobilen Datenverarbeitungsgerätes) detektieren zu können. Dies erfordert neben einer hohen Effizienz der spektralen Anregbarkeit und einer hohen Lumineszenzausbeute vor allem eine an die Ausnahmegeschwindigkeit der Bilderfassungseinheit des Smartphones angepasste Abklingzeit des erfindungsgemäßen Leuchtstoffes.

[0023] Durch die Erfindung wird ein zuverlässig auswertbares Sicherheitsmerkmal bereitgestellt, welches es gestattet, exklusive Lumineszenzeigenschaften wie die spektrale Emissions- und Abklingcharakteristik der zur Erstellung des Sicherheitsmerkmals verwendeten Spezialleuchtstoffe als Echtheitskriterien in die Prüfung einzubeziehen. Zudem ist es von großem Vorteil, dass die abklingenden Lumineszenzsignale des erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmals weder während noch nach Beendigung der Anregung für das menschliche Auge sichtbar sind. Es hat sich gezeigt, dass die Auswahlmöglichkeiten für die Bereitstellung geeigneter Leuchtstoffe für die Realisierung der aufgezeigten erfinderischen Lösung stark eingeschränkt sind. Dies trifft insbesondere auf die geforderte Abklingcharakteristik zu.

[0024] Die Erfindung stellt ein Level-3-Merkmal oder zumindest ein Merkmal mit Level-2+ Funktionalität bereit, wie es in Sicherheits- und Wertdokumenten zur Echtheitsverifizierung eingesetzt werden kann. Derartige Merkmale sind für das menschliche Auge in aller Regel, beispielsweise auch nach Anregung mit UV- oder IR-Lichtquellen unsichtbar. Ihre

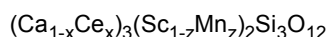
Charakteristika können bisher nur mit hohem technischem Aufwand, beispielsweise mit Hilfe von High Speed Sortiermaschinen geprüft werden. Durch die vorliegende Erfindung wird erstmals eine Echtheitsprüfung solcher exklusiven Merkmale mit Hilfe handelsüblicher Smartphones ermöglicht.

[0025] Das erfindungsgemäße Sicherheitsmerkmal kann auf oder in ein Wert- oder Sicherheitsdokument appliziert werden und umfasst einen Leuchtstoff, der mit einer elektromagnetischen Strahlung vorbestimmter Wellenlänge, wie sie von einer Beleuchtungseinheit eines Smartphones erzeugbar ist, zur Lumineszenz angeregt werden kann, woraufhin der Leuchtstoff eine von der Kameraeinrichtung eines Smartphones detektierbare Strahlung emittiert. Die Emission des Leuchtstoffes weist eine Abklingzeit im ms-Bereich auf. Erfindungsgemäß sind die Abklingzeiten im Bereich zwischen 1 bis 100 ms, bevorzugt im Bereich zwischen 5 bis 50 ms, nochmals bevorzugt zwischen 10 und 30 ms ausgewählt.

[0026] Der Abklingvorgang (Abklingprozess) kennzeichnet grundsätzlich die zeitabhängige Abnahme der Intensität der von einem Leuchtstoff emittierten Strahlung. Dabei kann die Abklingkurve häufig mit einer einfachen Exponentialgleichung der Form $I = I_0 e^{-(t/\tau)}$ beschrieben werden. Die darin enthaltene Abklingkonstante τ bezeichnet diejenige Zeitdauer bis zu der die Intensität der Emission nach dem Abschalten der Anregungsquelle 36,79 % (= 1/e-teil) der Ausgangsintensität abgefallen ist. Es hat sich allerdings erwiesen, dass nicht alle lumineszierenden Substanzen ein monoexponentielles Abklingen aufweisen. Vielmehr resultieren aus der Überlagerung unterschiedlicher Relaxationsprozesse gegebenenfalls auch multiexponentielle (beispielsweise bi- oder triexponentielle) Abklingkurven.

[0027] Als eine besonders geeignete Leuchtstoffklasse für das Sicherheitsmerkmal haben sich Ce^{3+} - und Mn^{2+} -codotierte Silikat-Granat-Leuchtstoffe (CSS) erwiesen, die mit der Formel: $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$ beschrieben werden können. Derartige Leuchtstoffe zeichnen sich durch eine hohe Absorptionsstärke bei 450 nm, eine hohe Lumineszenzintensität und durch einen effizienten Energietransfer zwischen den Ce^{3+} und den Mn^{2+} Ionen aus.

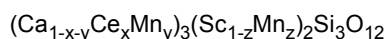
[0028] Gemäß einer alternativen Schreibweise kann der Leuchtstoff mit der Formel:



beschrieben werden, wobei auf der Grundlage der bekannten Ionenradien in der Fachliteratur häufig davon ausgegangen wird, dass die Ce^{3+} Ionen bevorzugt auf Ca^{2+} und die Mn^{2+} Ionen bevorzugt auf Sc^{3+} Gitterpositionen eingebaut werden.

[0029] Bei experimentellen Untersuchungen wurde überraschenderweise festgestellt, dass phasenreine, hocheffiziente und besonders stabile $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$ Leuchtstoffe vor allem dann gebildet werden, wenn bei der Berechnung der Einwaagen der Ausgangsstoffe davon ausgegangen wird, dass die Mn^{2+} Ionen sowohl auf Ca^{2+} als auch auf Sc^{3+} Plätzen in das Gitter eingebaut werden. Besonders gute Ergebnisse werden erzielt, wenn die Einwaage-Berechnungen unter der Annahme erfolgen, dass etwa 75% der Mn^{2+} Coaktivatoren die Ca^{2+} und etwa 25% die Sc^{3+} Ionen als Gitterbestandteile ersetzen.

[0030] Besonders bevorzugt ist der erfindungsgemäße Leuchtstoff durch folgende allgemeine chemische Formel beschreibbar:



mit $0 < x \leq 0,1$; $0 < y \leq 0,8$; $0 < z \leq 0,8$

wobei ein y/z Verhältnis von ≈ 2 bevorzugt ist.

[0031] Unter Beachtung der stöchiometrischen Faktoren entspricht dies dem angegebenen Verhältnis für die Besetzung der Ca^{2+} bzw. Sc^{3+} Gitterplätze durch Mn^{2+} Coaktivatorionen.

[0032] Mit den beschriebenen $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$ Materialien werden besonders vorteilhafte Leuchtstoffe gemäß der Erfindung bereitgestellt, die Emissionen mit Abklingzeiten zwischen 5 und 30 ms aufweisen und deren Lumineszenzsignale auch nach Beendigung der Blitzlichtanregung mit hoher Sicherheit unter Verwendung der Kameramodule handelsüblicher Smartphones detektiert werden können.

[0033] Die Emissionsspektren der erfindungsgemäßen Leuchtstoffe bestehen aus jeweils drei Banden, die der direkten Lumineszenz der Ce^{3+} Aktivatorionen (Bande mit einem λ_{max} von etwa 505 nm), sowie den über den Ce^{3+} - Mn^{2+} Energietransfer ermöglichten Emissionen der auf den unterschiedlichen Gitterplätzen positionierten Mn^{2+} Coaktivatoren zugeordnet werden können. Die Maxima der zuletzt genannten Emissionsbanden liegen in etwa bei 570 nm (Mn^{2+} auf Ca^{2+} Platz) und bei etwa 700 nm (Mn^{2+} auf Sc^{3+} Platz).

[0034] Die relativen Intensitäten der unterschiedlichen Emissionsbanden können über die Konzentrationen der Aktivator- und Coaktivatorionen sowie über die jeweiligen Konzentrationsverhältnisse variiert und eingestellt werden. Zudem weisen die einzelnen Emissionen unterschiedliche spektrale Abklingzeiten auf. Während die Abklingzeit der quantenmechanisch erlaubten Ce^{3+} Emission im Nanosekunden-Bereich liegt, werden für die beiden aus quantenmechanisch verbotenen optischen Übergängen resultierenden Mn^{2+} Emissionsbanden Abklingzeiten im einstelligen (Mn^{2+} auf Ca^{2+} Platz) bzw. im zweistelligen Millisekunden-Bereich (Mn^{2+} auf Sc^{3+} Platz) erreicht.

[0035] Die Tatsache, dass sich die im grünen Spektralbereich anzutreffenden Emissionsbanden mit Maxima bei etwa 505 und 570 nm aufgrund ihrer vergleichsweise großen Halbwertbreiten in einem ausgeprägten Maße überlagern, führt auch zu einer Überlagerung der Abklingkurven dieser Emissionen. Dennoch sind die modifizierten CSS-Leuchtstoffe durch unterschiedliche spektrale Abklingkurven mit unterscheidbaren Abklingzeiten charakterisiert. Andererseits ergibt sich aus dieser Konstellation, dass für den Fall, dass bei den Abklingmessungen der gesamte sichtbare Spektralbereich detektiert wird, ein signifikanter Farbshift der abklingenden Lumineszenz der Leuchtstoffe resultiert. Weiterhin hat sich gezeigt, dass die einzelnen Emissionsbanden auf Grund ihrer charakteristischen Überlagerungen keine monoexponentiellen Abklingkurven aufweisen. Charakteristisch sind vielmehr bi- bzw. triexponentiellen Abklingkurven.

[0036] Das beschriebene spezielle Abklingverhalten trägt in hohem Maße zur Exklusivität der erfindungsgemäßen $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+},\text{Mn}^{2+}$ Leuchtstoffe bei. Hinzu kommen weitere Eigenschaften, die diese Leuchtstoffe für die Anwendung in lumineszierenden Sicherheitsmerkmalen, deren Anwesenheit und Echtheit mit der Hilfe handelsüblicher Smartphones verifiziert werden kann, empfehlen. Zum einen sind die benannten Leuchtstoffe im ultravioletten Spektralbereich praktisch nicht anregbar und zum anderen ist die Körperfärbung der entsprechenden Lumineszenzpigmente so beschaffen, dass sie leicht an die Farbdesigns der zu schützenden Sicherheits- und Wertdokumente (Banknoten, Ausweise, Reisepässe, Führerscheine etc.) angepasst bzw. von den zur Herstellung dieser Dokumente verwendeten Druckfarben überdeckt werden kann. Das bedeutet, dass die Anwesenheit der als Sicherheitsmerkmal in die Sicherheitsdokumente eingebrachten $\text{CSS}:\text{Ce}^{3+},\text{Mn}^{2+}$ Leuchtstoffe vom Betrachter weder mit dem bloßen Auge noch unter Zuhilfenahme üblicher UV-Anregungsquellen erkannt werden kann. Andererseits ist es eine besondere Ausführungsform der Erfindung, dass bei UV-Anregung wirkungsvoll lumineszierende, schnell abklingende Leuchtstoffe zu den nahezu ausschließlich im sichtbaren Spektralbereich emittierenden, vorzugsweise bei 450 nm anregbaren Leuchtstoffen mit verzögertem Abklingverhalten hinzugefügt werden. Die bei UV-Anregung deutlich wahrnehmbare stationäre Photolumineszenz der entsprechenden Zusatzkomponenten kann als eine sicherheitserhöhende Maskierung der in die Sicherheitsdokumente integrierten Sicherheitsmerkmale dienen.

[0037] Auch wenn die Auswahlmöglichkeiten für die Bereitstellung der für die Realisierung der aufgezeigten erfinderischen Lösung benötigten Leuchtstoffe stark eingeschränkt sind, gibt es neben den $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+},\text{Mn}^{2+}$ Leuchtstoffen doch einige weitere Materialien, die auf Grund ihres Abklingverhaltens zur Herstellung von Sicherheitsmerkmalen eingesetzt werden könnten, aber nicht in den Schutzbereich der Ansprüche fallen. In der nachfolgenden Tabelle sind einige der auf ihre Eignung gemäß der Erfindung getesteten sowie nicht erfindungsgemäße Leuchtstoffkompositionen einschließlich der für die erfinderische Anwendung relevanten Lumineszenzeigenschaften zusammengestellt.

Verbindung	λ_{em} [nm]	Abklingzeit τ [ms]	Lumineszenzausbeute	Anregbarkeit bei 450 nm
Ce³⁺/Eu²⁺-,Mn²⁺- coaktivierte Verbindungen			hoch	
$\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+},\text{Mn}^{2+}$	470 - 900	5-30		stark
$\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+},\text{Mn}^{2+}$	470 - 850	5-15		schwach
$\text{Sr}_3\text{Sc}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+},\text{Mn}^{2+}$	470 - 800	3-15		moderat
$\text{Ca}_9\text{MgNa}(\text{PO}_4)_7:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$	500 - 750	~ 26		schwach - moderat
$\text{BaMg}_2\text{Si}_2\text{O}_7:\text{Ce}^{3+},\text{Mn}^{2+},\text{Dy}^{3+}$	570 - 800	5-10		schwach - moderat
$\text{BaMg}_2\text{Si}_2\text{O}_7:\text{Mn}^{2+},\text{Dy}^{3+}$	570 - 800	~ 5		schwach
$\text{CaSiO}_3:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$	550 - 700	10-20		schwach - moderat
$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$	400 - 660	10-20		schwach
Cr³⁺- aktivierte Verbindungen			hoch	
$\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+},\text{Bi}^{3+}$	650 - 770	5-10		moderat
$\text{Zn}_3\text{Ga}_2\text{SnO}_8:\text{Cr}^{3+},\text{Bi}^{3+}$	660 - 820	1-5		moderat

(fortgesetzt)

Verbindung	λ_{em} [nm]	Abklingzeit τ [ms]	Lumineszenzausbeute	Anregbarkeit bei 450 nm
Mn ⁴⁺ -aktivierte Verbindungen			hoch	
BaGeF ₆ : Mn ⁴⁺	~ 634	~ 6		moderat
K ₂ SiF ₆ : Mn ⁴⁺	~ 631	~ 8		moderat - stark

[0038] Insbesondere enthält die Tabelle Angaben zu den gemessenen Maxima der jeweiligen Emissionsbanden und zu den Abklingzeiten. Zur Bewertung der Lumineszenzausbeute und der spektralen Anregbarkeit bei 450 nm wurde eine verbale Skalierung verwendet.

[0039] Bei den aufgeführten Leuchtstoffen handelt es sich im Wesentlichen um Ce³⁺- und Mn²⁺-codotierte Silikat-Granate bzw. Germanat-Granate, um mit Mn²⁺-Ionen aktivierte und gegebenenfalls zusätzlich mit bestimmten Seltenenerdionen (Ce³⁺, Eu²⁺, Dy³⁺) coaktivierte komplexe silikatische oder phosphatische Grundgitter, um Cr³⁺-aktivierte Gallatverbindungen sowie um die Mn⁴⁺-aktivierten Leuchtstoffe BaGeF₆:Mn⁴⁺ und K₂SiF₆:Mn⁴⁺.

[0040] Diese Auflistung besitzt keinen abschließenden Charakter.

[0041] In diesem Zusammenhang ist es als äußerst vorteilhaft zu betrachten, als geeignet erscheinende Leuchtstoffe durch gezielte Veränderung ihrer chemischen Zusammensetzung, d.h. durch gezielt vorgenommene Substitutionen im Kationen- und/oder Anionenteilgitter, so zu modifizieren, dass sich ihre Lumineszenzeigenschaften, insbesondere ihre charakteristischen Abklingzeiten, deutlich von den in der Fachliteratur beschriebenen Daten unterscheiden. Auf diese Weise können die Exklusivität der verzögert abklingenden lumineszierenden Materialien und die Fälschungssicherheit der entsprechenden Sicherheitsmerkmale deutlich erhöht werden.

[0042] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass zur Erstellung der Sicherheitsmerkmale Leuchtstoffmischungen verwendet werden, deren einzelne, vorzugsweise exklusive Komponenten unterschiedliche und sensorisch unterscheidbare Abklingzeiten aufweisen. Auch in diesem Falle resultiert eine Erhöhung der Fälschungssicherheit der erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmale.

[0043] Bevorzugt weist der Leuchtstoff eine Abklingzeit im einstelligen oder zweistelligen ms-Bereich auf, sodass die Emission des Leuchtstoffes mit einer Bilderfassungseinheit, insbesondere mit einer Kamera eines Smartphones erfassbar ist. Aktuell bekannte Smartphone-Kameras besitzen eine Bildfrequenz im Bereich von 240 fps (frames per second) bis zu 960 fps. Höhere Bildfrequenzen sind vor allem in künftigen Geräten denkbar, was der Nutzung der hier beschriebenen Erfindung aber nicht entgegensteht. Mit den derzeit bekannten Bildfrequenzen ist durch die Smartphone-Kamera ein erstes Bild nach rund 4,2 ms bzw. in Ausnahmefällen nach 1 ms aufzuzeichnen.

[0044] Die Bildfrequenz des eingesetzten Bildsensors (insbesondere Smartphone-Kamera) bestimmt eine untere Grenze für die Abklingzeit der im Sinne der Erfindung einsetzbaren Leuchtstoffe. Für den Fall, dass das Sicherheitsmerkmal im Sinne der Realisierung einer besonders hohen Sicherheitsstufe vom menschlichen Auge nicht erkannt werden soll, ist eine obere Grenze durch die Physiologie des menschlichen Sehvermögens vorgegeben. Insbesondere soll die Abklingzeit des Leuchtstoffes in diesem Falle kleiner als 1 s sein, da ein Nachleuchten des Leuchtstoffes, das länger als 1 s andauert vom menschlichen Normalbeobachter wahrgenommen werden kann.

[0045] Erfindungsgemäß ist der Leuchtstoff ein Ce³⁺ oder Mn²⁺ co-dotierter Silikat-Granat-Leuchtstoff. Die stationäre Lumineszenz des Leuchtstoffes weist bei Anregung mit dem Licht weiß emittierender LED, vorzugsweise bei einer Maximumwellenlänge von 450 nm, ein breitbandiges Emissionsspektrum mit mehreren Emissionsmaxima im sichtbaren Spektralbereich auf. Diese Maxima liegen bei etwa

505 nm (zuordenbar der Emission von Ce³⁺-Ionen auf dodekaedrischen Ca²⁺-Plätzen),
570 nm (zuordenbar der sensibilisierten Emission von Mn²⁺-Ionen auf dodekaedrischen Ca²⁺-Plätzen),
700 nm (zuordenbar der sensibilisierten Emission von Mn²⁺-Ionen auf oktaedrischen Sc³⁺-Plätzen).

Die spektralen Abklingzeiten der unterschiedlichen Emissionsbanden liegen in der aufgeführten Reihenfolge im ns-, im einstelligen bzw. im zweistelligen ms-Bereich.

[0046] Bevorzugt liegt die Abklingzeit des Leuchtstoffes des Sicherheitsmerkmals im Bereich von 1 ms bis 50 ms. Besonders bevorzugt weist der Leuchtstoff des Sicherheitsmerkmals eine Abklingzeit von 10 ms bis 30 ms auf.

[0047] Damit das Sicherheitsmerkmal allein mittels eines Smartphones erfassbar ist, ist der Leuchtstoff so konfiguriert, dass er im sichtbaren Spektralbereich, insbesondere im blauen Spektralbereich anregbar ist, damit die Blitzlichtquelle des Smartphones diese Anregungsstrahlung liefern kann. Weiterhin ist der Leuchtstoff so konfiguriert, dass er im sichtbaren Spektralbereich emittiert, um abzusichern, dass er mit dem Kameramodul eines handelsüblichen Smartphones erfassbar ist. Außerdem ist der Leuchtstoff so konfiguriert, dass seine Lumineszenz nach Abschluss der Blitzlichtanregung im ms-Bereich abklingt, sodass eine sichere Verifikation nach Beendigung der Anregung möglich ist.

[0048] Das weiße Licht einer Beleuchtungseinheit eines Smartphones wird durch eine LED erzeugt, welche aus einem beispielsweise bei etwa 450 nm emittierenden LED-Halbleiterchip und einem oder mehreren oberhalb des LED-Halbleiterchip platzierten LED-Konversionsleuchtstoffen besteht. Diese Konversionsleuchtstoffe sind in der Lage, die Emission der blauen LED anteilig in längerwellige sichtbare Lumineszenzstrahlung (breitbandige Emissionen im grünen, gelben und roten Spektralbereich) mit einem Emissionsmaximum von beispielsweise etwa 560 nm umzuwandeln. Das weiße Licht der als Beleuchtungseinheit handelsüblicher Smartphones bereitstehenden LED resultiert aus der additiven Farbmischung der beschriebenen einzelnen Lumineszenzkomponenten, wobei der blaue Spektralanteil die deutlich höhere Intensität aufweist. Das bedeutet, dass der für die Bereitstellung des erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmals verwendbare Leuchtstoff vorzugsweise so konfiguriert sein muss, dass er insbesondere im Bereich zwischen 420 nm bis 470 nm eine hohe Effizienz der spektralen Anregbarkeit aufweist. Besonders bevorzugt liegt das Maximum der spektralen Anregbarkeit des Leuchtstoffes bei etwa 450 nm.

[0049] Zur Detektion der Lumineszenzsignale des Leuchtstoffes steht als Bilderfassungseinheit die Smartphone-Kamera zur Verfügung. Bevorzugt ist die Bilderfassungseinheit mit einem CMOS-Sensor und einem IR-Filter ausgestattet. Sie weist damit eine spektrale Empfindlichkeit auf, die den gesamten sichtbaren Spektralbereich bis etwa 750 nm umfasst. Mittels der Bilderfassungseinheit können Einzelbilder, Bildserien oder Videoaufnahmen aufgezeichnet werden. Dies bedeutet für den zur Erstellung des Sicherheitsmerkmals verwendeten Leuchtstoff, dass er so konfiguriert sein muss, dass nach der erfolgten Anregung mit möglichst hoher Intensität bevorzugt im Spektralbereich zwischen 480 nm und 750 nm emittiert.

[0050] Das für die Verifikation des Sicherheitsmerkmals erfindungsgemäß verwendete mobile Endgerät ist vorzugsweise ein herkömmliches Smartphone. Es ist für den Fachmann verständlich, dass dieselbe Funktionalität auch in ein Tablet oder ein ähnliches multifunktionales Datenverarbeitungsgerät integriert sein kann, wozu es mit einer Kamera mit Bilderfassungseinheit und/oder Beleuchtungseinheit sowie einer Datenverarbeitungseinheit ausgerüstet sein muss. Derartig gleich wirkende Geräte sollen von der Erfindung ebenfalls umfasst sein. Bevorzugt ist die Datenverarbeitungseinheit ein Prozessor, insbesondere ein Mikroprozessor.

[0051] Bevorzugt ist der Leuchtstoff im Sicherheitsmerkmal so angeordnet, dass er ein Muster bildet. Die Leuchtstoffpigmente sind bevorzugt als ein definiertes Muster auf einem Träger aufgebracht. Das Muster kann als eine Form, beispielsweise ein Dreieck oder ein Stern angeordnet sein. Alternativ kann das durch den Leuchtstoff gebildete Muster des Sicherheitsmerkmals selbst Daten enthalten und als ein Code, beispielsweise eine QR-Code, angeordnet sein. Die Leuchtstoffpigmente sind als Sicherheitsmerkmal beispielsweise auf ein Sicherheitsdokument aufgedruckt. Das Aufdrucken oder Applizieren kann mit bekannten Druckverfahren wie Tiefdruck, Flexodruck, Offsetdruck oder Siebdruck erfolgen. Weiterhin kann der Leuchtstoff durch Beschichtungsverfahren oder Laminierungsverfahren auf das Sicherheitsdokument aufgebracht oder in das Sicherheitsdokument eingebracht werden. Bevorzugt ist die Korngrößenverteilung der Leuchtstoffpigmente an das jeweilige Druck- und Applikationsverfahren angepasst.

[0052] Bevorzugt besitzt das Sicherheitsmerkmal, insbesondere der Leuchtstoff, eine hohe Verarbeitungsstabilität. Insbesondere weist der Leuchtstoff eine hohe thermische und mechanische Stabilität auf. Der Leuchtstoff weist vorzugsweise eine hohe Alterungsbeständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen auf. Die Stabilität und die Alterungsbeständigkeit sind erforderlich, um eine sichere Verifizierbarkeit des Sicherheitsmerkmals über den gesamten Lebenszyklus des Sicherheitsdokuments zu sichern.

[0053] Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmals, welches einen Leuchtstoff umfasst, ist darin zu sehen, dass das Sicherheitsmerkmal aufgrund der speziell konfigurierten Lumineszenzcharakteristika des Leuchtstoffes mittels eines Smartphone-Blitzlichts anregbar und seine Emission durch die Smartphone-Kamera detektierbar ist, was eine einfache, schnelle und anwenderfreundliche Verifizierung des Sicherheitsmerkmals ermöglicht. Es kann eine Authentizitätsprüfung und/oder Integritätsprüfung erfolgen. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, für die Bereitstellung des Sicherheitsmerkmals einen speziellen Leuchtstoff mit Abklingzeiten im ms-Bereich auszuwählen, dessen Lumineszenzsignale auch nach Beendigung des Anregungsprozesses noch sicher messbar sind. Die Verifikation bezieht sich in vorteilhafter Weise nicht ausschließlich auf den Nachweis der Anwesenheit des Sicherheitsmerkmals, sie schließt als Echtheitskriterien auch das Emissionsspektrum, die konkrete Form der Abklingkurve (Abklingcharakteristik) und das durch die Leuchtstoffpigmente ausgebildete Muster in die Echtheitsprüfung ein. Ein weiterer Vorteil des Sicherheitsmerkmals besteht darin, dass es vom Menschen nicht visuell wahrgenommen werden kann.

[0054] Die erfindungsgemäße Anordnung umfasst ein erfindungsgemäßes Sicherheitsmerkmal in einer der zuvor beschriebenen Ausführungen, welches auf ein Wert- oder Sicherheitsdokument angebracht oder in ein Wert- und Sicherheitsdokument eingebracht ist. Außerdem umfasst die Anordnung ein Smartphone, welches eine Beleuchtungseinheit, eine Bilderfassungseinheit und eine Datenverarbeitungseinheit umfasst.

[0055] Es hat sich herausgestellt, dass ein vorteilhafter Lösungsansatz dafür, die abklingende Lumineszenz der Leuchtstoffe nach Beendigung des Anregungsprozesses sicher messen zu können, darin besteht, als Detektionsverfahren eine Kombination von Einzelblitz und Serien- bzw. Videoaufnahmen anzuwenden, wobei die Zeitdauer der Serien- oder Videoaufnahmen die des anregenden Blitzlichtes deutlich übertreffen muss.

[0056] Zugleich ist die Aufnahmedauer an die Abklingzeit des verwendeten Leuchtstoffes anzupassen. Bei der letzten

Aufnahme, also beim letzten Frame, sollte die Emissionsintensität des Leuchtstoffes so wie vor der Blitzlichtanregung gleich Null sein. Dann kann dieser Frame als Referenz für die Berechnung der Bilddifferenzen (B_1-R ; B_2-R ;... B_n-R) verwendet werden. Die Analyse der Bilddifferenzen, die vorzunehmende Kontrastanpassung und die Berücksichtigung und Einbeziehung weiterer Verfahren zur Bildanalyse (Histogrammanalyse der unterschiedlichen Farbkanäle) können als eine wesentliche Voraussetzung dafür betrachtet werden, mit der Hilfe des Smartphones nicht nur die Anwesenheit eines ausgewählten erfinderischen Leuchtstoffes nachzuweisen, sondern zugleich auch die spektrale Emissions- und die exklusive Abklingcharakteristik zu verifizieren.

[0057] Weiterhin hat sich gezeigt, dass es äußerst vorteilhaft ist, bei der Echtheitsverifikation des Sicherheitsdokumentes den Abstand zwischen dem Smartphone und dem zu prüfenden Sicherheitsmerkmal möglichst gering zu halten. Auf diese Weise können die Intensität Blitzlichtanregung erhöht und der störende Einfluss von Fremdlicht deutlich reduziert werden. Insbesondere kann der Abstand zwischen der Detektionseinrichtung und dem Sicherheitsdokument geringer als der Schafteinstellungsbereich des Smartphones gewählt werden; für die Ausnahme und Verifizierung der diffusen Lumineszenzsignale werden keine scharfen Bilder benötigt.

[0058] Das Smartphone ist beispielsweise mit einer App derart zu konfigurieren, dass für die Verifikation des Sicherheitsmerkmals mindestens die folgenden Schritte ausgeführt werden:

In einem ersten Verfahrensschritt wird das Sicherheitsmerkmal mittels der Beleuchtungseinheit des Smartphones, vorzugsweise durch Auslösung eines Einzelblitzes des LED-Blitzlichtmoduls zur Lumineszenz angeregt, sodass das Sicherheitsmerkmal eine elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Spektralbereich emittiert.

[0059] In einem zweiten Verfahrensschritt werden parallel zur Einzelblitz-Anregung mittels der Bilderfassungseinheit, also mit Hilfe des Kameramoduls des Smartphones, die nach Beendigung der Anregung auftretenden abklingenden Lumineszenzsignale des Leuchtstoffes des erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmals erfasst.

[0060] In einem weiteren Verfahrensschritt werden die Lumineszenzcharakteristika in den erfassten Bildern mittels der Datenverarbeitungseinheit ausgewertet und mit Referenzdaten verglichen, um das Sicherheitsmerkmal zu verifizieren und die Echtheit des Sicherheitsdokuments zu bestätigen.

[0061] Weitere Einzelheiten, Vorteile und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung, unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmals auf einem Sicherheitsdokument in Gestalt einer Banknote;

Fig. 2 eine schematische Darstellung von Komponenten einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Verifikation des Sicherheitsmerkmals;

Fig. 3 eine schematische Darstellung des An- und Abklingverhaltens eines Leuchtstoffes des Sicherheitsmerkmals bei Blitzlichtanregung;

Fig. 4 ein Ablaufplan zur Durchführung der Verifikation des Sicherheitsmerkmals mit der erfindungsgemäßen Anordnung;

Fig. 5 ein Anregungsspektrum der 700 nm Emissionsbande eines erfindungsgemäßen Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1;

Fig. 6 ein Emissionsspektrum der bei 450 nm angeregten stationären Photolumineszenz des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1;

Fig. 7 spektrale Abklingkurven der unterschiedlichen Emissionsbanden eines im Ausführungsbeispiel 1 beschriebenen erfinderischen Leuchtstoffes;

Fig. 8 ein Farbshift der über den gesamten sichtbaren Spektralbereich detektierten, abklingenden Lumineszenz des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1, dargestellt anhand des zeitlichen Verlaufes der x-y-Farbkordinaten in der CIE- Normfarbtafel;

Fig. 9 Emissionsspektren der stationären Photolumineszenz der bei 450 nm angeregten Leuchtstoffe gemäß der Ausführungsbeispiele 2 und 3;

Fig. 10 Abklingkurven der Hauptemissionsbanden der bei 450 nm angeregten Leuchtstoffe gemäß der Ausführungsbeispiele 2 und 3;

[0062] Fig. 1 zeigt ein erfindungsgemäßes Sicherheitsmerkmal 01, welches auf einem Werdokument, nämlich einem symbolisiert dargestellten Sicherheitsdokument 02 in Form einer Banknote aufgebracht ist. Das Sicherheitsmerkmal dient dem Echtheitsnachweis des Sicherheitsdokuments 02. Das Sicherheitsmerkmal 01 weist hier eine Sternform auf. Es ist unterhalb eines sichtbaren Merkmals 03, in diesem Fall des Nominalwertes der Banknote, positioniert. Das Sicherheitsmerkmal 01 besteht aus einem mittels der Beleuchtungseinheit eines Smartphones vorzugsweise im blauen Spektralbereich zur im ms-Bereich abklingenden Lumineszenz anregbaren Leuchtstoff, wie er weiter oben im Rahmen der Erfindungsbeschreibung offenbart wurde.

[0063] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Anordnung zur Verifikation des Sicherheitsmerkmals 01, wobei das Sicherheitsmerkmal mittels einer Beleuchtungseinheit 04 einer Bildaufnahmeeinheit 06 eines mobilen Endgerätes, nämlich eines Smartphones 07, zur Lumineszenz angeregt wird, indem die Beleuchtungseinheit 04 Anregungslicht, insbesondere weißes LED-Blitzlicht 08 mit einem spektralen Maximum von etwa 450 nm erzeugt. Das Blitzlicht 08 besitzt eine Intensität I_A . Während der Anregung emittiert der Leuchtstoff des Sicherheitsmerkmals 01 eine stationäre elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Spektralbereich, welche nach dem Ende der Anregung im ms-Bereich abklingt. Die abklingende Emission I_E des Leuchtstoffes wird mit einer Kamera 09 der Bildaufnahmeeinheit 06 des Smartphones 07 durch Auslösen einer Serien- oder Videoaufnahme detektiert. Weiterhin detektiert die als Detektor arbeitende Kamera 09 eine auf das Sicherheitsmerkmal 01 und die Banknote 02 auftreffende und dort reflektierte Umgebungsstrahlung I_0 des Tages- oder Raumlichtes. Der Einfluss der Umgebungsstrahlung I_0 kann beim erfindungsgemäßen Verfahren dadurch gering gehalten werden, dass ein Abstand d zwischen dem Sicherheitsmerkmal 01 und dem Smartphone 07 gering gehalten wird. Durch den geringen Abstand d , der vorzugsweise unterhalb des Scharfbereichs der Bildaufnahmeeinheit 06 liegt, schirmt das Smartphone 07 die Umgebungsstrahlung I_0 größtenteils ab. Für die sichere Verifizierung der diffusen Lumineszenzsignale des Sicherheitsmerkmals werden nämlich keine scharfen Bildaufnahmen benötigt.

[0064] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung des An- und Abklingverhaltens des Leuchtstoffes, der im Sicherheitsmerkmal 01 verwendet wird. Im Diagramm ist eine Emissionskurve 11 des zur Lumineszenz angeregten Sicherheitsmerkmals 01 entlang einer Zeitachse t dargestellt. Weiterhin ist eine Blitzlicht-Anregungskurve 12 entlang der Zeitachse aufgetragen. Wird der Einzelblitz mittels des Smartphones 07 (Fig. 2) erzeugt, steigt die LED-Blitzlicht-Anregungskurve 12 steil an, hält ihr Niveau für kurze Zeit und sinkt dann im ns- bis μ s-Bereich auf null ab. Durch die elektromagnetische Strahlung des Blitzlichtes wird der Leuchtstoff des Sicherheitsmerkmals 01 zur Lumineszenz angeregt, wobei dessen Emissionskurve 11 nahezu zeitgleich mit der Blitzlicht-Anregungskurve 12 ansteigt. Die Emission des Leuchtstoffes 11 klingt nach Beendigung der Blitzlichtanregung 12 deutlich langsamer als die anregende Strahlung der vorzugsweise mit weiß emittierenden LED ausgestatteten Beleuchtungseinheit des Smartphones ab. Die Abklingzeit des Leuchtstoffes liegt erfindungsgemäß im ms-Bereich.

[0065] Unterhalb der Zeitachse sind in Fig. 3 einzelne durch den Detektor 09 des Smartphones 07 (Fig. 2) erfasste Bilder 13 des Sicherheitsmerkmals 01 dargestellt. Die Bildaufnahmen 13 zeigen die abklingende Emissionsintensität des Sicherheitsmerkmals 01 anhand der mit der Zeit geringer werdenden Helligkeit des beispielhaft verwendeten Stern-Musters. Nach dem im Wesentlichen vollständigen Abklingen der Emission des Leuchtstoffes kann als letztes Bild der aufgenommenen Bildfolge ein Referenzbild 14b erfasst werden. Je nach Auswerteverfahren kann ein zusätzliches Referenzbild 14a (Startbild) auch vor der Aktivierung der Anregungsstrahlung (Auslösen des Blitzes) aufgenommen werden. Optional kann zur Absicherung der Verfügbarkeit eines für die Berechnung der Bilddifferenzen erforderlichen Referenzbildes gegebenenfalls bereits vor dem Auslösen der für die Detektion der abklingenden Lumineszenzsignale des Sicherheitsmerkmals entscheidenden Serien- oder Videoaufnahmen als ein zusätzliches Referenzbild ein Startbild 14a aufgenommen werden.

[0066] Fig. 4 zeigt in vereinfachter Form den prinzipiellen Ablauf der Verifikation des Sicherheitsmerkmals 01 unter Anwendung der in Fig. 3 dargestellten Anordnung. In einem Positionierungs-Schritt 41 wird das zu verifizierende Sicherheitsdokument so positioniert, dass es von der Bilderfassungseinheit des Smartphones sicher erfasst werden kann. In einem optionalen Referenzprüfungs-Schritt 42 wird bereits vor dem Auslösen der Blitzlichtanregung des Smartphones das Startbild 14a des Sicherheitsmerkmals erzeugt. In einem Detektions-Schritt 43 wird mit Hilfe der Bildaufnahmeeinheit der Beleuchtungseinheit des Smartphones ein Einzelblitz ausgelöst und eine Serienbild- bzw. Videoaufnahmen ausgeführt, um die nach dem Ende der Blitzlichtanregung vorhandenen und im ms-Bereich abklingenden Lumineszenzsignale des für die Erstellung des Sicherheitsmerkmals verwendeten Leuchtstoffes aufzuzeichnen. Schließlich werden in einem Emissions-Analyse-Schritt 44 die aufgenommenen Bildserien sowie die Referenzaufnahmen mittels der Datenverarbeitungseinheit verglichen. Neben der Berechnung der Bilddifferenzen und ihrer Analyse, werden dabei weitere Methoden der Bildverarbeitung wie beispielsweise die Kontrastanpassung und die Histogrammanalyse der unterschiedlichen Farbkanaäle zur Anwendung gebracht, um auf diese Weise sowohl die spektrale Emissions- als auch die exklusive Abklingcharakteristik des erfindungsgemäß verwendeten Leuchtstoffes zu verifizieren. Durch den Vergleich der berechneten Parameter mit den vorzugsweise im Datenspeicher des Smartphones hinterlegten Echtheitsparametern des Sicherheitsmerkmals kann die Echtheit des geprüften Sicherheitsdokuments in einem Freigabe-Schritt 45 bestätigt werden. Insbesondere kann durch die Verifikation des Sicherheitsmerkmals auf dem Sicherheitsdokument die Authentizität und

Integrität des Sicherheitsdokuments bestätigt werden.

[0067] Fig. 5 zeigt ein Anregungsspektrum 121 der 700 nm Emissionsbande eines Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1. Zur Herstellung dieses Leuchtstoffes werden 0,2822 g CaCO_3 , 0,5335 g $\text{Sc}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 10,723\text{H}_2\text{O}$, 0,1803 g SiO_2 , 0,0052 g CeO_2 , und 0,0358 g $\text{MnC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ durch Mörsern unter Zugabe von Aceton vollständig homogenisiert. Nach dem Verdampfen des Lösungsmittel wird das trockene Pulvergemisch in einen Korundtiegel überführt. Die Probe wird zuerst in einem Kammerofen bei 500 °C für 2 h in Luftatmosphäre vorkalzinert und anschließend in einem Rohrofen bei 1400 °C für 4 h in 5% H_2 /95% N_2 Atmosphäre geglüht. Das resultierende Produkt wird anschließend gesiebt. Dieser Leuchtstoff weist die Formel $(\text{Ca}_{2,82}\text{Ce}_{0,03}\text{Mn}_{0,15})(\text{Sc}_{1,95}\text{Mn}_{0,05})\text{Si}_3\text{O}_{12}$ auf. Das Anregungsspektrum verdeutlicht, dass der beispielhafte erfinderische Leuchtstoff eine maximale spektrale Anregbarkeit im Bereich von 440 bis 450 nm aufweist.

[0068] Fig. 6 zeigt ein entsprechendes Emissionsspektrum 111 des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1 bei 450 nm Anregung. Es zeigt sich, dass der über die Leuchtstoffzusammensetzung und die gewählten Präparationsbedingungen speziell konfigurierte Leuchtstoff breitbandige Emissionen über den gesamten sichtbaren Spektralbereich aufweist. Es werden drei Emissionsbanden mit Maxima bei etwa 505 nm, 570 nm und etwa 700 nm sichtbar, wobei die Bande mit einem Maximum von etwa 700 nm die höchste relative Intensität aufweist. Wie bereits beschrieben, lassen sich diese Banden der direkten Lumineszenz der Ce^{3+} Aktivatorionen (Ce^{3+} auf Ca^{2+} -Platz), sowie den über den Ce^{3+} - Mn^{2+} Energietransfer ermöglichten Emissionen der auf den unterschiedlichen Gitterplätzen positionierten Mn^{2+} Coaktivatoren (Mn^{2+} auf Ca^{2+} -Platz bzw. Mn^{2+} auf Sc^{3+} -Platz) zuordnen.

[0069] Fig. 7 zeigt die spektralen Abklingkurven der einzelnen Emissionsbanden. Die Kurve 1311 ist die Abklingkurve für die 505 nm Emission, die Kurve 1312 ist die Abklingkurve für die 570 nm Emission, und die Kurve 1313 ist die Abklingkurve für die 700 nm Emission. Es ist deutlich erkennbar, dass sich die spektralen Abklingkurven für die einzelnen Emissionen signifikant unterscheiden. Wie bereits erläutert, wird für die Emission mit einem Maximum von etwa 505 nm ein Abklingen im Nanosekunden-Bereich festgestellt, während die Lumineszenzbanden mit Maxima von etwa 570 bzw. etwa 700 nm Abklingzeiten im einstelligen bzw. im zweistelligen Millisekunden-Bereich aufweisen. Für den Fachmann wird darüber hinaus sichtbar, dass die einzelnen Abklingkurven mit großer Wahrscheinlichkeit nicht exponentiell verlaufen. Vielmehr scheinen die gemessenen Kurven multiexponentielle Abklingcharakteristika aufzuweisen.

[0070] Fig. 8 veranschaulicht den Farbshift, der resultiert, wenn die abklingende Lumineszenz über den gesamten sichtbaren Spektralbereich detektiert wird. Dabei zeigt die Fig. 8 zunächst eine schematische Darstellung einer CIE-Normfarbtafel 15 des CIE-Normvalenzsystems. Das CIE-Normvalenzsystem wurde 1931 definiert, um eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung und den physikalischen Ursachen des Farbreizes herzustellen und erfasst typischerweise die Gesamtheit aller wahrnehmbaren Farben, wobei sich die Farbwahrnehmung auf die eines definierten Normalbeobachters bezieht. Jede Farbe oder jedwedes Emissionsspektrum eines Selbstleuchters wird in der CIE-Normwerttafel durch eine einzige x-y- Koordinate abgebildet. Die Farbkoordinaten der in Abhängigkeit von der Zeit des Abklingens integral gemessenen Lumineszenzsignale sind in der Fig. 8 anhand der mit den Bezugszeichen 140 bis 147 Elemente dargestellt. Gleichzeitig können die für einen Leuchtstoff gemäß Ausführungsbeispiel 1 ermittelten Daten der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Bezugszeichen	Abklingzeit in ms	Farbkoordinaten	
		x	y
140	0	0,385	0,528
141	1	0,515	0,472
142	10	0,521	0,465
143	20	0,534	0,453
144	30	0,554	0,432
145	40	0,577	0,407
146	50	0,595	0,385
147	60	0,603	0,374

[0071] Der tendenziell vom grünen in den roten Spektralbereich führende Farbshift resultiert aus der Überlagerung der in der Fig. 6 dargestellten Emissionsbanden sowie aus den Unterschieden und der Überlagerung der entsprechenden in der Fig. 7 dargestellten Abklingkurven des erfindungsgemäßen Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1. Das beschriebene spezielle Abklingverhalten trägt in hohem Maße zur Exklusivität des erfindungsgemäßen $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$ -Leuchtstoffes bei.

[0072] Fig. 9 zeigt die Emissionsspektren 1123, 113 der stationären Photolumineszenz der bei 450 nm angeregten Leuchtstoffe gemäß den Ausführungsbeispielen 2 und 3. Fig. 10 zeigt die zugehörigen Abklingkurven 132, 133 der Hauptemissionsbanden der bei 450 nm angeregten Leuchtstoffe gemäß der Ausführungsbeispiele 2 und 3.

[0073] Zur Herstellung des Leuchtstoffs nach Ausführungsbeispiel 2 werden 0,2898 g CaCO_3 , 0,1362 g Sc_2O_3 , 0,1803 g SiO_2 , 0,0130 g $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,0179 g $\text{MnC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ und 1,8170 g Tris(hydroxymethyl)aminomethan unter Rühren und Erhitzen auf einer Heizplatte in einem Gemisch aus 10 ml Salpetersäure und 100 ml Wasser vollständig gelöst. Anschließend wird die Flüssigkeit solange eingedampft, bis sich das übrig bleibende Gel entzündet und ein schwarzer Schaum entsteht. Dieser Schaum wird zuerst bei 150 °C in einem Trockenschrank getrocknet, danach fein gemörsert und in einen Porzellantiegel überführt. In einem ersten Heizschritt wird das Gemisch zum Zwecke der Zersetzung verbliebener organischer Restbestandteile für 2 h bei 1000 °C in der Luftatmosphäre eines Kammerofens geglüht. Anschließend wird das nunmehr eine weiße Körperfarbe aufweisende Glühgut mit zwei Massenprozent Borsäure vermengt und erneut diesmal für 4 h bei 1300 °C in einer 5 %-igen Formiergas- Atmosphäre geglüht. Der resultierende Leuchtstoff weist die Zusammensetzung $(\text{Ca}_{2,895}\text{Ce}_{0,03}\text{Mn}_{0,075})(\text{Sc}_{1,975}\text{Mn}_{0,025})\text{Si}_3\text{O}_{12}$ auf. Die Kurve 112 in der Fig. 9 zeigt das Emissionsspektrum dieses Leuchtstoffes. In der Fig. 10 bezeichnet die Kurve 132 die Abklingkurve für diesen bevorzugt im grünen Spektralbereich emittierenden Leuchtstoff.

[0074] Zur Herstellung des Leuchtstoffs gemäß Ausführungsbeispiel 3 mit der Zusammensetzung $(\text{Ca}_{2,745}\text{Ce}_{0,03}\text{Mn}_{0,225})(\text{Sc}_{1,925}\text{Mn}_{0,075})\text{Si}_3\text{O}_{12}$ werden 0,2747 g CaCO_3 , 0,1327 g Sc_2O_3 , 0,1803 g SiO_2 , 0,0130 g $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,0537 g $\text{MnC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ und 1,8170 g Tris(hydroxymethyl)aminomethan unter Rühren und Erhitzen in einem Gemisch aus 10 ml Salpetersäure und 100 ml Wasser gelöst. Anschließend wird die Flüssigkeit eingedampft, bis sich das entstehende Gel entzündet. Der entstehende schwarze Schaum wird bei 150 °C in einem Trockenschrank getrocknet, danach fein gemörsert und in einen Porzellantiegel überführt. Nach einer ersten zweistündigen Glühung bei 1000 °C in der Luftatmosphäre eines Kammerofens sowie dem anschließenden Hinzumischen von zwei Massenprozent Borsäure zu dem abgekühlten Glühgut erfolgt eine erneute vierstündige thermische Behandlung bei 1100 °C in einer 5 %-igen Formiergas-Atmosphäre. Das bei 450 nm Anregung gemessenen Emissionsspektrum des erhaltenen Leuchtstoffes ist in der Kurve 113 der Fig. 9 dargestellt, die zugehörige Abklingkurve ist der Kurve 133 der Fig. 10 zu entnehmen.

[0075] Die beiden Ausführungsbeispiele und die dazugehörigen Figuren zeigen noch einmal mit aller Deutlichkeit, dass es sich bei den $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$, Mn^{2+} - Leuchtstoffen um eine besonders geeignete Leuchtstoffklasse für die Ausbildung eines erfindungsgemäßen Sicherheitsmerkmals handelt. Durch Variation der Leuchtstoffzusammensetzung und der Präparationsbedingungen lassen sich zahlreiche exklusive Leuchtstoffkompositionen mit unterschiedlichem Abklingverhalten und unterscheidbarer Emissionsspektren und mit einer aus diesem Grunde ausgeprägt hohem Sicherheits- und Echtheitsniveau erstellen. Die exklusiven Eigenschaften der zum Schutze von Wert- und Sicherheitsdokumenten in der Form von Sicherheitsmerkmalen anwendbaren Leuchtstoffe können mit der Hilfe handelsüblicher Smartphones sicher verifiziert werden.

Bezugszeichenliste

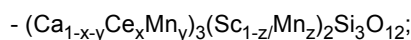
[0076]

- | | |
|---------|--|
| 01 | Sicherheitsmerkmal |
| 02 | Sicherheitsdokument / Banknote |
| 03 | Nominalwert |
| 04 | Beleuchtungseinheit |
| 05 | - |
| 06 | Bildaufnahmeeinheit |
| 07 | Smartphone |
| 08 | Blitzlicht |
| 09 | Kamera / Detektor |
| 10 | - |
| 11 | Emissionskurve |
| 12 | Blitzlicht-Anregungskurve |
| 13 | Bildaufnahme des Sicherheitsmerkmals 01 |
| 14a | Startbild |
| 14b | Referenzbild |
| 15 | CIE- Normalfarbtafel |
| 41 - 45 | Verfahrensschritte |
| 111 | Emissionsspektrum des Leuchtstoffs gemäß Ausführungsbeispiel 1 |
| 112 | Emissionsspektrum des Leuchtstoffs gemäß Ausführungsbeispiel 2 |

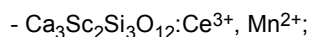
- 113 Emissionsspektrum des Leuchtstoffs gemäß Ausführungsbeispiel 3
 121 Anregungsspektrum des Leuchtstoffs gemäß Ausführungsbeispiel 1
 1311 Abklingkurve für die 505 nm-Emission des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1
 1312 Abklingkurve für die 570 nm-Emission des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1
 5 1313 Abklingkurve für die 700 nm-Emission des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1
 132 Abklingkurve der vorwiegend grünen Emission des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 2
 133 Abklingkurve der vorwiegend grünen Emission des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 3
 140 - 147 x-y-Farbkoordinaten der abklingenden integralen Lumineszenz des Leuchtstoffes gemäß Ausführungsbeispiel 1

Patentansprüche

1. Smartphone-verifizierbares Sicherheitsmerkmal mit einem Leuchtstoff, welcher durch eine von einem Smartphone erzeugte sichtbare elektromagnetische Strahlung zur Lumineszenz anregbar ist und eine Emission zeigt, welche mittels einer Bilderfassungseinheit des Smartphones detektierbar ist, wobei der Leuchtstoff aus der folgenden Gruppe gewählt ist:



mit $0 < x \leq 0,1$; $0 < y \leq 0,8$; und $0 < z \leq 0,8$; und $y/z \approx 2$;



und wobei der Leuchtstoff nach Beendigung der Anregung über eine Abklingzeit im Bereich 1 ms bis 100 ms die Emission zeigt.

2. Sicherheitsmerkmal nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leuchtstoff nach Beendigung der Anregung eine Abklingzeit von 1 ms bis 50 ms, bevorzugt eine Abklingzeit von 10 ms bis 30 ms aufweist, in welcher seine Emission im sichtbaren Spektralbereich eine Lumineszenzcharakteristik aufweist, die von der Bilderfassungseinheit des Smartphones detektierbar ist.

3. Sicherheitsmerkmal nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leuchtstoff mittels einer weißes Licht abgebenden Blitzlicht-LED des Smartphones zur Lumineszenz anregbar ist.

4. Sicherheitsmerkmal nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leuchtstoff während der Abklingzeit im Spektralbereich zwischen 480 nm und 750 nm emittiert.

5. Sicherheitsmerkmal nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leuchtstoff als eine Leuchtstoffmischung konfiguriert ist, deren Leuchtstoffkomponenten nach Beendigung der Anregung unterschiedliche, sensorisch unterscheidbare Abklingzeiten aufweisen.

6. Sicherheitsmerkmal nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leuchtstoffmischung einen bei UV-Anregung lumineszierenden, schnell abklingende Leuchtstoff enthält, dessen visuell wahrnehmbare stationäre Photolumineszenz als Maskierung der Emission des als Sicherheitsmerkmal dienenden Leuchtstoffs wirkt.

7. Sicherheitsmerkmal nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leuchtstoff als in einem Druckverfahren verarbeitungsfähige Leuchtstoffpigmente gebildet ist.

8. Sicherheitsmerkmal nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leuchtstoffpigmente ein vorbestimmtes Muster im Sicherheitsmerkmal abbilden.

9. Anordnung zur Verifikation eines Sicherheitsdokuments (02), umfassend:

- ein Sicherheitsmerkmal (01), welches am Sicherheitsdokument (02) angebracht ist, einen zur Emission anregbaren Leuchtstoff enthält und gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 gestaltet ist,
- ein Smartphone (07) mit einer Beleuchtungseinheit (04) zum Anregen des Leuchtstoffs des Sicherheitsmerkmals, mit einer Kamera (09) zum Erfassen der Emission des Leuchtstoffs nach Abschluss der Anregung während

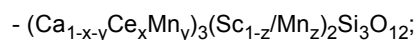
einer vorbestimmten Abklingzeit durch Aufnahme einer Bilderserie und mit einer Datenverarbeitungseinheit zur Auswertung der Bilderserie, wobei die während der Abklingzeit erfasste Emission mit gespeicherten Referenzwerten verglichen wird, um das Sicherheitsdokument zu verifizieren.

10. Anordnung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Applikation (App) auf dem Smartphone (07) installiert ist, welche die Beleuchtungseinheit (04), die Kamera (09) und die Datenverarbeitungseinheit steuert.
11. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand zwischen dem Smartphone und dem zu prüfenden Sicherheitsdokument kleiner oder gleich dem Scharfeinstellungsbereich des Smartphones gewählt ist.

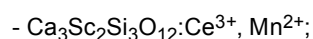
Claims

1. A security feature that can be verified by a smartphone, the security feature having a luminescent material which can be excited to luminescence by visible electromagnetic radiation generated by the smartphone, and which exhibits radiation that can be detected by an image detection unit of the smartphone, wherein

the luminescent material is selected from the following group:



with $0 < x \leq 0.1$; $0 < y \leq 0.8$; and $0 < z \leq 0.8$; and $y/z \approx 2$;



and wherein

after the excitation is over, the luminescent material exhibits radiation over a decay time in the range of 1 ms to 100 ms.

2. Security feature according to claim 1, **characterized in that** after the excitation ends, the luminescent material has a decay time of 1 ms to 50 ms, preferably a decay time of 10 ms to 30 ms, in which the emission of the luminescent material in the visible spectrum has a luminescence characteristic that can be detected by the image detection unit of the smartphone.
3. Security feature according to Claim 1 to 2, **characterized in that** the luminescent material can be excited to luminescence by a flashing LED of the smartphone that emits white light.
4. Security feature according to any one of Claims 1 to 3, **characterized in that** during the decay time, the luminescent material exhibits radiation in the spectral range between 480 nm and 750 nm.
5. Security feature according to any one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the luminescent material is configured as a luminescent material mixture, the luminescent material components of which have different decay times after the excitation ends, which can be distinguished by sensors.
6. Security feature according to Claim 5, **characterized in that** the luminescent material mixture comprises a luminescent material that luminesces under UV excitation and decays quickly, the stationary, visually perceptible photoluminescence of which acts as a mask for the emission of the luminescent material serving as a security feature.
7. Security feature according to any one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the luminescent material is formed as luminescent material pigments that can be processed in a printing method.
8. Security feature according to claim 7, **characterized in that** the luminescent material pigments represent a predetermined pattern in the security feature.
9. Arrangement for verifying a security document (02), comprising:

- a security feature (01), which is applied to the security document (02), contains a luminescent material that

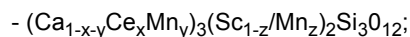
can be excited to emission, and is designed according to any of Claims 1 to 8,
 - a smartphone (07) having an illumination unit (04) for exciting the luminescent material of the security feature, having a camera (09) for detecting the emission of the luminescent material during a predetermined decay time after the excitation ends by recording an image sequence, and having a data processing unit for evaluating the image sequence, wherein the radiation detected during the decay time is compared with stored reference values in order to verify the security document.

10. Arrangement according to Claim 9, **characterized in that** an application (App) is installed on the smartphone (07), which application controls the illumination unit (04), the camera (09), and the data processing unit.

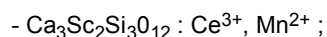
11. Arrangement according to either of Claims 9 or 10, **characterized in that** the distance between the smartphone and the security document to be checked is selected to be less than or equal to the focus range of the smartphone.

Revendications

1. Caractéristique de sécurité vérifiable par smartphone comportant une substance luminescente, qui est activée par un rayonnement électromagnétique visible généré par un smartphone pour produire la luminescence et indique une émission, qui peut être détectée au moyen d'une unité de capture d'image du smartphone, dans laquelle la substance luminescente est choisie dans le groupe suivant :



avec $0 < x \leq 0,1$; $0 < y \leq 0,8$; et $0 < z \leq 0,8$; et $y/z \approx 2$;



et dans laquelle la substance luminescente présente une émission après la fin de l'excitation pendant un temps de décroissance dans la plage de 1 ms à 100 ms.

2. Caractéristique de sécurité selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la substance luminescente présente un temps de décroissance de 1 ms à 50 ms, de préférence un temps de décroissance de 10 ms à 30 ms, après la fin de l'excitation, pendant lequel son émission dans le domaine spectral visible présente une caractéristique de luminescence, qui est détectable par l'unité d'acquisition d'images du smartphone.

3. Caractéristique de sécurité selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** la substance luminescente peut être excitée en luminescence au moyen d'une LED clignotante du smartphone qui émet de la lumière blanche.

4. Caractéristique de sécurité selon une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** la substance luminescente émet pendant le temps de décroissance dans le domaine spectral compris entre 480 nm et 750 nm.

5. Caractéristique de sécurité selon une des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** la substance luminescente est réalisé sous la forme d'un mélange de substances luminescentes, dont les composants de substance luminescente présentent des temps de décroissance différents, reconnaissables sensoriellement après la fin de l'excitation.

6. Caractéristique de sécurité selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** le mélange de substance luminescentes contient une substance luminescente qui devient luminescente sous excitation UV et décroît rapidement, dont la photoluminescence stationnaire visuellement perceptible agit comme masquage de l'émission de la substance luminescente servant d'élément de sécurité.

7. Caractéristique de sécurité selon une des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** la substance luminescente est réalisée sous forme de pigments de substance luminescente pouvant être traités dans le cadre d'un procédé d'impression.

8. Caractéristique de sécurité selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** les pigments de substance luminescente tracent un motif prédéterminé dans l'élément de sécurité.

9. Dispositif de vérification d'un document de sécurité (02), comprenant :

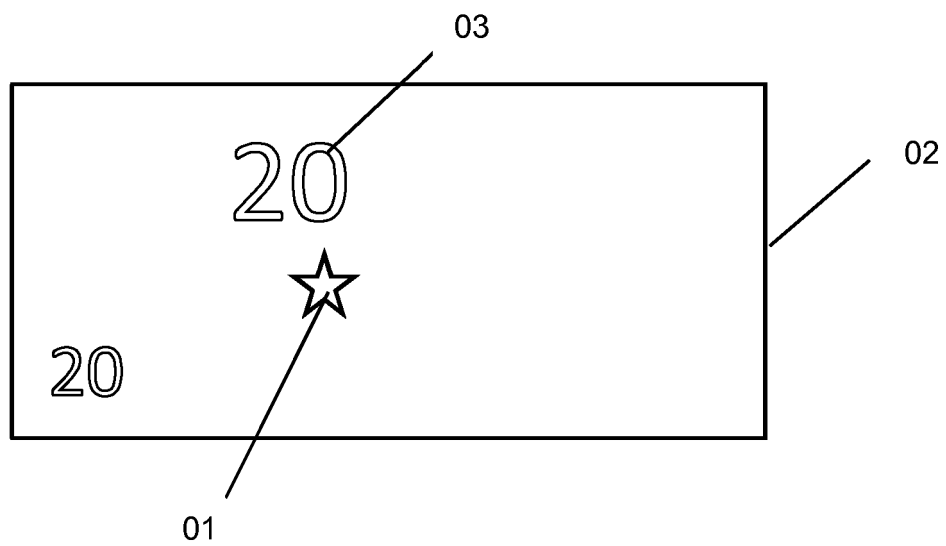
EP 3 781 408 B1

- une caractéristique de sécurité (01), qui est fixée sur le document de sécurité (02), contient une substance luminescente qui peut être excitée pour émettre et est configurée selon une des revendications 1 à 8,
- un smartphone (07) comportant une unité d'éclairage (04) pour exciter la substance luminescente de l'élément de sécurité, comportant une caméra (09) pour capturer l'émission de la substance luminescente après l'achèvement de l'excitation pendant un temps de décroissance prédéterminé en enregistrant une série d'images, et comportant une unité de traitement de données pour l'évaluation de la série d'images, dans lequel l'émission enregistrée pendant le temps de décroissance est comparée aux valeurs de référence mémorisées afin de vérifier le document de sécurité.

10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce qu'**une application (app) est installée sur le smartphone (07), qui commande l'unité d'éclairage (04), la caméra (09) et l'unité de traitement de données.

11. Dispositif selon une des revendications 9 à 10, **caractérisé en ce que** la distance entre le smartphone et le document de sécurité à contrôler est choisie inférieure ou égale à la plage de mise au point du smartphone.

Fig. 1



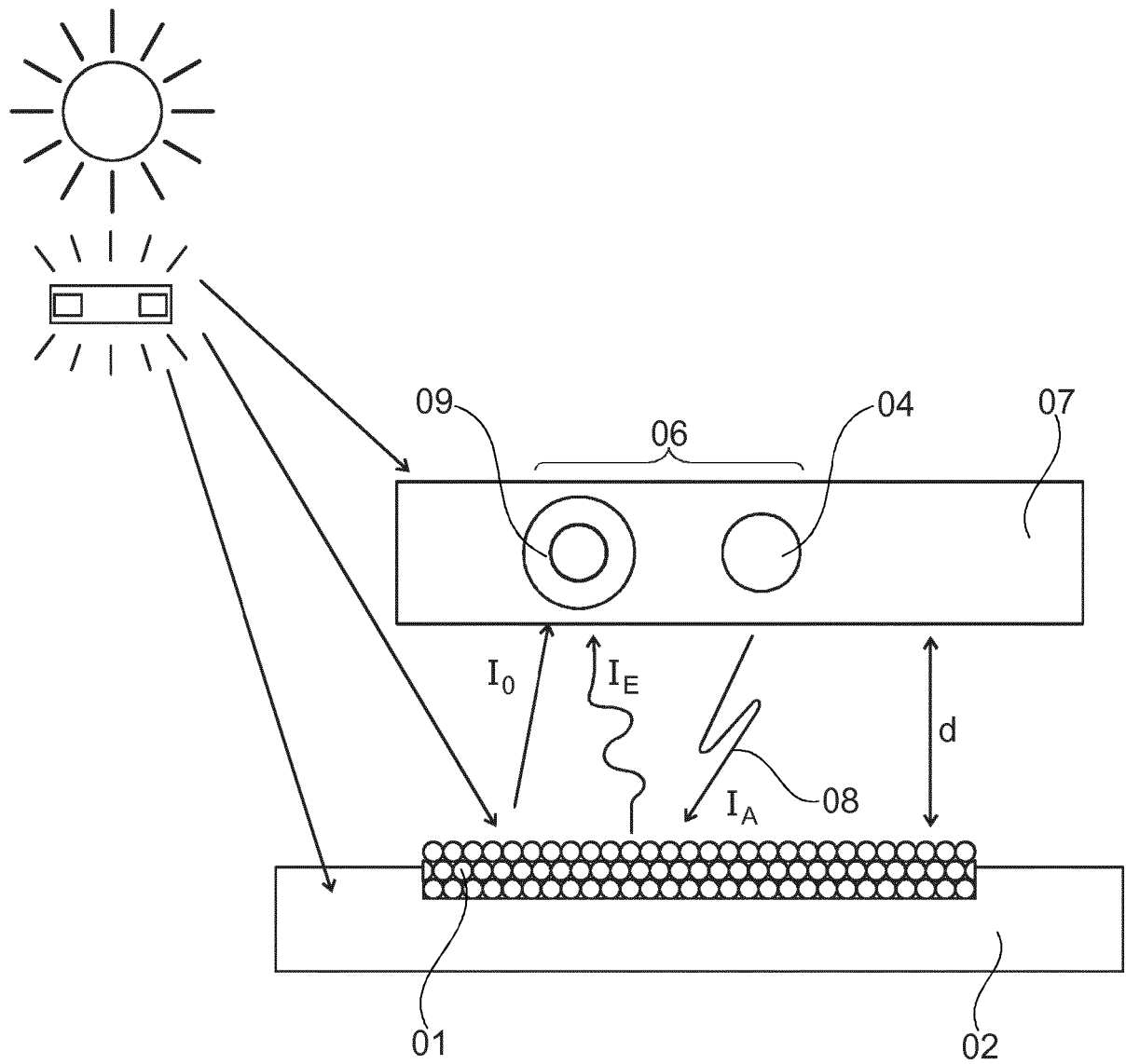


Fig. 2

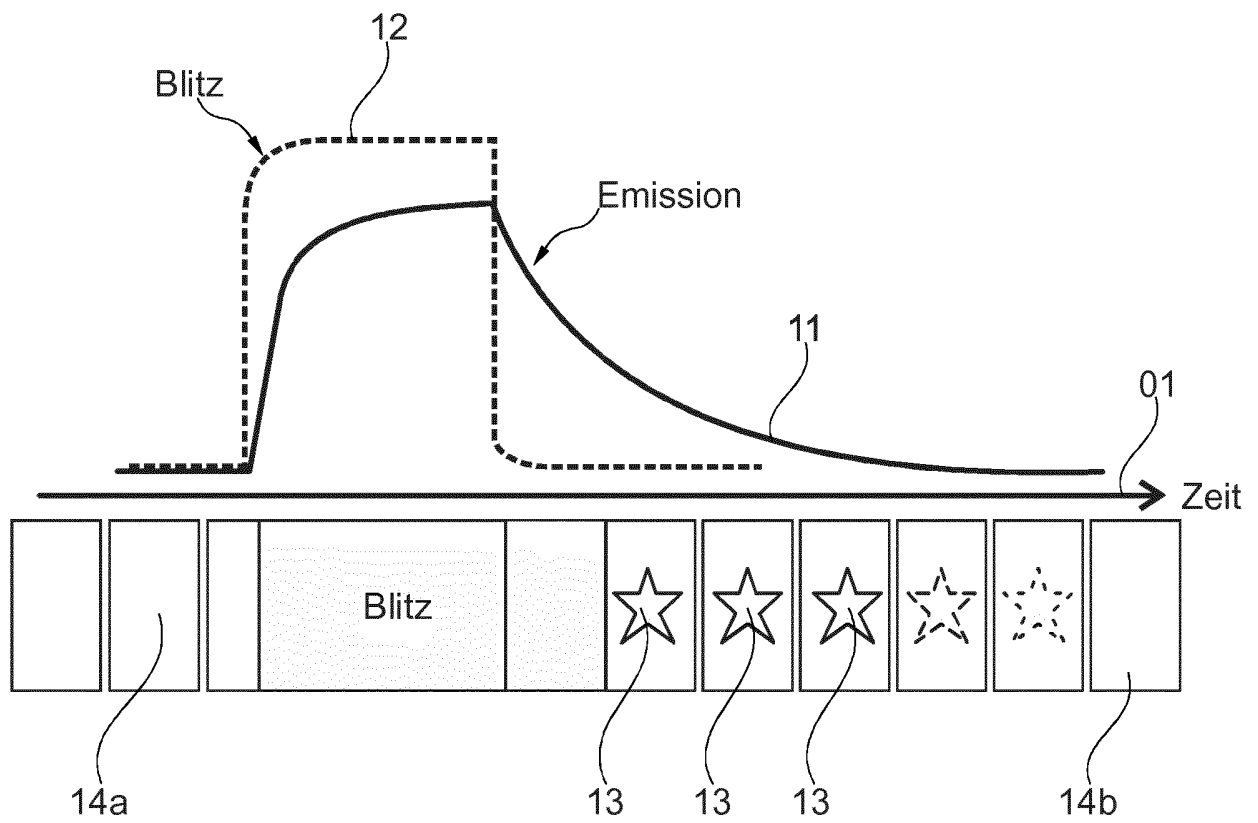


Fig. 3

Fig. 4

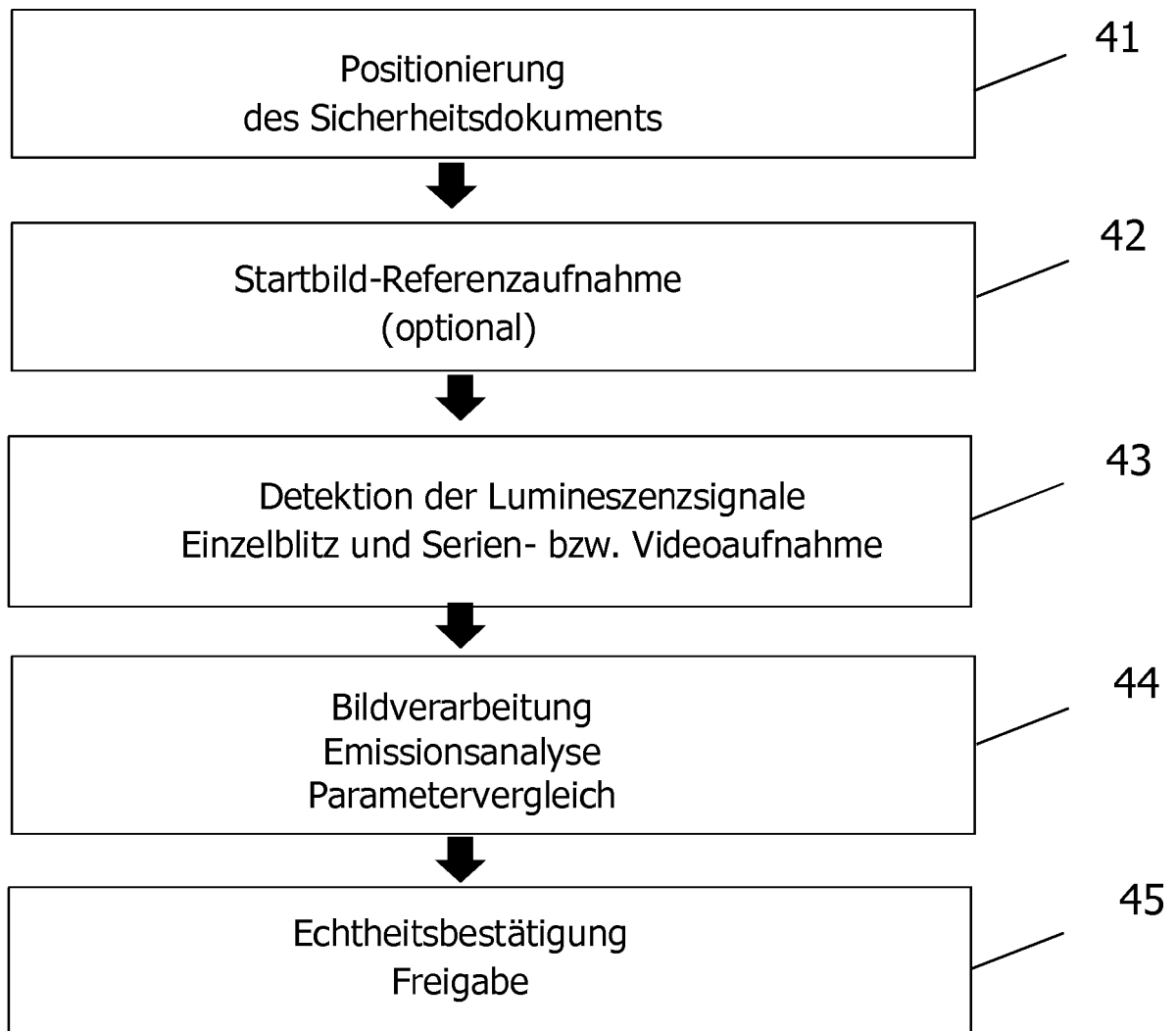


Fig. 5

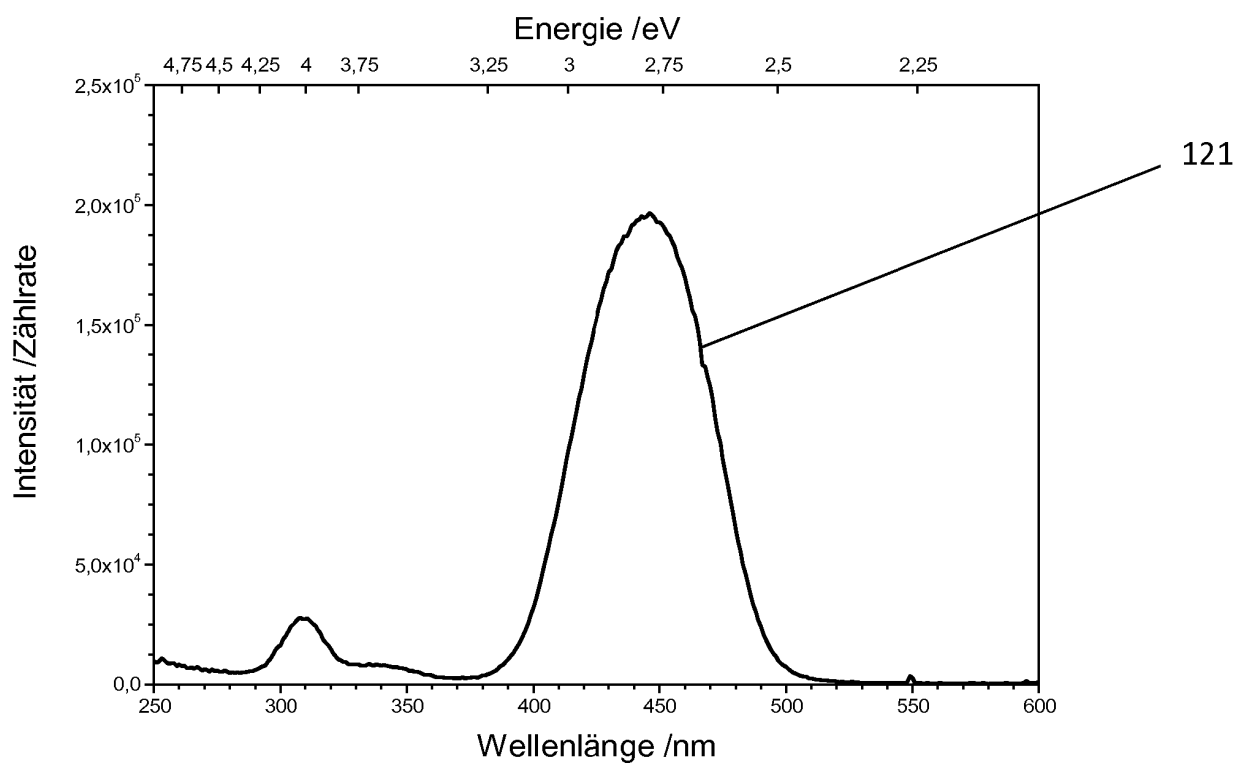


Fig. 6

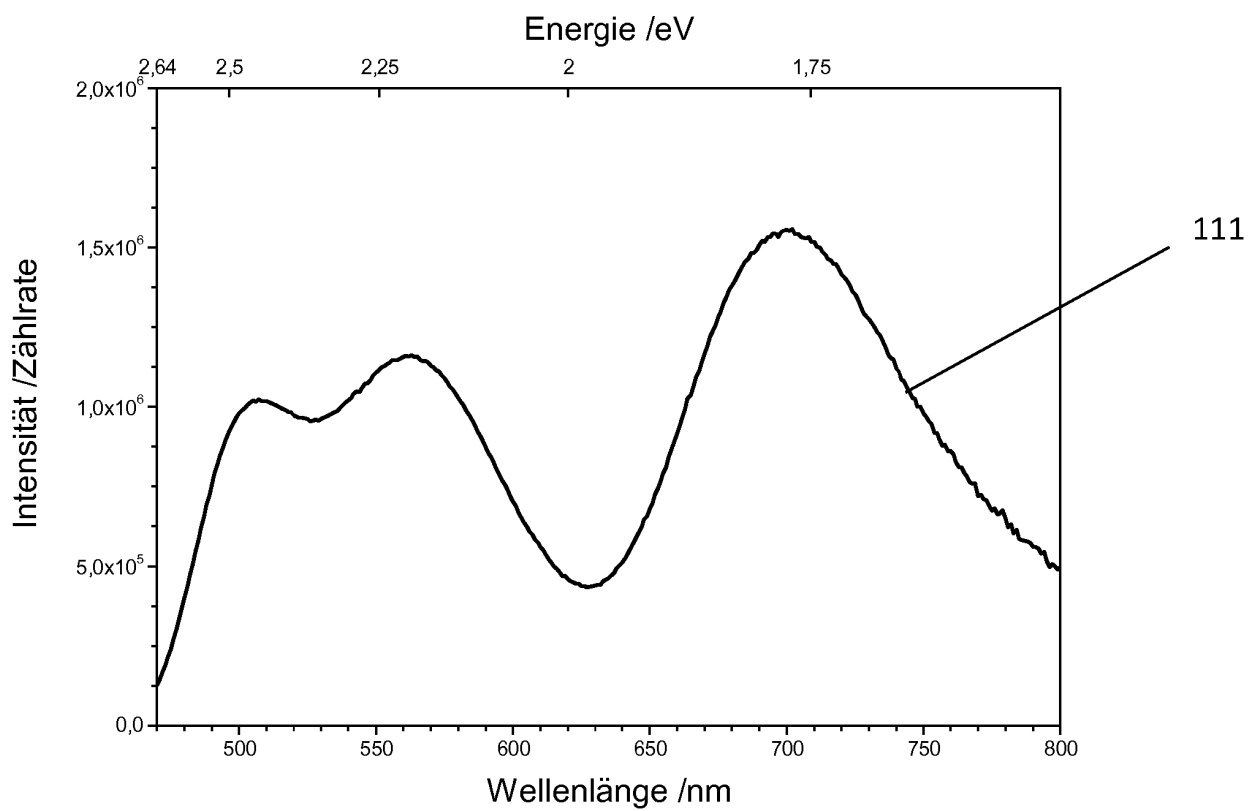


Fig. 7

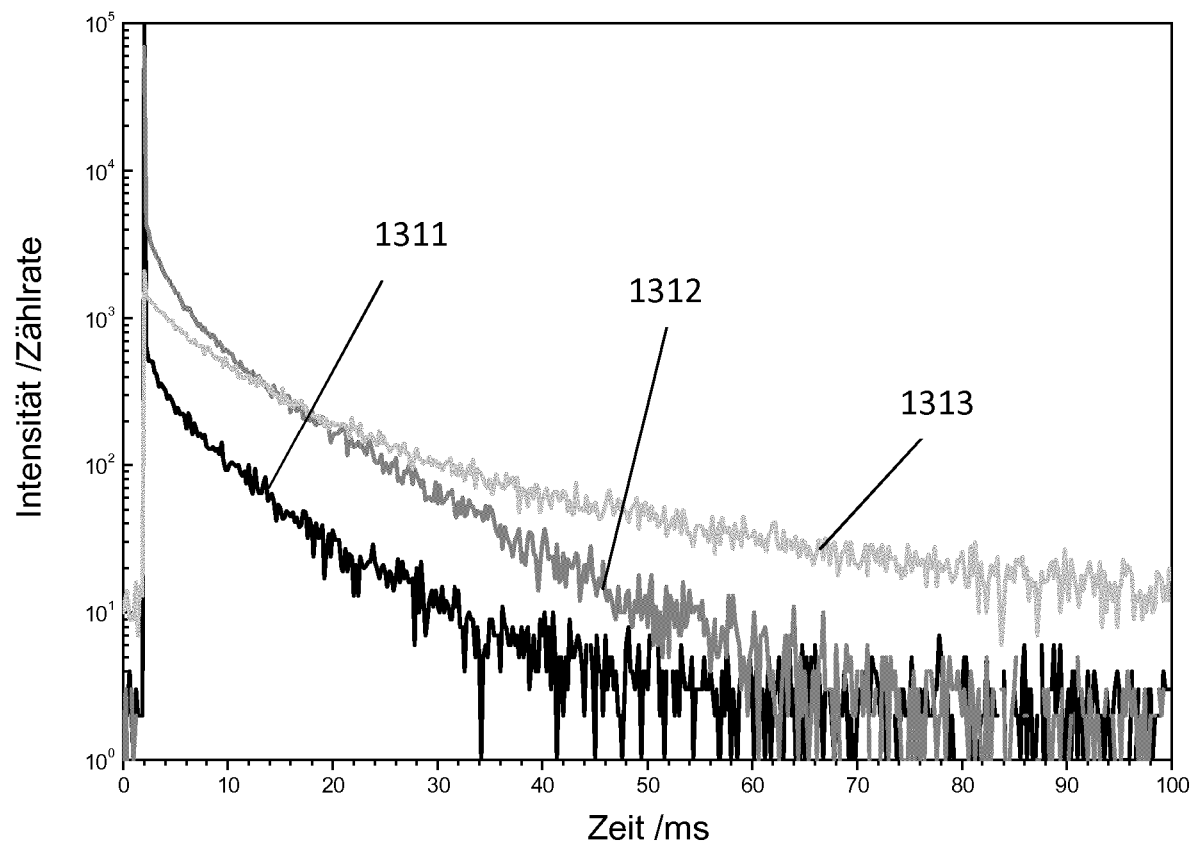


Fig. 8

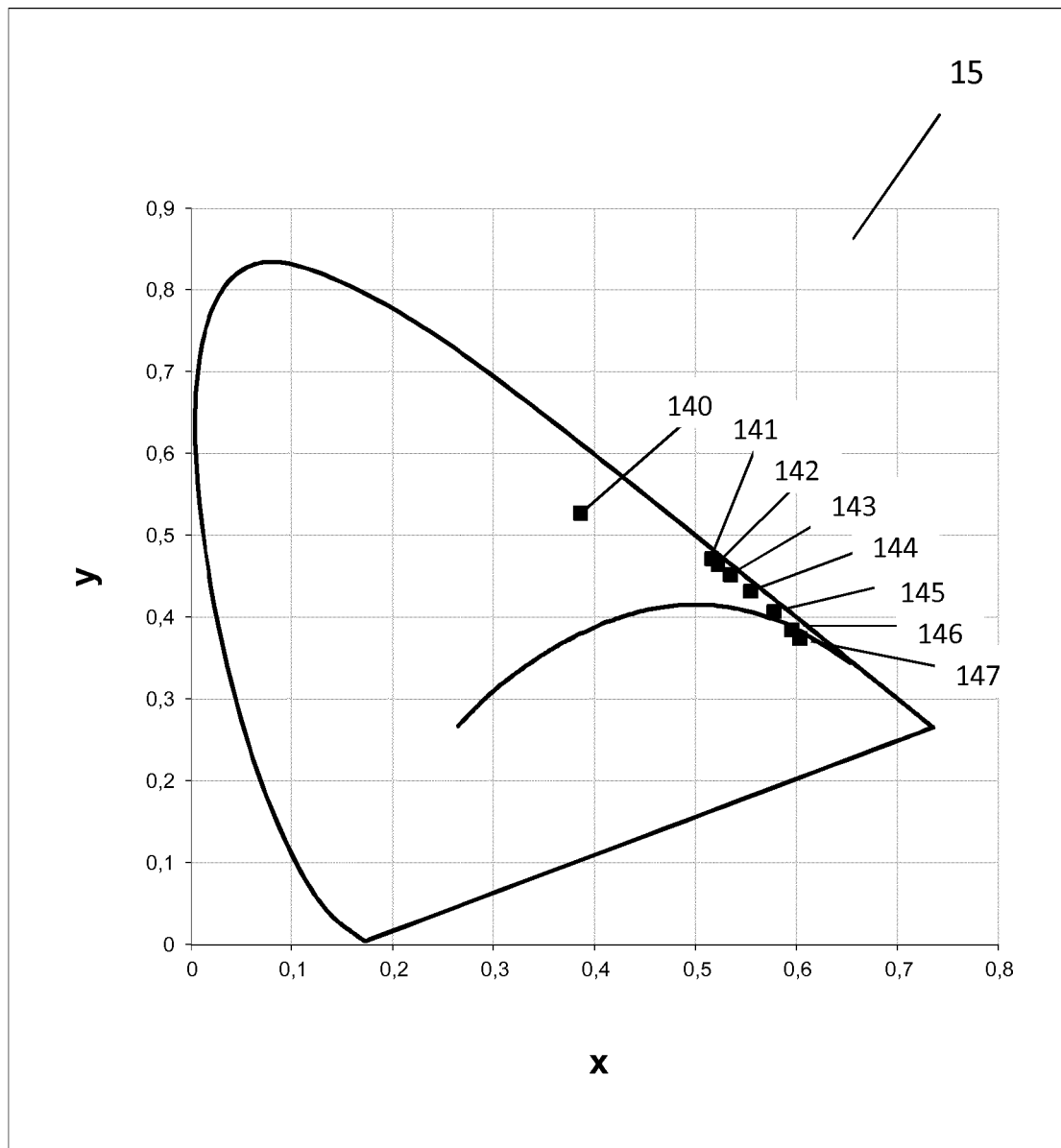


Fig. 9

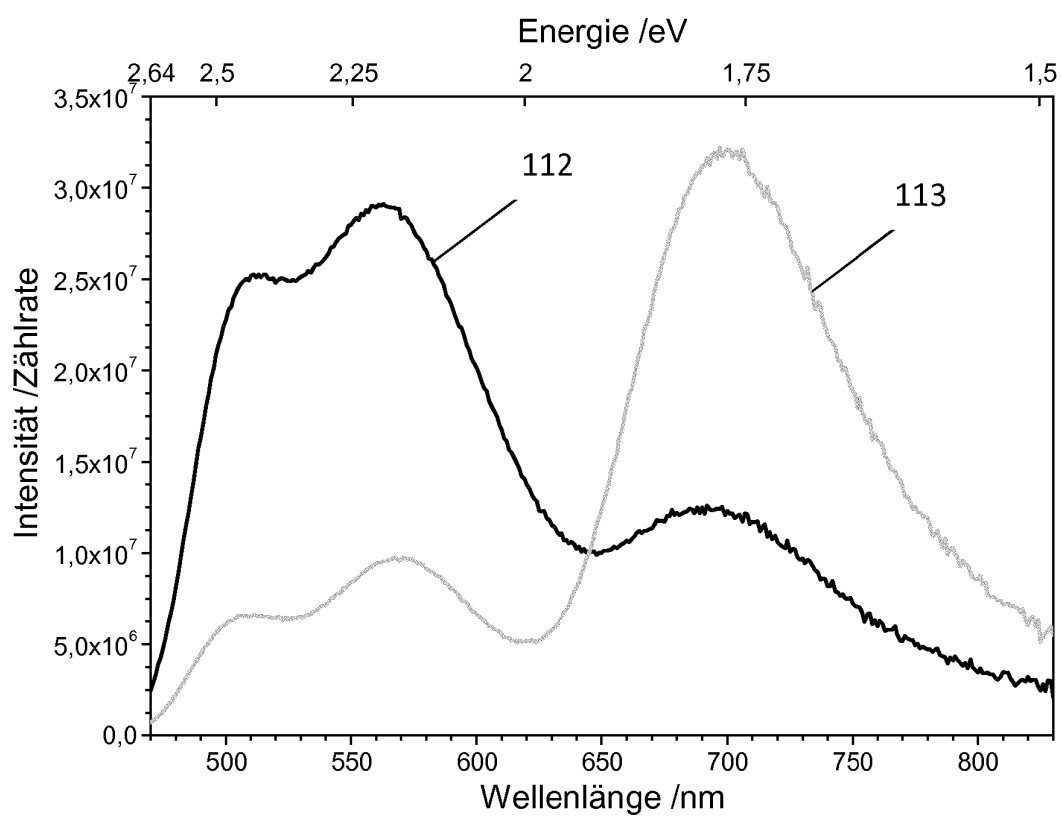
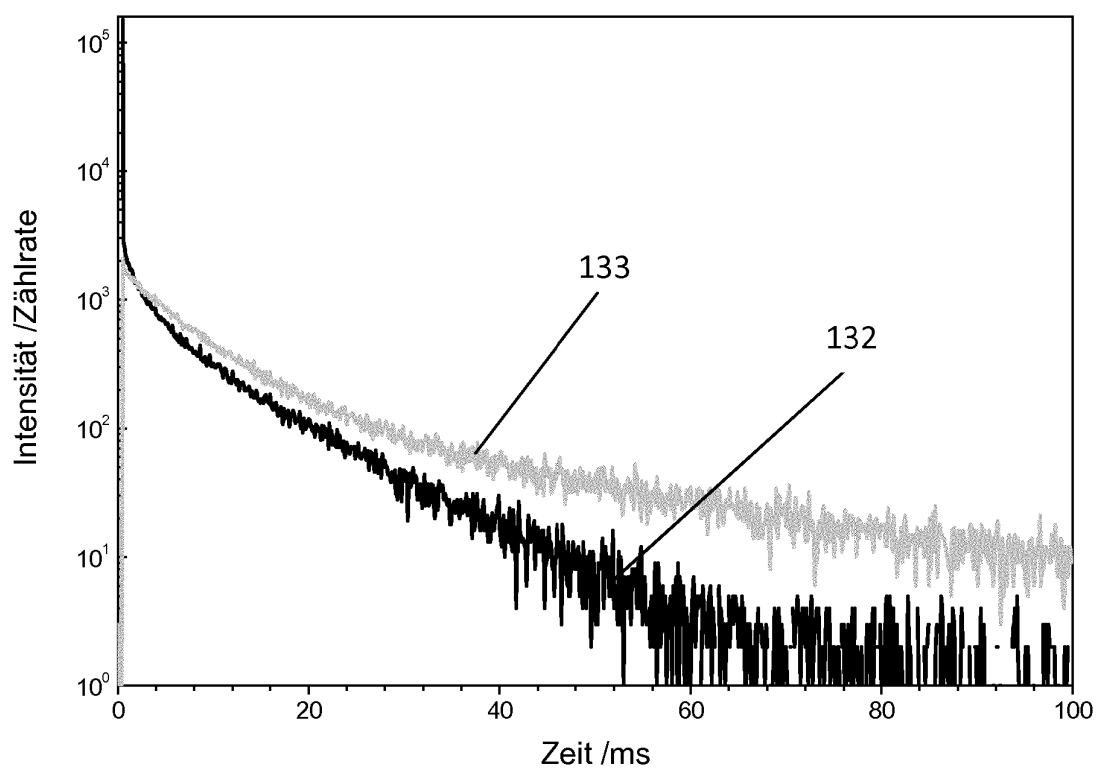


Fig. 10



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 2012083469 A1 [0004]
- DE 102015219395 A1 [0005]
- EP 0091184 A1 [0006]
- WO 02071347 A1 [0007]
- US 7079230 B1 [0008]
- EP 1672568 A1 [0009]
- US 20100102250 A1 [0010]
- US 20160314374 A1 [0011]
- US 20130153789 A1 [0012]
- WO 2018007444 A1 [0013]
- WO 2013012656 A1 [0014]
- WO 2013034471 A1 [0015]
- DE 102011082174 A1 [0015]
- WO 2013034603 A1 [0016]