



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 203 08 495 U1** 2004.11.04

(12)

## Gebrauchsmusterschrift

(22) Anmeldetag: **28.05.2003**

(47) Eintragungstag: **30.09.2004**

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **04.11.2004**

(51) Int Cl.7: **H01L 33/00**

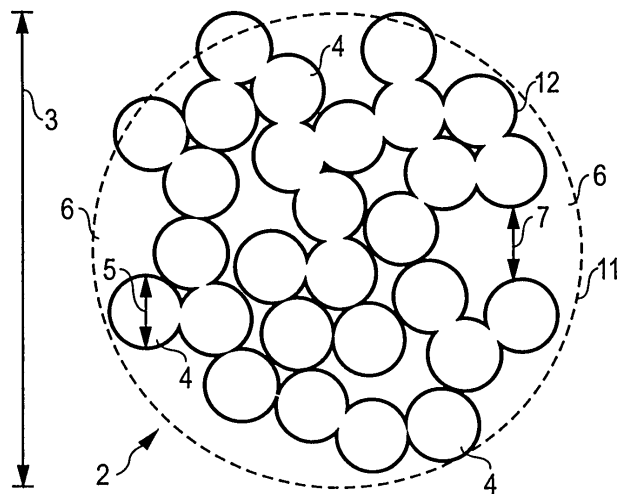
(71) Name und Wohnsitz des Inhabers:

**Patent-Treuhand-Gesellschaft für elektrische  
Glühlampen mbH, 81543 München, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Konversions-LED**

(57) Hauptanspruch: Konversions-LED, mit einem Chip, der primäre Strahlung einer ersten Wellenlänge, insbesondere mit einer Peakemissionswellenlänge von 430 bis 490 nm, emittiert, und mindestens einem als Pulver vorliegenden Leuchtstoff, der zumindest einen Teil der primären Strahlung absorbiert und bei einer anderen Wellenlänge als Sekundärstrahlung emittiert, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Partikelgröße  $d_{50}$  des Leuchtstoffs im Bereich 0,1 bis 1,5  $\mu\text{m}$  liegt.



**Beschreibung**

Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine LED hoher Effizienz, die als Konversions-LED aufgebaut ist

Stand der Technik

**[0002]** Ein Leuchtstoffpulver kleiner Partikelgröße und ein Verfahren zu dessen Herstellung ist aus I. Matsubara et al., Materials Research Bulletin 35 (2000), S. 217-224 bekannt. Die Leuchtstoffpartikel weisen eine mittlere Leuchtstoffpartikelgröße von mindestens 1 µm auf. Die Leuchtstoffpartikel bestehen aus einem mit Chrom dotierten Yttrium-Aluminium-Granat ( $Y_3Al_5O_{12}$ ). Chrom ist beispielsweise zu 0,5 mol % enthalten. Chrom stellt dabei eine optisch aktive Komponente des Granats dar. Chrom absorbiert Anregungslicht und emittiert nach Anregung Emissionslicht (Lumineszenz). Das im Granat enthaltene Chrom kann auch mit Hilfe von Elektronen zur Lumineszenz angeregt werden. So wird das bekannte Leuchtstoffpulver beispielsweise in einem Leuchtschirm (Leuchtstoffkörper) einer Kathodenstrahlröhre eingesetzt.

**[0003]** Das Herstellen des bekannten Leuchtstoffs erfolgt mit Hilfe einer sogenannten heterogenen Fällung. Dazu werden Aluminiumsulfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ) und Harnstoff in destilliertem Wasser gelöst. Die Lösung wird bei einer Temperatur von 80-90°C für eine Dauer von zwei Stunden kontinuierlich gerührt. Dabei bildet sich ein Niederschlag von Aluminiumhydroxid ( $Al(OH)_3$ ). Der erhaltene Niederschlag wird mit destilliertem Wasser und Isopropanol gewaschen und bei einer Temperatur von 120°C einen Tag lang getrocknet. Das Aluminiumhydroxid wird in destilliertem Wasser suspendiert. Um eine Agglomeratbildung des Aluminiumhydroxidpulvers zu vermeiden, wird kräftig gerührt und Harnstoff zugegeben. Stöchiometrische Mengen von Yttriumsulfat ( $Y_2(SO_4)_3$ ) und Chromsulfat ( $Cr_2(SO_4)_3$ ) werden ebenfalls in destilliertem Wasser gelöst. Danach werden die Suspensionen und die Lösung miteinander vermischt und für eine Stunde auf 80-90°C erhitzt. Der dabei erhaltene Niederschlag wird mit destilliertem Wasser und Isopropanol gewaschen, zentrifugiert und bei 120°C über Nacht getrocknet. Abschließend wird das erhaltene Pulver bei 900°C – 1700°C in Gegenwart von Luft zwei Stunden lang kalziniert. Es wird ein mit Chrom dotiertes Yttrium-Aluminium-Granat erhalten, das eine relativ hohe Lumineszenzeffizienz aufweist.

**[0004]** Da das mit diesem Verfahren hergestellte Leuchtstoffpulver aus Leuchtstoffpartikeln besteht, die jeweils eine Schicht aufweisen, die einige Zehntel µm dick ist und die nicht zur Lumineszenz beiträgt (tote Schicht), müssen die Leuchtstoffpartikel für die hohe Lumineszenzeffizienz eine mittlere Leuchtstoff-

partikelgröße von mindestens 1 µm aufweisen. Ein typischer Durchmesser der Leuchtstoffpartikel beträgt im Durchschnitt 1 µm. Dies bedeutet aber, dass Herstellungsparameter des Verfahrens sehr genau eingestellt werden müssen, damit das resultierende Leuchtstoffpulver die hohe Lumineszenzeffizienz aufweist.

**[0005]** Weitere Verfahren zur Herstellung derartiger Leuchtstoffpulver sind in EP-A 353 926, DE-A 27 39 437, DE-A 29 37 428, US-A 4 180 477 und US-A 4 350 559 beschrieben.

Offenbarung der Erfindung

**[0006]** Eine Aufgabe ist es, eine hocheffiziente LED, die Leuchtstoffpulver zur Konversion der Primärstrahlung nützt, bereitzustellen.

**[0007]** Zur Lösung der einen Aufgabe wird ein Leuchtstoffpulver angegeben, das Leuchtstoffpartikel mit einer aus dem Bereich von einschließlich 0,1 µm bis einschließlich 5,0 µm ausgewählten mittleren Leuchtstoffpartikelgröße aufweist. Das Leuchtstoffpulver ist dadurch gekennzeichnet, dass die Leuchtstoffpartikel Primärpartikel mit einer aus dem Bereich von einschließlich 0,1 µm bis einschließlich 1,5 µm ausgewählten mittleren Primärpartikelgröße aufweisen. Insbesondere ist bei der mittleren Leuchtstoffpartikelgröße ein bevorzugter Wert für die Untergrenze 0,2 µm, besonders bevorzugt 0,5 µm. Ein bevorzugter Wert für die Obergrenze ist 1,0 µm.

**[0008]** Darüber hinaus wird ein Leuchtstoffkörper angegeben, der ein derartiges Leuchtstoffpulver zum Umwandeln eines Anregungslichts in ein Emissionslicht aufweist. Das Emissionslicht, das als Lumineszenz bezeichnet wird, kann sowohl Fluoreszenz als auch Phosphoreszenz umfassen. Der Leuchtstoffkörper kann dabei nur aus dem Leuchtstoffpulver bestehen. Denkbar ist auch, dass sich das Leuchtstoffpulver in einer für das Anregungs- und Emissionslicht transparenten Matrix des Leuchtstoffkörpers befindet. Ebenso kann das Leuchtstoffpulver als Schicht auf dem Leuchtstoffkörper aufgetragen sein. Der Leuchtstoffkörper ist beispielweise ein LED (Light Emitting Diode)-Konverter oder ein eingangs erwähnter Leuchtschirm einer Kathodenstrahlröhre.

**[0009]** Es hat sich gezeigt, dass ein Leuchtstoffpulver mit einer sehr hohen Lumineszenzeffizienz erhalten wird, wenn die Leuchtstoffpartikel aus kleinen Partikeln mit  $d_{50}$  im Bereich 0, 1 µm bis 1, 5 µm, insbesondere bis 1, 0 µm, gebildet sind, insbesondere aus zur Lumineszenz beitragenden Primärpartikeln. Die Primärpartikel sind in einer Ausführungsform separiert, in einer anderen Ausführungsform im Sinne eines Aggregats fest miteinander verbunden (Sekundärpartikel). Beide Formen können u.U. Agglomerate bilden, die hier jedoch nicht als eigentliche Leucht-

stoffpartikel im Sinne der obigen Definition verstanden werden.

**[0010]** Die Leuchtstoffpartikel weisen vorzugsweise eine sphärische (kugelförmige) Gestalt auf.

**[0011]** Die Primärpartikel tragen entsprechend ihrer Zusammensetzung zur Lumineszenzeffizienz des Leuchtstoffpulvers bei. Die Primärpartikel können dabei voneinander abweichende Zusammensetzungen aufweisen.

**[0012]** Insbesondere können jetzt die Primärpartikel im Wesentlichen eine einzige Phase bilden. Dies bedeutet, dass die Primärteilchen einheitlich eine besonders erwünschte Zusammensetzung mit den gleichen (photo-)physikalischen Eigenschaften aufweisen.

**[0013]** Beispielsweise könnten bei dem binären System Aluminiumoxid-Yttriumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ ), neben der photophysikalisch aktiven Phase Yttrium-Aluminium-Granat weitere, nicht zur Lumineszenzeffizienz beitragende Phasen, die eigentlich unerwünscht sind, vorhanden sein. Solche Phasen weisen beispielsweise die Zusammensetzungen  $\text{YAlO}_3$  oder  $\text{Al}_2\text{Y}_4\text{O}_9$  auf. Vorzugsweise weisen die Primärpartikel einen Granat auf. Der Granat weist insbesondere eine Zusammensetzung  $\text{A}_3\text{B}_5\text{O}_{12}$  auf, wobei A und B dreiwertige Metalle sind. Vorzugsweise ist der Granat ein Yttrium-Aluminium-Granat mit der Zusammensetzung  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ .

**[0014]** Seine Leuchtstoffeigenschaft erhält der Granat dadurch, dass der Granat dotiert ist. Insbesondere weisen daher die Primärteilchen mindestens eine Dotierung mit einem Seltenerdmetall auf. Das Seltenerdmetall ist insbesondere aus der Gruppe Cer und/oder Gadolinium (Gd) und/oder Lanthan (La) und/oder Terbium (Tb) und/oder Praseodym (Pr) und/oder Europium (Eu) ausgewählt. Pr und Eu eignen sich insbesondere auch für die Kodotierung, beispielsweise zusammen mit Ce. Weitere Dotierungen, beispielsweise eine Übergangsmetall-dotierung mit Chrom (Cr), oder Mischungen von Dotierungen sind ebenfalls denkbar.

**[0015]** In einer weiteren besonderen Ausgestaltung weisen die Leuchtstoffpartikel Poren auf mit einer aus dem Bereich von einschließlich  $0,1 \mu\text{m}$  bis einschließlich  $1,0 \mu\text{m}$  ausgewählten mittleren Porengröße. Insbesondere beträgt die mittlere Porengröße etwa  $0,5 \mu\text{m}$ . Dadurch ergibt sich insbesondere eine Leuchtstoffpartikeldichte der Leuchtstoffpartikel, die aus dem Bereich von einschließlich 40% bis einschließlich 70% einer theoretischen Dichte ausgewählt ist.

**[0016]** Nachfolgend wird ein Herstellungsverfahren beschrieben. Zum Herstellungsverfahren wird die

Vorstufe insbesondere aus der Gruppe Metallhydroxid und/oder Metalloxid ausgewählt. Im Fall des Yttrium-Aluminium-Granats werden beispielsweise Aluminiumhydroxid und Yttriumoxid eingesetzt.

**[0017]** Insbesondere wird zum Bereitstellen der Vorstufe ein chemisches Fällern der Vorstufe aus einer Metallsalzlösung des Metallsalzes durchgeführt.

**[0018]** Vorzugsweise wird das Metallsalz aus der Gruppe Metallhalogenid oder Metallsulfat ausgewählt. Das Metallhalogenid ist beispielsweise ein Metallchlorid. Vorzugsweise werden eine saure Metallsalzlösung und zum Fällern ein basisches Fällungsreagenz verwendet. Zur Erzeugung der feinen Primärteilchen wird insbesondere das basische Fällungsreagenz tropfenweise zur sauren Metallsalzlösung oder die saure Metallsalzlösung tropfenweise zum basischen Fällungsreagenz gegeben. Insbesondere wird als saure Metallsalzlösung eine schwefelsaure Metallsalzlösung verwendet. Als basisches Fällungsreagenz wird dabei insbesondere eine Ammoniaklösung verwendet. Darunter ist eine Lösung zu verstehen, bei der direkt Ammoniak im Lösungsmittel, beispielsweise Wasser, gelöst ist. Denkbar ist aber auch, dass eine Vorstufe des Ammoniaks im Lösungsmittel gelöst wird unter Freisetzung von Ammoniak. Die Vorstufe ist beispielsweise Harnstoff. Unter Erhitzen des Harnstoffs wird Ammoniak freigesetzt.

**[0019]** In einer weiteren Ausgestaltung wird zum Bereitstellen der Vorstufe nach dem Fällern der Vorstufe ein Reifen der Vorstufe durchgeführt. Während des Reifens kommt es zu verstärktem Kristallwachstum der Primärpartikel oder zur verstärkten Aggregationsbildung der Primärpartikel zu den Leuchtstoffpartikeln.

**[0020]** Das Reifen erfolgt insbesondere bei einem pH-Wert von einschließlich 5,5 bis einschließlich 6,5. Das Reifen wird insbesondere bei einer Reifungstemperatur durchgeführt, die aus dem Bereich von einschließlich  $20^\circ\text{C}$  bis einschließlich  $90^\circ\text{C}$  ausgewählt wird.

**[0021]** Zum Erzeugen der Primärpartikel und/oder zum Bilden der Leuchtstoffpartikel wird insbesondere ein Kalzinieren durchgeführt. Während des Kalzinierens kann es zur verstärkten Aggregationsbildung zwischen den Primärpartikeln kommen. Vorzugsweise wird das Kalzinieren bei einer Kalzinierungstemperatur durchgeführt, die aus dem Bereich von einschließlich  $1200^\circ\text{C}$  bis einschließlich  $1700^\circ\text{C}$  ausgewählt wird. Insbesondere beträgt die Kalzinierungstemperatur bis zu  $1500^\circ\text{C}$ .

**[0022]** An das Kalzinieren können sich weitere Verarbeitungsschritte anschließen. Beispielsweise werden die erhaltenen (Roh-) Leuchtstoffpartikel zusätzlich gemahlen.

**[0023]** Kurze Beschreibung der Zeichnungen Anhand eines Ausführungsbeispiels und der dazugehörigen Figuren wird die Erfindung im Folgenden näher beschrieben. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreuen Abbildungen dar.

**[0024]** **Fig. 1** zeigt schematisch ein Leuchtstoffpartikel, das aus einer Vielzahl von Primärpartikeln besteht;

**[0025]** **Fig. 2a bis 2c** zeigen jeweils eine REM-Aufnahme eines Leuchtstoffpulvers;

**[0026]** **Fig. 3** zeigt einen Leuchtstoffkörper mit dem Leuchtstoffpulver (**Fig. 3a**), und konkret eine LED (**Fig. 3b**) mit derartiger Anordnung;

**[0027]** **Fig. 4** zeigt ein Verfahren zum Herstellen des Leuchtstoffpulvers;

**[0028]** **Fig. 5** zeigt die dem Verfahren zugrunde liegenden Reaktionsgleichungen.

**[0029]** **Fig. 6** zeigt die Streuung und Absorption kleiner Leuchtstoffpartikel als Funktion der Partikelgröße.

#### Beste Art zur Ausführung der Erfindung

**[0030]** Das Leuchtstoffpulver **1** besteht aus einer Vielzahl von Leuchtstoffpartikeln **2** (**Fig. 1** und **2**). Die Leuchtstoffpartikel **2** verfügen über eine sphärische oder zumindest im wesentlichen sphärische Gestalt **11**. Insbesondere weicht ein beliebig orientierter Durchmesser nicht mehr als 30 % vom maximalen Durchmesser ab, siehe **Fig. 1**. Der mittlere Leuchtstoffpartikeldurchmesser **3** der Leuchtstoffpartikel beträgt etwa 3  $\mu\text{m}$ . Die einzelnen Leuchtstoffpartikel **2** bestehen jeweils aus einem Aggregat oder auch Agglomerat **12** einer Vielzahl von Primärpartikeln **4**. Die Primärpartikel weisen dabei mittlere Primärpartikeldurchmesser **5** von etwa 0,5  $\mu\text{m}$  auf. Die Leuchtstoffpartikel **2** bestehen im Wesentlichen nur aus den Primärpartikeln **4**. Zudem weisen die Leuchtstoffpartikel **2** Poren **6** mit einer mittleren Porengröße **7** von etwa 0,5  $\mu\text{m}$  auf. Die Poren **6** sind offen.

**[0031]** Die genannten Partikeldurchmesser werden beispielsweise im Falle der Primärpartikel, bzw. bei eher kleineren Durchmessern, als Äquivalentdurchmesser mittels optisch oder elektronenmikroskopisch (beispielsweise REM) erfasster Partikelbilder und im Falle der Leuchtstoffpartikel, bzw. bei eher größeren Durchmessern, als Äquivalentdurchmesser aus Laserbeugungsmessungen verstanden. In guter Näherung kann davon ausgegangen, dass die beiden unterschiedlichen Verfahren zur Erfassung von Äquivalentdurchmessern ähnliche bis identische Ergebnisse bei ein- und derselben Probe liefern, wenn die Pulverproben optimal für die Messung vorbereitet sind.

**[0032]** Die Primärpartikel **4** bestehen aus einem Yttrium-Aluminium-Granat mit der Zusammensetzung  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ . Die Primärpartikel **4** sind mit dem Selten-erdmetall Cer dotiert. Cer ist zu 0,5 mol % enthalten. Die Primärpartikel **4** bilden eine einzige Phase mit der genannten Zusammensetzung.

**[0033]** Gemäß dem Verfahren zum Herstellen des Leuchtstoffpulvers **1** (**Fig. 4, 40**) wird zunächst eine Vorstufe der Primärpartikel bereitgestellt (**Fig. 4, 41**). Die Vorstufe besteht aus einem Pulvergemisch aus Aluminiumhydroxid ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) und Yttriumhydroxid ( $\text{Y}(\text{OH})_3$ ). Dazu werden Aluminiumhydroxid und Yttriumoxid getrennt voneinander in konzentrierter Schwefelsäure gelöst (**Fig. 5, 51** und **52**). Zur Beschleunigung des Lösens wird die Temperatur erhöht. Die beiden erhaltenen, schwefelsauren Metallsalzlösungen werden filtriert. Es wird jeweils die Konzentration an Aluminium beziehungsweise Yttrium bestimmt. Im Weiteren werden die Lösungen entsprechend der benötigten stöchiometrischen Messungen miteinander vermischt. Danach wird ein Fälln der entsprechenden Hydroxide mit einer basischen Ammoniaklösung durchgeführt (**Fig. 5, 53**). Die Ammoniaklösung besteht aus in destilliertem Wasser gelösten Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Zum Fälln die Ammoniaklösung tropfenweise zur schwefelsauren Lösung der Metallsalze zugegeben. Der dabei erhaltene Niederschlag wird mit 10°C kaltem, destilliertem Wasser gewaschen. Da eine bestimmte Menge an Aluminium durch das Wasser ausgewaschen wird, ist bei der Mischung der schwefelsauren Metallsalzlösungen darauf zu achten, dass Aluminium im Überschuss zugeführt wird. Der Niederschlag wird filtriert und bei 150°C für zehn Stunden getrocknet. Des Weiteren wird ein Kalzinieren des Niederschlags in Gegenwart von Formiergas, das zu 95 vol% aus Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und 5 vol% Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) besteht, durchgeführt (**Fig. 5, 54**). Das Kalzinieren erfolgt bei 1200°C für eine Dauer von etwa zwei Stunden. Beim Kalzinieren werden die Primärpartikel aus der Vorstufe gebildet (**Fig. 4, 42**). Gleichzeitig werden die Leuchtstoffpartikel des Leuchtstoffpulvers durch Agglomerieren der Primärpartikel gebildet (**Fig. 4, 43**). Es wird ein Leuchtstoffpulver mit einer hohen Lumineszenzeffizienz erhalten.

**[0034]** Das Leuchtstoffpulver **1** wird in einem Leuchtstoffkörper **10** eingesetzt (**Fig. 3a** in schematischer Darstellung). Der Leuchtstoffkörper **10** meint vor allem ein leuchtstoffhaltiges Gerät wie insbesondere eine Konversions-LED. Derartige LEDs sind auch unter dem Begriff LUKOLED bekannt. Mit Hilfe des Leuchtstoffpulvers **1** wird Anregungslicht **8**, also Licht (oder auch kurzweilige Strahlung), das primär von einem Chip emittiert wird, zum Teil oder vollständig in Emissionslicht (Lumineszenz) **9** überführt. Diese Lumineszenz wird oft auch Sekundäremission genannt.

**[0035]** Ein konkretes Beispiel eines Leuchtstoffkörpers ist der Einsatz des Leuchtstoffpulvers in einer weißen, oder auch farbigen, LED zusammen mit einem InGaN-Chip. Der beispielhafte Aufbau einer derartigen Lichtquelle ist in

**[0036]** Fig. 3b explizit gezeigt. Die Lichtquelle ist ein Halbleiterbauelement (Chip **1**) des Typs InGaN mit einer Peak-Emissionswellenlänge von 460 nm (blau) mit einem ersten und zweiten elektrischen Anschluss **12, 13**, das in ein lichtundurchlässiges Grundgehäuse **18** im Bereich einer Ausnehmung **19** eingebettet ist. Einer der Anschlüsse **13** ist über einen Bonddraht **14** mit dem Chip **15** verbunden. Die Ausnehmung hat eine Wand **17**, die als Reflektor für die blaue Primärstrahlung des Chips **15** dient. Die Ausnehmung **19** ist mit einer Vergussmasse **25** gefüllt, die als Hauptbestandteile ein Silikongießharz (oder auch Epoxidgießharz) (**80 bis 90 Gew.-%**) und Leuchtstoffpigmente **16** (weniger als 15 Gew.-%) enthält. Weitere geringe Anteile entfallen u.a. auf Methylether und Aerosil. Die Leuchtstoffpigmente sind gelbemittierender YAG:Ce gemäß der vorliegenden Erfindung oder eine Mischung aus zwei (oder auch mehr) Pigmenten, die grün und rot emittieren. Beispielsweise ist ein geeigneter grün emittierender Leuchtstoff ein Ce-dotierter Yttriumgranat, der neben Al auch Anteile an Ga und/oder Sc am Gitterplatz des Aluminiums enthält. Ein Beispiel für einen rot emittierenden Leuchtstoff ist ein Eu-haltiges Nitrid. In beiden Fällen mischt sich das Sekundärlicht des Leuchtstoffs mit dem Primärlicht des Chips zu weiß. Eine farbige LED wird beispielsweise durch Verwendung eines YAG:Eu als Leuchtstoff für die Anregung durch einen W-emittierenden Chip erzielt.

**[0037]** Überraschend hat sich gezeigt, dass durch besonders sorgfältige Wahl der Partikelgröße  $d_{50}$  des Leuchtstoffs besondere Vorteile bei Konversions-LEDs erzielt werden können. Eine hohe Effizienz lässt insbesondere im Bereich zwischen 0,2 und 1,0  $\mu\text{m}$  mittlerer Partikelgröße  $d_{50}$  beobachten. Dabei wird bewusst eine möglichst hohe Streuung in Kauf genommen, in Abkehr von bisherigen Vorstellungen, während gleichzeitig das Verhältnis Absorption:Streuung erhöht wird. Ideal ist die Wahl von  $d_{50}$  in der Nähe der maximalen Streuung, bezogen auf die primär einfallende Strahlung. In der Praxis haben sich auch noch Abweichungen von bis zu 20 % gut bewährt.

**[0038]** Abweichungen bis zu 50 % liefern häufig immer noch zufriedenstellende Ergebnisse. Grundsätzlich lässt sich damit eine LED mit hoher Absorption des vor die primäre Strahlungsquelle angebrachten Leuchtstoffs erzielen.

**[0039]** Fig. 6a zeigt beispielhaft, dass bei vielen Leuchtstoffen die Streuung zu kleineren Partikeldurchmessern unter 1  $\mu\text{m}$  hin zunimmt. Sie kann sich

typisch bis um einen Faktor 5 erhöhen. Dies erlaubt eine perfekte Homogenisierung der insgesamt abgegebenen Strahlung, was vor allem bei Mischlicht-LEDs von besonderer Bedeutung ist. Damit ist gemeint, dass die primäre Strahlung der LED nicht vollständig konvertiert wird, sondern selbst noch zur effektiv genutzten Strahlung direkt beiträgt. Ein konkretes Beispiel ist ein primär blau emittierender Chip, der zusammen mit einem gelb emittierenden Leuchtstoff verwendet wird. beide Strahlungsarten kommen dann aus unterschiedlichen Raumbereichen. Um diesen Eindruck zu verwischen, mussten bisher sogar extra streuende Füllpartikel dem Verguss beigefügt werden, was zum einen aufwendig ist, zum anderen die Effizienz eher mindert. Insbesondere ist dieser Aufbau von Bedeutung, wenn mehr als ein Leuchtstoff zur teilweisen Konversion genutzt wird, also beispielsweise bei einem System mit blauer Primärstrahlung, das teilweise von einem grünen und teilweise von einem roten Leuchtstoff konvertiert wird, im Sinne einer auf dem RGB-Mischungsprinzip basierten weißen LED. Typische maximale Streuungen treten bei 0,2 bis 0,5  $\mu\text{m}$  auf. dabei erhöht sich die Streuintensität um einen typischen Faktor 2 bis 5 gegenüber einem Wert von 1,5  $\mu\text{m}$ . dessen Wert ändert sich zu hohen Durchmessern hin (2 bis 5  $\mu\text{m}$ ) kaum mehr.

**[0040]** Fig. 6b zeigt beispielhaft, dass die Absorption zu kleineren Partikeldurchmessern  $D$  hin zunimmt und ein mehr oder minder ausgeprägtes Maximum bei etwa 0,1 bis 0,3  $\mu\text{m}$  durchläuft. Die Absorption ist hier teilweise mehr als 5 mal größer als bei etwa 2  $\mu\text{m}$  und mindestens doppelt so groß wie bei 1  $\mu\text{m}$ . Wählt man die Partikelgröße in diesem Bereich, steigt das Verhältnis Absorption:Streuung zu kleineren Partikeldurchmessern hin von 2  $\mu\text{m}$  bis hinab zu 0,2  $\mu\text{m}$  kontinuierlich an. Das bedeutet eine Reduzierung der Streuverlust und eine erhöhte Effizienz. Zwar nimmt man u.U. dabei die erhöhte Streuung in Kauf, es ergibt sich damit aber eine hocheffiziente LED mit homogenem Abstrahlungsverhalten. Die höhere Streuung führt zu einer besseren und homogeneren Indikatrix von blau/gelb.

### Schutzansprüche

1. Konversions-LED, mit einem Chip, der primäre Strahlung einer ersten Wellenlänge, insbesondere mit einer Peakemissionswellenlänge von 430 bis 490 nm, emittiert, und mindestens einem als Pulver vorliegenden Leuchtstoff, der zumindest einen Teil der primären Strahlung absorbiert und bei einer anderen Wellenlänge als Sekundärstrahlung emittiert, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mittlere Partikelgröße  $d_{50}$  des Leuchtstoffs im Bereich 0,1 bis 1,5  $\mu\text{m}$  liegt.

2. Konversions-LED nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Partikelgröße  $d_{50}$

im Bereich des größten Maximums der Absorption der primären Strahlung liegt, und höchstens um 50 %, bevorzugt höchstens 20 %, von diesem abweicht.

3. Konversions-LED nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Chip blaue Strahlung emittiert, die von mindestens einem Leuchtstoff teilweise absorbiert wird, der diese Strahlung in längerwellige Strahlung umwandelt, insbesondere so dass die LED weiß emittiert.

4. Konversions-LED nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Leuchtstoffpulver (1), das Leuchtstoffpartikel (2) mit einer aus dem Bereich von einschließlich 0,1 µm, insbesondere 0,5 µm, bis einschließlich 1,5 µm ausgewählten mittleren Leuchtstoffpartikelgröße (3) aufweist, wobei die Leuchtstoffpartikel (2) Primärpartikel (4) mit einer aus dem Bereich von einschließlich 0,1 µm bis einschließlich 1,0 µm ausgewählten mittleren Primärpartikelgröße (5) aufweisen.

5. Konversions-LED nach Anspruch 4, bei dem die Leuchtstoffpartikel eine sphärische oder im wesentlichen sphärische Gestalt aufweisen.

6. Konversions-LED nach Anspruch 4, bei dem die Leuchtstoffpartikel (2) im Wesentlichen nur aus den Primärpartikeln (4) bestehen.

7. Konversions-LED nach einem der Ansprüche 4, bei dem die Primärpartikel (4) im wesentlichen eine einzige Phase bilden.

8. Konversions-LED nach einem der Ansprüche 4, bei dem die Primärpartikel (4) einen Granat aufweisen.

9. Konversions-LED nach Anspruch 8, bei dem der Granat eine Zusammensetzung  $A_3B_5O_{12}$  aufweist, wobei A und B dreiwertige Metalle sind, insbesondere ist A mindestens eines der Elemente Y, Gd, La, Tb, und B mindestens eines der Elemente Al, Ga, In.

10. Konversions-LED nach Anspruch 9, bei dem die Zusammensetzung  $Y_3Al_5O_{12}$  ist .

11. Konversions-LED nach einem der Ansprüche 4 bis 10, bei dem die Primärpartikel (4) mindestens eine Dotierung mit einem Seltenerdmetall aufweisen.

12. Konversions-LED nach Anspruch 11, bei dem das Seltenerdmetall aus der Gruppe Cer und/oder Gd und/oder La und/oder Tb und/oder Pr und/oder Eu ausgewählt ist.

13. Konversions-LED nach einem der Ansprüche 4 bis 12, bei dem die Leuchtstoffpartikel (2) Poren (6) aufweisen mit einer aus dem Bereich von einschließ-

lich 0,1 µm bis einschließlich 1,0 µm ausgewählten mittleren Porengröße (7) .

14. Konversions-LED nach Anspruch 13, bei dem die mittlere Porengröße (7) etwa 0,5 µm beträgt.

15. Konversions-LED nach einem der Ansprüche 4 bis 14, bei dem die Leuchtstoffpartikel (2) eine aus dem Bereich von einschließlich 40% bis einschließlich 70% einer theoretischen Dichte ausgewählte Leuchtstoffpartikeldichte aufweisen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

FIG 1

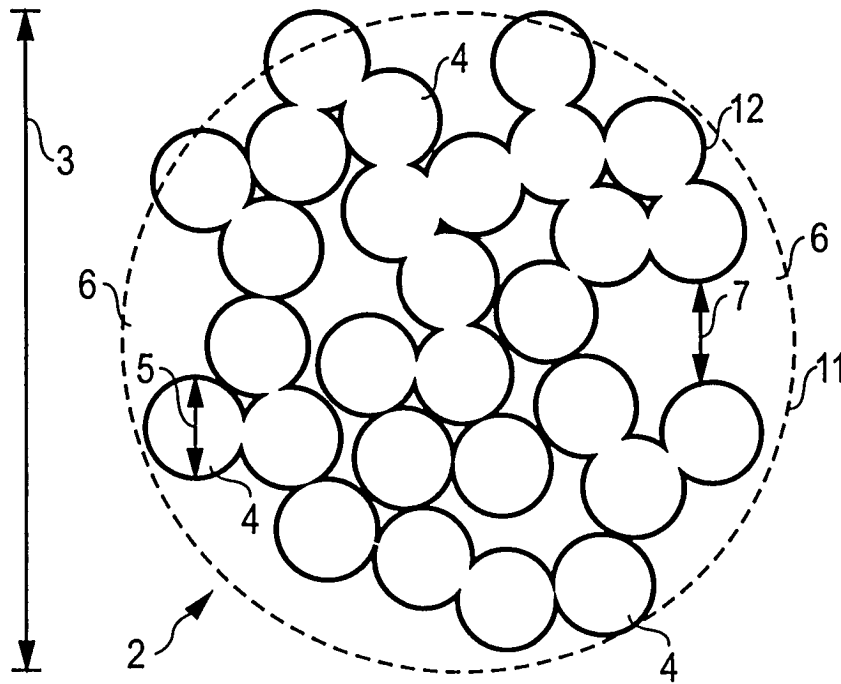


FIG 3 a

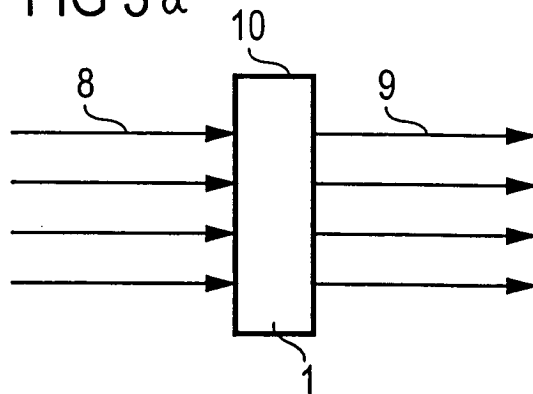


FIG 2A

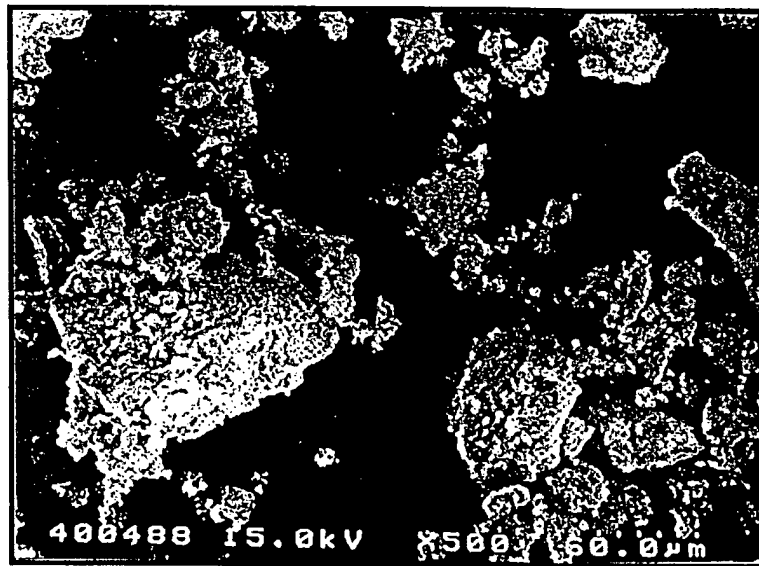


FIG 2B

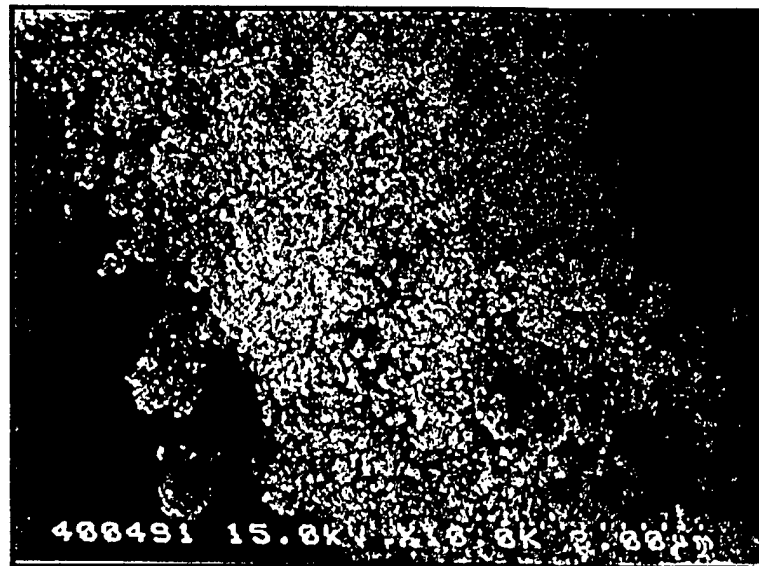
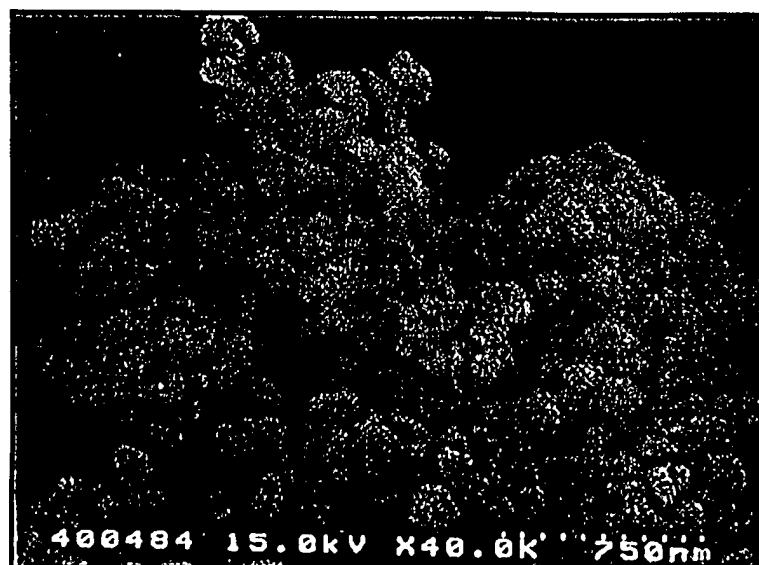


FIG 2C





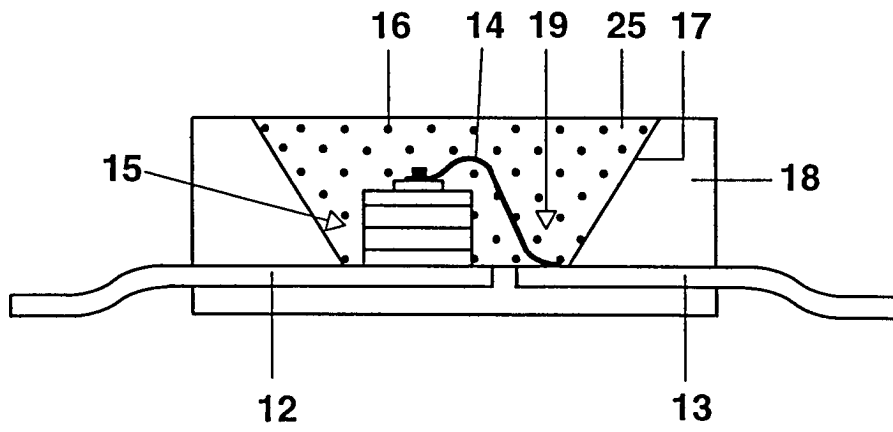


FIG. 3b

FIG 4

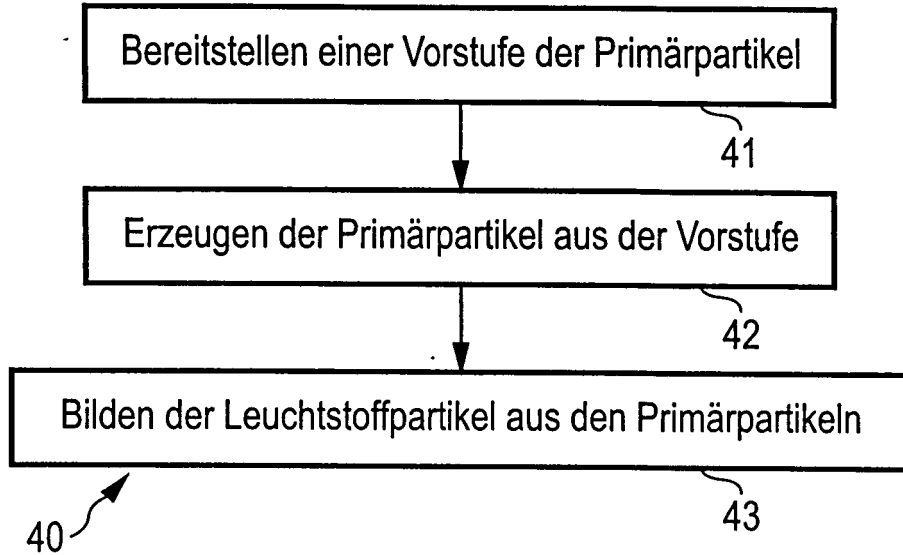
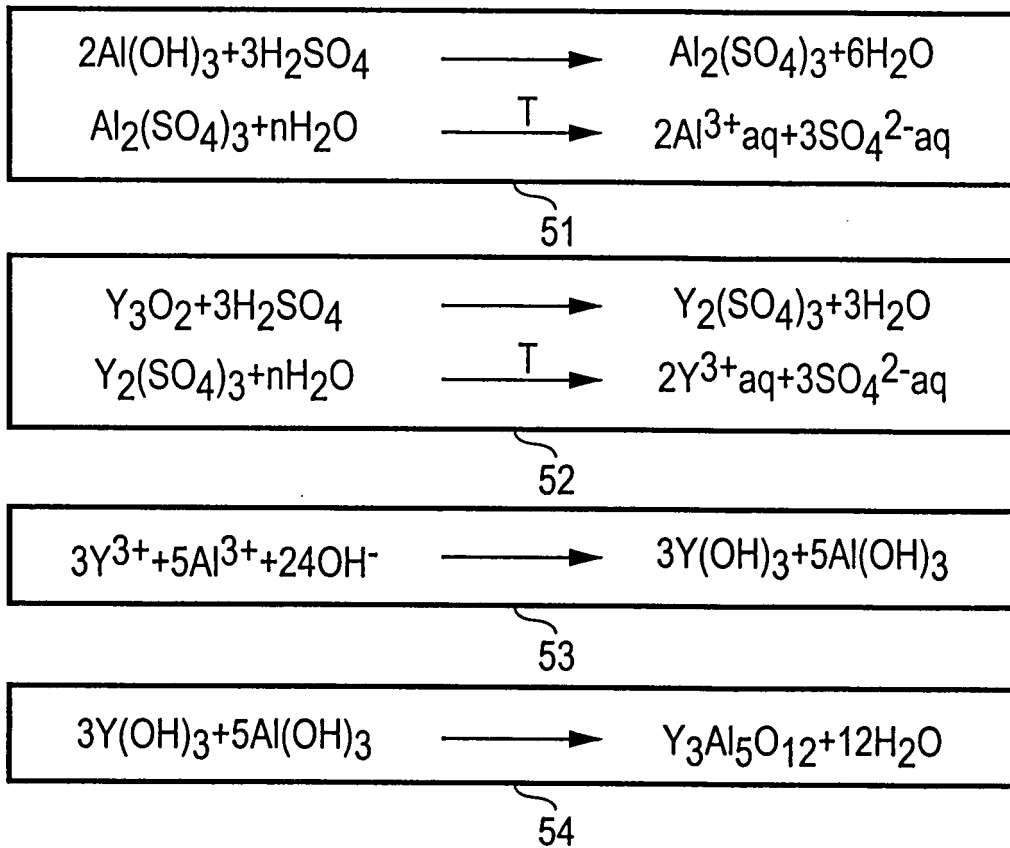
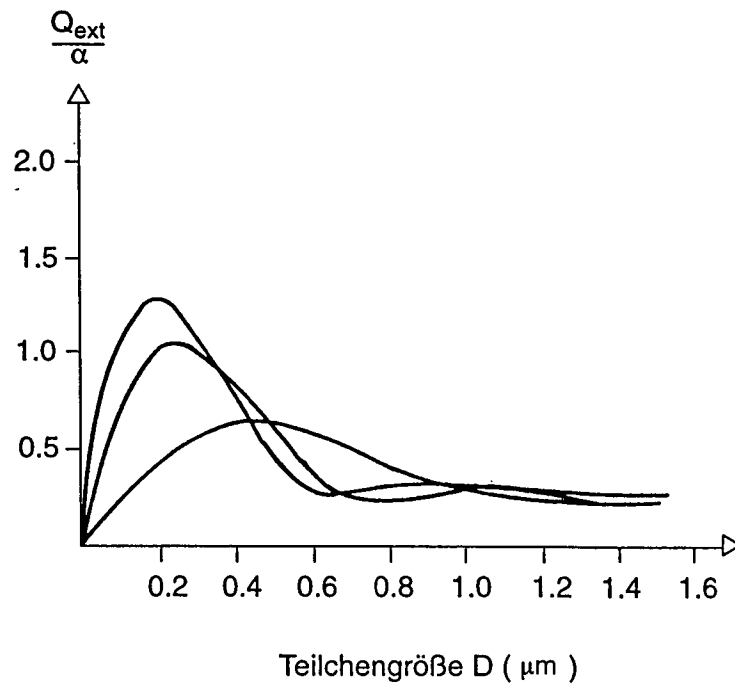
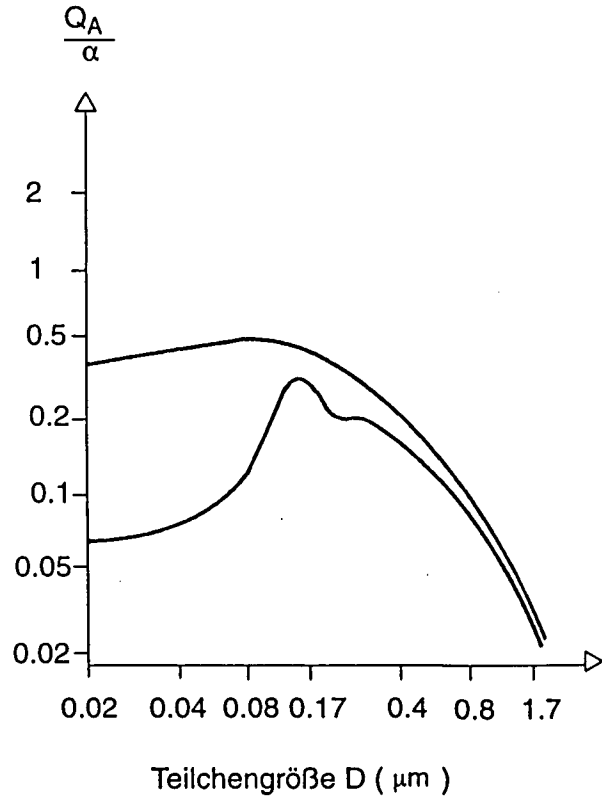


FIG 5





**FIG. 6a**



**FIG. 6b**