



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.06.2012 Patentblatt 2012/24

(51) Int Cl.:
C06C 15/00 (2006.01) C06B 27/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11009507.2**

(22) Anmeldetag: **01.12.2011**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **Diehl BGT Defence GmbH & Co.KG**
88662 Überlingen (DE)

(72) Erfinder: **Hahma, Arno**
91239 Henfenfeld (DE)

(74) Vertreter: **Diehl Patentabteilung**
c/o Diehl Stiftung & Co. KG
Stephanstrasse 49
90478 Nürnberg (DE)

(30) Priorität: **08.12.2010 DE 102010053813**

(54) **Hocheleistungswirkmasse für pyrotechnische Infrarotscheinziele**

(57) Die Erfindung betrifft eine Hochleistungswirkmasse (11) für pyrotechnische Infrarotscheinziele umfassend einen ersten Brennstoff, mindestens einen zweiten Brennstoff, ein Oxidationsmittel und ein Bindemittel, wobei der erste Brennstoff und das Oxidationsmittel hinsichtlich ihrer Redoxpotentiale so gewählt sind, dass das Oxidationsmittel den ersten Brennstoff nach Zündung in einer exothermen Reaktion unter Entstehung einer Primärflamme (12) und Emission von Infrarotstrahlung oxidieren kann, wobei der zweite Brennstoff bei der Reaktion entzündet, erhitzt und/oder pyrolysiert und aus der Hochleistungswirkmasse (11) freigesetzt wird, wobei der zweite Brennstoff so gewählt ist, dass dessen Redoxpotential oder das Redoxpotential mindestens eines Pyrolyseprodukts des zweiten Brennstoffs höher ist als das Redoxpotential des ersten Brennstoffs und dass der erhitzte oder entzündete zweite Brennstoff oder das Pyrolyseprodukt an der Luft brennen kann, wobei die Menge des in der Hochleistungswirkmasse (11) enthaltenen Oxidationsmittels höchstens so groß ist, dass sie gerade ausreicht, um den ersten Brennstoff vollständig zu oxidieren.

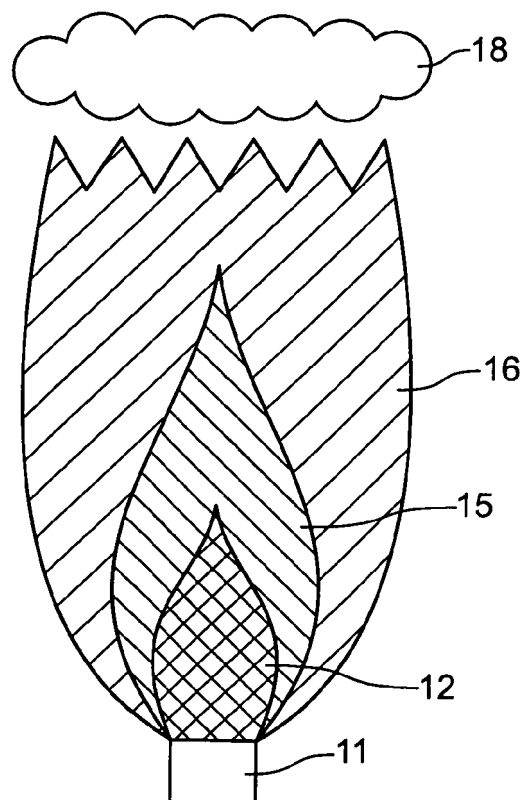


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Hochleistungswirkmasse für pyrotechnische Infrarotscheinziele.

[0002] Herkömmliche Scheinzielwirkmassen für Schwarzkörperstrahler basieren überwiegend auf einer Mischung aus Magnesium, Teflon und dem Fluorkautschuk Viton. Entsprechend der Bestandteile wird diese Wirkmasse MTV genannt. MTV ist eine der am stärksten strahlenden bekannten Wirkmassen.

[0003] Die für einige Scheinzieltypen geforderten Spezifikationen können mittels MTV als Wirkmasse nicht erfüllt werden, weil dessen spezifische Strahlungsleistung dafür zu gering ist. Ein weiterer mit der Verwendung von MTV als Scheinzielwirkmasse einhergehender Nachteil besteht darin, dass MTV beim Abbrand als sogenannter "Punktstrahler" wirkt, weil die dabei entstehende Flamme kein großes Volumen einnimmt. Für einen mehrere Kilometer entfernten Suchkopf erscheint ein solches Ziel stets als Punkt. MTV ist damit nicht in der Lage, die Abgasfahne eines Flugzeugs nachzubilden und hat damit bei bildauflösenden Suchköpfen keine entsprechende Täuschwirkung.

[0004] Das Problem der nicht ausreichenden Strahlungsleistung von MTV wird üblicherweise dadurch gelöst, dass bei Scheinzielen ein größeres Kaliber gewählt wird, d. h. dass eine größere Masse an MTV verbrannt wird. Dies ist jedoch sowohl bei kinematischen Scheinzielen als auch bei angetriebenen Scheinzielen nachteilig, weil zum Beschleunigen der höheren Masse mehr Energie aufgewandt werden muss. Alternativ können auch mehrere MTV-Wirkmassen in Form von Salven gleichzeitig freigesetzt und gezündet werden.

[0005] Beim Abbrand großkalibriger MTV-Scheinziele oder gleichzeitigen Abbrand mehrerer MTV-Scheinziele wird bei einem bildauflösenden Suchkopf ein sogenannter Blooming-Effekt ausgelöst. Das bedeutet, dass der Suchkopf das Scheinziel bzw. die Scheinziele als sehr großen Gegenstand erfasst, weil die Detektoren einer Bilderfassungseinheit des Suchkopfs an der entsprechenden Stelle überlastet werden und auch benachbarte Detektoren ein falsches Signal erzeugen. Zur Täuschung von Suchköpfen sind daher Wirkmassen umso vorteilhafter, je mehr Strahlungsenergie sie emittieren, weil in diesem Fall auch punktförmige Scheinziele vom Suchkopf als große räumliche Strahlungsquellen wahrgenommen werden. Wenn dies mittels Salven von MTV-Scheinzielen oder großkalibrigen MTV-Scheinzielen bewirkt werden soll, wird für die Bereitstellung solcher Scheinziele viel Raum an Bord eines Flugzeugs oder Schiffs benötigt und es muss ein relativ hohes Gewicht befördert werden.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Wirkmasse für pyrotechnische Infrarotscheinziele bereitzustellen, welche leistungsfähiger ist als herkömmliches MTV.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltung ergeben sich aus den Merkmalen der Patentansprüche 2 bis 19.

[0008] Erfindungsgemäß ist eine Hochleistungswirkmasse für pyrotechnische Infrarotscheinziele umfassend einen ersten Brennstoff, mindestens einen zweiten Brennstoff, ein Oxidationsmittel und ein Bindemittel vorgesehen, wobei der erste Brennstoff und das Oxidationsmittel hinsichtlich ihrer Redoxpotentiale so gewählt sind, dass das Oxidationsmittel den ersten Brennstoff nach Zündung in einer exothermen Reaktion unter Entstehung einer Primärflamme und Emission von Infrarotstrahlung oxidieren kann, wobei der zweite Brennstoff bei der Reaktion entzündet, erhitzt und/oder pyrolysiert und aus der Hochleistungswirkmasse freigesetzt wird, wobei der zweite Brennstoff so gewählt ist, dass dessen Redoxpotential oder das Redoxpotential mindestens eines Pyrolyseprodukts des zweiten Brennstoffs höher ist als das Redoxpotential des ersten Brennstoffs und dass der erhitzte oder entzündete zweite Brennstoff oder das Pyrolyseprodukt an der Luft brennen kann, wobei die Menge des in der Hochleistungswirkmasse enthaltenen Oxidationsmittels höchstens so groß ist, dass sie gerade ausreicht, um den ersten Brennstoff vollständig zu oxidieren.

[0009] Bei dem mindestens einen Pyrolyseprodukt kann es sich beispielsweise um Kohlenstoff handeln, wenn der zweite Brennstoff Steinkohle oder Holz ist, oder um Titan und Wasserstoff handeln, wenn der zweite Brennstoff Titanhydrid ist. Unter Pyrolyseprodukt wird hier insbesondere jedes Produkt verstanden, welches aus dem zweiten Brennstoff durch bloßes Erhitzen entsteht.

[0010] Unter Primärflamme wird hier eine Flamme verstanden, in der keine Reaktion mit Sauerstoff erfolgt, d. h. eine anaerobe Flamme. Unter Sekundärflamme wird hier eine Flamme verstanden, in der eine Reaktion mit Sauerstoff erfolgt, d. h. eine aerobe Flamme.

[0011] Ein Stoff wirkt umso stärker reduzierend, je niedriger sein Redoxpotential ist. Durch die unterschiedlichen Redoxpotentiale wird erreicht, dass beim Verbrennen der Hochleistungswirkmasse der erste Brennstoff mit dem Oxidationsmittel reagiert und der zweite Brennstoff oder das Pyrolyseprodukt entweder nicht mit dem Oxidationsmittel reagiert oder wenn er/es doch mit dem Oxidationsmittel reagieren sollte, das dabei entstehende Oxidationsprodukt durch den ersten Brennstoff in der Primärflamme wieder reduziert wird.

[0012] Der zweite Brennstoff oder das Pyrolyseprodukt können so erst außerhalb der anaeroben Primärflamme reagieren, wenn sie mit dem in der Luft vorhandenen Sauerstoff und/oder Stickstoff in Kontakt kommen. Dadurch entsteht eine aerobe Sekundärflamme. Durch das Entstehen einer Primärflamme und einer Sekundärflamme wird die IR-Strahlung emittierende Fläche vergrößert und dadurch die Strahlungsleistung erhöht.

[0013] Durch die starke Erhitzung des zweiten Brennstoffs oder des Pyrolyseprodukts in der Primärflamme wird dessen Reaktionsfähigkeit mit dem Sauerstoff und/oder Stickstoff der Luft stark erhöht, was eine heftige Reaktion bewirkt und

dadurch zu einer Vergrößerung der Sekundärflamme beiträgt.

[0014] Die Menge des in der Hochleistungswirkmasse enthaltenen Oxidationsmittels kann so bemessen sein, dass sie nicht ausreicht, um den ersten Brennstoff vollständig zu oxidieren. Dann entsteht eine weitere Zone der Sekundärflamme außerhalb der Primärflamme, in welcher der erste Brennstoff mit dem Luftsauerstoff reagiert und den Abbrand des schwächer reduzierenden zweiten Brennstoffs oder Pyrolyseprodukts hemmt. Erst außerhalb dieser Zone kann dann der zweite Brennstoff oder das Pyrolyseprodukt verbrennen. Dadurch wird eine weitere Vergrößerung der IR-Strahlung emittierenden Fläche der Flamme bewirkt. Außerdem wird auf diese Weise für dieselbe Strahlungsleistung weniger Oxidationsmittel benötigt, da der Luftsauerstoff als zusätzliches Oxidationsmittel genutzt wird.

[0015] Vorzugsweise wird jedoch die Menge des in der Hochleistungswirkmasse enthaltenen Oxidationsmittels so bemessen, dass der Unterschuss an Oxidationsmittel im Verhältnis zum ersten Brennstoff nicht allzu groß ist. Dadurch wird die Abbrandrate, d. h. die Geschwindigkeit, mit der die Wirkmasse abbrennt, beschleunigt. Das liegt daran, dass die Primärflamme dadurch heißer wird und mehr Hitze auf die verbleibende Hochleistungswirkmasse zurückstrahlt. Dadurch ist es möglich, eine Wirkmasse bereitzustellen, welche beim Abbrand eine deutlich höhere Strahlungsleistung als MTV aufweist und schneller abbrennt als MTV. Weiterhin ist die Anzündbarkeit gegenüber MTV deutlich verbessert, weil nur ein Teil der Wirkmasse aufgeheizt werden muss, um ein Anzünden der Wirkmasse zu erreichen und weil der zweite Brennstoff beim Anzünden oft eher mit dem Oxidationsmittel reagiert als der erste Brennstoff. Anfänglich, d. h. beim Anzünden kann nämlich auch der zweite Brennstoff mit dem Oxidationsmittel reagieren. Sobald eine Flamme entsteht, wird jedoch der durch das Oxidationsmittel oxidierte zweite Brennstoff durch den ersten Brennstoff zum zweiten Brennstoff reduziert.

[0016] In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Menge des in der Hochleistungswirkmasse enthaltenen Oxidationsmittels so bemessen, dass die Zahl der vom gesamten Brennstoff in der Hochleistungswirkmasse in Redoxreaktionen abzugebenden Elektronen, die Zahl der Elektronen, die vom Oxidationsmittel aufgenommen werden können, mindestens um den Faktor 2, insbesondere mindestens um den Faktor 3, insbesondere mindestens um den Faktor 4, insbesondere mindestens um den Faktor 5, übersteigt. Dadurch kann die Energiedichte der Hochleistungswirkmasse weiter gesteigert werden.

[0017] Vorzugsweise ist die Menge des in der Hochleistungswirkmasse enthaltenen Oxidationsmittels so bemessen, dass die Zahl der vom ersten Brennstoff in der Hochleistungswirkmasse in Redoxreaktionen abzugebenden Elektronen, die Zahl der Elektronen, die vom Oxidationsmittel aufgenommen werden können, mindestens um den Faktor 1,25, insbesondere mindestens um den Faktor 1,5, insbesondere mindestens um den Faktor 2,0, übersteigt. Dadurch wird neben der vom zweiten Brennstoff oder dem Pyrolyseprodukt gebildeten Zone der Sekundärflamme eine vom in der Primärflamme nicht umgesetzten ersten Brennstoff gebildete weitere Zone der Sekundärflamme erzeugt. Das vergrößert die abstrahlende Fläche der Flamme. Es ist jedoch zu beachten, dass die Temperatur der Primärflamme und damit deren Abstrahlung auf die noch abbrennende Hochleistungswirkmasse und damit auch die Abbrandrate umso geringer ist, je größer der genannte Faktor ist. Die Primärflamme ist umso heißer, je näher das Verhältnis von erstem Brennstoff zu Oxidationsmittel an einem stöchiometrischen Verhältnis liegt. Je nach Einsatzzweck können unterschiedliche Faktoren vorteilhaft sein.

[0018] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Hochleistungswirkmasse umfasst der erste Brennstoff ein Metall, eine Mischung aus Metallen oder eine Metalllegierung. Unter den Metallen finden sich geeignete erste Brennstoffe mit sehr negativem Redoxpotential, d. h. mit stark reduzierender Wirkung. Sehr vorteilhaft ist es, wenn der erste Brennstoff einen Siedepunkt aufweist, der unterhalb einer sich bei der Reaktion des ersten Brennstoffs mit dem Oxidationsmittel nach dessen Zündung einstellenden Reaktionstemperatur liegt. Dadurch verdampft der erste Brennstoff bei der Reaktionstemperatur. Der entstehende Brennstoffdampf schafft eine reduzierende Atmosphäre, die eine Reaktion des zweiten Brennstoffs verhindert und bereits oxidierten zweiten Brennstoff zum zweiten Brennstoff reduziert. Das Entstehen des Dampfs des ersten Brennstoffs verbreitert darüber hinaus die Primärflamme.

[0019] Der erste Brennstoff kann Magnesium, Calcium, Lithium, Aluminium oder eine Legierung oder Mischung aus mindestens zwei dieser Metalle umfassen. Davon sind Magnesium, Calcium und Lithium und Mischungen oder Legierungen aus diesen Metallen besonders gut zur Erzeugung eines Dampfs des ersten Brennstoffs geeignet.

[0020] Vorzugsweise umfasst der zweite Brennstoff Aluminium, Magnesium, Titan, Zirkonium, Hafnium, Calcium, Lithium, Niob, Wolfram, Mangan, Eisen, Nickel, Kobalt, Zink, Zinn, Blei, Wismut, eine Legierung oder Mischung aus mindestens zwei dieser Metalle, eine Zirkonium-Nickel-Legierung oder -Mischung, eine Aluminium-Magnesium-Legierung oder -Mischung, eine Lithium-Aluminium-Legierung oder -Mischung, eine Lithium-Silizium-Legierung oder -Mischung, eine Calcium-Aluminium-Legierung oder -Mischung, eine Eisen-Titan-Legierung oder -Mischung, eine Zirkonium-Titan-Legierung oder -Mischung, Bor, Titanhydrid, Zirkoniumhydrid, ein Borhydrid, Hafniumhydrid, ein Lithiumkomplexhydrid, elementaren Kohlenstoff, Blähgrafit, Steinkohle, Holzkohle, Braunkohle, Phosphor, Schwefel, Silizium, Sägemehl, Holz oder Kunststoff.

[0021] Besonders vorteilhaft ist es, wenn der zweite Brennstoff ein Metall, eine Mischung aus Metallen, eine Metalllegierung oder ein Metallhydrid umfasst. Metallhydride setzen bei Erwärmung durch die Primärflamme Wasserstoff und das Metall als Pyrolyseprodukte frei. Der entstehende Wasserstoff verbreitert die entstehende Flamme und bildet beim

Abbrand eine zusätzliche Zone einer Sekundärflamme. Bei Metalllegierungen oder Mischungen aus Metallen enthaltenden erfindungsgemäßen Hochleistungswirkmassen können beim Abbrand neben den bereits genannten Reaktionen zusätzlich intermetallische Reaktionen und Festphasenreaktionen stattfinden, welche die Temperatur in der Hochleistungswirkmasse und der Flamme weiter steigern. Beispielsweise kann der erste Brennstoff Magnesium und der zweite Brennstoff eine Mischung oder Legierung aus Titan und Bor umfassen. Beim Abbrand dieser Wirkmasse brennt das Magnesium in der Primärflamme, das Titan in einer ersten Zone der Sekundärflamme und das Bor in einer weiteren Zone der Sekundärflamme. Zusätzlich reagieren Titan und Bor miteinander zu Titanborid. Diese Reaktion setzt sehr viel Wärme frei. Das Titanborid wird dadurch extrem heiß und strahlt effektiv bis es bei Kontakt mit Luft verbrennt und dabei noch mehr Strahlungsenergie freisetzt. Dadurch wird die strahlende Fläche der Flamme zusätzlich vergrößert.

[0022] Besonders vorteilhaft ist es, wenn der zweite Brennstoff einen Siedepunkt aufweist, der oberhalb einer sich bei der Reaktion des ersten Brennstoffs mit dem Oxidationsmittel nach dessen Zündung einstellenden Reaktionstemperatur liegt. Dadurch wird einerseits erreicht, dass in der anaeroben Primärflamme heiße Partikel aus zweitem Brennstoff vorhanden sind, die als Schwarzkörperstrahler fungieren. Weiterhin fungieren die festen brennenden Teilchen in der aeroben Sekundärflamme als effektive Schwarzkörperstrahler. Die festen Teilchen des zweiten Brennstoffs strahlen dabei wesentlich effektiver als brennender Dampf, beispielsweise brennender Magnesiumdampf beim Abbrand von MTV.

[0023] Ein weiterer mit dem Vorhandensein fester Teilchen des zweiten Brennstoffs beim Abbrand einhergehender Vorteil besteht darin, dass die Wirkmasse beim Abbrand bei hoher Luftgeschwindigkeit weniger Leistungsverlust zeigt. Weiterhin entzieht ein zweiter Brennstoff, dessen Siedepunkt oberhalb der genannten Reaktionstemperatur liegt, der Reaktion des ersten Brennstoffs mit dem Oxidationsmittel keine Wärme durch Verdampfen. Dadurch wird die anaerobe Primärflamme heißer als beispielsweise bei MTV, bei dessen Abbrand nicht mit dem Oxidationsmittel reagierendes Magnesium verdampft wird. So kann beispielsweise mit Zirkonium als zweiten Brennstoff, dessen Siedepunkt oberhalb 4682 K liegt, bei ausreichender Energie eine Temperatur in der Primärflamme von bis zu 4682 K erreicht werden, während die Temperatur der Primärflamme beim Abbrand von MTV 1700 bis 1800 K nicht übersteigt.

[0024] Der erste Brennstoff und/oder der zweite Brennstoff können in Form von Partikeln vorliegen oder in Partikeln enthalten sein. Die Partikel können eine unterschiedliche Größe, d. h. ein unterschiedliches Volumen, aufweisen. Ein Vorteil unterschiedlicher Größe der Partikel besteht darin, dass die größeren Partikel die mechanische Stabilität der Hochleistungswirkmasse erheblich erhöhen, da sie als mechanische Vernetzer, ähnlich wie Steine in Beton, wirken. Eine solche Vernetzungswirkung kann beispielsweise in Form grober Teilchen vorliegender Titanschwamm ausüben. Andererseits können sehr feine Partikel Lücken zwischen größeren Partikeln ausfüllen und dadurch die Energiedichte der Hochleistungswirkmasse erhöhen. Beispielsweise wird Bor häufig als sehr feines Pulver mit einer Partikelgröße unter 10 µm oder sogar unter 1 µm verkauft. Es kann dadurch Lücken zwischen größeren Magnesiumpartikeln ausfüllen. Ebenso wird Zirkoniumpulver üblicherweise mit einer sehr kleinen Körnung verkauft, so dass die Partikel in die Lücken zwischen größeren Partikeln passen.

[0025] Die den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel weisen vorzugsweise ein größeres durchschnittliches Volumen auf als die den ersten Brennstoff umfassenden Partikel auf. Dadurch kann, insbesondere beim Abbrand der Wirkmasse bei hoher Luftgeschwindigkeit, eine Raumwirkung erreicht werden. Unter Raumwirkung wird allgemein verstanden, dass ein Teil der Hochleistungswirkmasse nach deren Zündung außerhalb einer entstehenden Flamme IR-Strahlung emittiert.

[0026] Vorzugsweise weisen die den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens 20 W/(m x K) auf. Dadurch können die zweiten Partikel den Abbrand der Hochleistungswirkmasse beschleunigen, indem sie Wärme von der aus dem Abbrand des ersten Brennstoffs resultierenden Primärflamme während des Abbrands in die noch nicht abgebrannte Hochleistungswirkmasse einleiten. Dies ist besonders effektiv, wenn die den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel in Form von Streifen, Drahtstücken oder Spänen vorliegen.

[0027] Vorzugsweise sind die den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel, zumindest an ihre Oberfläche, porös ausgebildet. Das verbessert deren Anzündbarkeit. Ist der zweite Brennstoff ein Metall oder eine Metalllegierung kann in Poren solcher Partikel ein festes Kohlenstofffluorid, insbesondere Polytetrafluorethylen (PTFE), ein fester Fluorkohlenwasserstoff oder ein sonstiges Oxidationsmittel, welches bei der Umsetzung mit dem zweiten Brennstoff Ruß bildet, enthalten sein. Dadurch wird eine sehr hohe Temperatur beim Abbrand der den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel erreicht. Gleichzeitig erhöht der Ruß die Abstrahlung von Schwarzkörperstrahlung. Der erste Brennstoff und der zweite Brennstoff können jeweils aus mindestens einem Metall bestehen, wobei der erste und der zweite Brennstoff zusammen in einer Legierung oder in einer, insbesondere homogenen, Mischung vorliegen. Handelt es sich bei dem ersten Brennstoff beispielsweise um Magnesium und bei dem zweiten Brennstoff um Aluminium und liegen diese Brennstoffe in Form einer Magnesium-Aluminium-Legierung vor, so verdampft bei der Reaktion des Magnesiums mit dem Oxidationsmittel das Magnesium, nicht jedoch das Aluminium, welches als zweiter Brennstoff freigesetzt wird.

[0028] Als Bindemittel hat sich ein Fluorelastomer, insbesondere ein Fluorkautschuk, wie beispielsweise "Viton" von der Firma "DuPont Performance Elastomere", als günstig erwiesen. Alternativ kann auch Polychloropren als Bindemittel verwendet werden. Bei dem Oxidationsmittel handelt es sich vorzugsweise um ein halogenhaltiges Polymer, insbesondere Polytetrafluorethylen (PTFE) oder Kohlenstofffluorid.

[0029] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist in der erfindungsgemäßen Hochleistungswirkmasse zur Beschleunigung des Abbrands ein Abbrandkatalysator, insbesondere Kupferftalocyanin oder Blähgrafit, enthalten.

[0030] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Zeichnungen und Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Zonenverteilung einer beim Abbrand einer MTV-Wirkmasse entstehenden Flamme und

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Zonenverteilung einer beim Abbrand einer erfindungsgemäßen Hochleistungswirkmasse entstehenden Flamme.

[0031] Fig. 1 zeigt die beim Abbrand einer aus MTV bestehenden Wirkmasse 10 entstehende Flamme. Dabei entsteht eine anaerobe Primärflamme 12, in welcher der beim Abbrand entstehende Magnesiumdampf mit dem Teflon reagiert. Da das Magnesium im Verhältnis zum Teflon im Überschuss vorliegt, reagiert der nicht mit dem Teflon reagierende Magnesiumdampf in einer aeroben Sekundärflamme 14 mit dem Sauerstoff der Luft. Sowohl in der Primärflamme 12 als auch in der Sekundärflamme 14 entsteht sehr viel Ruß. Die Abbrandprodukte 18 enthalten abkühlende Reaktionsprodukte, wie Rauch, Ruß und Nebel.

[0032] Fig. 2 zeigt die beim Abbrand einer erfindungsgemäßen Hochleistungswirkmasse 11 entstehende Flamme. Die Hochleistungswirkmasse 11 enthält im Verhältnis zum Oxidationsmittel einen Überschuss an erstem Brennstoff. Beim Abbrand entsteht eine Primärflamme 12, in der das Oxidationsmittel vollständig mit dem ersten Brennstoff reagiert. Gegebenenfalls mit dem Oxidationsmittel reagierender zweiter Brennstoff wird in der Primärflamme 12 durch den ersten Brennstoff auf Grund von dessen niedrigerem Redoxpotential sofort zu zweitem Brennstoff reduziert. In der ersten Zone der Sekundärflamme 15 reagiert der nicht in der Primärflamme 12 umgesetzte erste Brennstoff mit dem Sauerstoff der Luft. Auf Grund des niedrigeren Redoxpotentials des ersten Brennstoffs reagiert hier nur der erste Brennstoff mit dem Sauerstoff. Der zweite Brennstoff reagiert in der zweiten Zone der Sekundärflamme 16 mit dem Luftsauerstoff. Die Abbrandprodukte 18 enthalten abkühlende Reaktionsprodukte, wie Rauch, Ruß und Nebel. Durch das Vorhandensein des zweiten Brennstoffs wird das Volumen der gesamten Flamme und damit die IR-Strahlung abgebende Fläche gegenüber der beim Abbrand einer MTV-Wirkmasse entstehenden Flamme deutlich vergrößert.

[0033] Aus sämtlichen der im Folgenden angegebenen Zusammensetzungen wurden jeweils fünf Tabletten mit ca. 21 mm Durchmesser und einem Gewicht von 10 g bei einem Pressdruck von 1500 bar gepresst. Als erster Brennstoff wurde dabei jeweils Magnesium, bezogen von der Fa. Ecka Granulate GmbH & Co. KG, Fürth, Deutschland, eingesetzt. Im Falle des Beispiels 5 liegt Magnesium in einer Legierung mit dem zweiten Brennstoff Aluminium im Verhältnis 50/50 (bezogen auf die Masse) vor. Auch die Legierung wurde von der Fa. Ecka Granulate GmbH & Co. KG bezogen. Die durchschnittliche Körnung der Magnesiumpartikel war etwa 50 µm. Das Kupferftalocyanin und das Ferrocen diente jeweils als Abbrandkatalysator und das Guanidinazotetrazolat (GZT) zur Vergrößerung der Primärflamme. Sofern nicht anders angegebenen, wurde das Titan von der Fa. Tropag Oscar H. Ritter Nachf. GmbH, Hamburg, Deutschland bezogen. Die Tabletten wurden abgebrannt und deren Leistung in Form von Strahlungsleistung mit einem Radiometer bestimmt. Die spezifische Leistung wurde im Verhältnis zur Leistung von Tabletten aus MTV als Standard bestimmt. Die Energie wurde jeweils in Joule/(g/sr) im A-Band, d. h. bei einer Wellenlänge von ca. 1,8 bis 2,6 µm, und im B-Band, d. h. bei einer Wellenlänge von ca. 3,5 bis 4,6 µm, im Standversuch, d. h. ohne Wind, gemessen. Das A-Band und das B-Band sind die Wellenlängen, die von herkömmlichen Suchköpfen erfasst werden. Alle Daten sind in fünf parallelen Messreihen jeweils im Vergleich zu MTV mit dem Radiometer in einem Abstand von 1 m gemessen worden. Das Radiometer wurde zuvor gegen eine Schwarzkörperstrahlerquelle bei 1273 K und einer Apertur von 22,2 mm bei einem Abstand von 0,4 m kalibriert, um absolute spezifische Strahlungsenergien in Joule pro Steradian (sr) und Gramm zu ermitteln.

Wirkmasse nach dem Stand der Technik:

[0034]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	60,0
Teflonpulver	Hoechst TF 9202	23,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	12,0
Grafitpulver	Merck	5,0

[0035] Es handelt sich bei dieser Schwarzkörperwirkmasse um das als Standard eingesetzte MTV. Die Wirkmasse verbrennt mit einer Abbrandrate von 4,4 mm/s.

Beispiel 1:

[0036]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	48,0
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	12,0
Titanpulver	Sphärisch, Körnung < 100 µm	20,0

[0037] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid. Grobkörniges sphärisches Titan dient als zweiter Brennstoff. Die Wirkmasse verbrennt mit einer Abbrandrate von 3,3 mm/s.

Beispiel 2:

[0038]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	48,0
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	12,0
Titanpulver	Sphärisch, Körnung < 45 µm	20,0

[0039] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid. Feinkörniges sphärisches Titan dient als zweiter Brennstoff. Die Wirkmasse verbrennt mit einer Abbrandrate von 3,3 mm/s.

Beispiel 3:

[0040]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	48,0
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	12,0
Titan	Svenska kemi, Körnung < 100 µm	20,0

[0041] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff. Das Titan liegt als bimodales Pulver, d. h. als Pulver, von dem 30% eine Körnung von 15 µm und 70% eine Körnung von 100 µm aufweisen, vor. Die Wirkmasse verbrennt mit einer Abbrandrate von 3,6 mm/s.

Beispiel 4:

[0042]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	48,0

EP 2 463 259 A2

(fortgesetzt)

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,9
Steinkohle, Haushaltsqualität	Körnung < 1,0 mm	20,0
Kupferftalocyanin	BASF Vossenblau	0,1

[0043] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit feinkörnigem Steinkohlegranulat. Die Wirkmasse erzeugt auch eine Raumwirkung, d. h. sie emittiert durch aus der Hochleistungswirkmasse freigesetzte Steinkohlepartikel auch außerhalb der Flamme IR-Strahlung. Die Steinkohle fungiert hier im Wesentlichen als Quelle für Kohlenstoff, der hier als Pyrolyseprodukt des zweiten Brennstoffs entsteht und die Flamme verbreitert. Die Steinkohle in Haushaltsqualität enthält jedoch auch ca. 60% flüchtige, sehr kohlenstoffreiche aromatische Stoffe, die in der entstehenden Flamme feinen Ruß erzeugen, der eine extrem hohe Strahlungsleistung bewirkt. Die Abbrandrate beträgt 2,5 mm/s.

Beispiel 5:

[0044]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
MgAl	Ecka MX 011	60,0
Teflonpulver	Hoechst TF 9202	25,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	15,0

[0045] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Teflon mit Aluminium als zweiten Brennstoff. Der zweite Brennstoff liegt hier jedoch in einer Legierung mit dem ersten Brennstoff Magnesium in einem Gewichtsverhältnis von 50/50 vor. Statt der Legierung könnte hier auch ein homogenes Gemisch von Magnesium und Aluminium eingesetzt werden. Beim Abbrand dieser Hochleistungswirkmasse verdampft zunächst das Magnesium und das Aluminium, dessen Siedetemperatur beim Abbrand nicht erreicht wird, wird aus der Hochleistungswirkmasse freigesetzt. Die Abbrandrate beträgt 2,8 mm/s.

Beispiel 6:

[0046]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	45,0
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	19,0
Steinkohle	Haushaltsqualität, Körnung < 1,0 mm	18,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,9
Guanidinazotetrazolat (GZT)	Eigensynthese	6,0
Kupferftalocyanin	BASF Vossenblau	0,1

[0047] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid und Steinkohle als zweiten Brennstoff. GZT dient als Flammenverbreiterungsmittel. Die Abbrandrate beträgt 2,7 mm/s.

Beispiel 7:

[0048]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	47,5
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,5
Bor	Körnung: 1 µm	13,0
Titan	Svenska kemi, Körnung: 250 - 425 µm	7,0
Kupferfalcyanin	BASF Vossenblau	1,0

[0049] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff und Bor als weiteren zweiten Brennstoff. Diese Wirkmasse brennt besonders schnell. Die Abbrandrate beträgt 8,0 mm/s.

Beispiel 8:

[0050]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	21,8
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,2
Bor	Körnung: 1 µm	30,7
Titan	Chemetall Typ E trocken	15,3
Ferrocen	Arapahoe Chemicals	1,0

[0051] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff und Bor als weiteren zweiten Brennstoff. Die mit dieser Wirkmasse gemessene spezifische Strahlungsleistung ist fast identisch mit der spezifischen Strahlungsleistung der Hochleistungswirkmasse gemäß Beispiel 7. Die Wirkmasse enthält jedoch weniger Magnesium. Dadurch wird die reduzierende Primärflamme kleiner und der zweite Brennstoff und der weitere zweite Brennstoff werden früher umgesetzt. Daher ist die spezifische Strahlungsleistung beim Abbrand trotz erheblich höherer Energiedichte als bei der Wirkmasse gemäß Beispiel 7 nicht höher als bei dieser Wirkmasse. Die Abbrandrate beträgt nur 4,7 mm/s. Dies zeigt, dass die Energiedichte einer Wirkmasse weniger wichtig ist als die ideale Verteilung der Zonen der Flamme.

Beispiel 9:

[0052]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	39,8
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,2
Bor	Körnung: 1 µm	20,7
Titan	Svenska kemi, Körnung: 250 - 425 µm	7,3
Ferrocen	Arapahoe Chemicals	1,0

[0053] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff und Bor als weiteren zweiten Brennstoff. Die Zonenverteilung in der Flamme wurde optimiert. Die Energiedichte dieser Wirkmasse ist geringer als die Energiedichte der Wirkmasse gemäß Beispiel 8. Dennoch weist sie beim Abbrand eine sehr viel höhere spezifische Strahlungsleistung auf als diese. Die Abbrandrate beträgt 7,4 mm/s.

Beispiel 10:

[0054]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	47,5
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,5
Titanhydrid	Chemetall GmbH	13,0
Titan	Svenska kemi, Körnung: 250 - 425 μm	7,0
Kupferftalocyanin	BASF Vossenblau	1,0

[0055] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff und Titanhydrid als weiteren zweiten Brennstoff. Aus Titanhydrid entstehen bei der Erwärmung durch die Primärflamme Titan und Wasserstoff. Die Wirkmasse ist sehr leistungsstark. Die Abbrandrate beträgt 3,2 mm/s.

Beispiel 11:

[0056]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	47,5
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,5
Zirkoniumhydrid	Chemetall GmbH	13,0
Titan	Svenska kemi, Körnung: 250 - 425 μm	7,0
Kupferftalocyanin	BASF Vossenblau	1,0

[0057] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff und Zirkoniumhydrid als weiteren zweiten Brennstoff. Aus Zirkoniumhydrid entstehen bei der Erwärmung durch die Primärflamme Zirkonium und Wasserstoff. Die beim Abbrand entstehende Flamme weist vier Zonen auf: Eine Primärflamme, in welcher Magnesium verbrennt, eine erste Zone der Sekundärflamme, in der Titan verbrennt, eine zweite Zone der Sekundärflamme, in der Zirkonium verbrennt, und eine dritte Zone der Sekundärflamme, in der Wasserstoff verbrennt. Die Wirkmasse ist sehr leistungsstark. Die Abbrandrate beträgt 5,0 mm/s.

Beispiel 12:

[0058]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Magnesium	LNR 61	47,5
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,5
Zirkonium-Nickel	50/50 Degussa	13,0
Titan	Svenska kemi, Körnung: 250 - 425 μm	7,0
Kupferftalocyanin	BASF Vossenblau	1,0

[0059] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff, Zirkonium als weiteren zweiten Brennstoff und Nickel als zusätzlichen zweiten Brennstoff. Zirkonium und Nickel liegen in einer Legierung in einem Massenverhältnis von 50/50 vor. Die beim Verbrennen der Wirkmasse entstehende Flamme weist vier Zonen auf: Eine Primärflamme, in der Magnesium verbrennt, eine erste

Zone der Sekundärflamme, in der Titan verbrennt, eine zweite Zone der Sekundärflamme, in der Zirkonium verbrennt, und eine dritte Zone der Sekundärflamme, in der Nickel verbrennt. Die Wirkmasse ist sehr leistungsstark. Die Abbrandrate beträgt 4,3 mm/s.

5 Beispiel 13:

[0060]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
10 Magnesium	LNR 61	47,5
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,5
Blähgrafit	NGS Naturgraphit GmbH, Ex 180 SC, grobkörnig	13,0
15 Titan	Svenska kemi, Körnung: 250 - 425 µm	7,0
Kupferfthalocyanin	BASF Vossenblau	1,0

20 **[0061]** Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff und Blähgrafit bzw. Kohlenstoff als weiteren zweiten Brennstoff. Bei Blähgrafit handelt es sich um Grafit, bei dem zwischen die Kohlenstoff-Schichten Atome oder kleine Moleküle eingelagert sind. Blähgrafit dehnt sich bei Beaufschlagung mit Wärme stark aus. Die Wirkmasse ist sehr leistungsstark. Die Abbrandrate beträgt 5,8 mm/s. Der Blähgrafit bewirkt eine zusätzliche Raumwirkung.

25 Beispiel 14:

[0062]

Stoff	Typ	Gewichtprozent
30 Magnesium	LNR 61	20,2
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	12,8
Bor	Körnung: 1 µm	15,7
35 Titanhydrid	Chemetall GmbH	15,3
Blähgrafit	NGS Naturgraphit GmbH, grobkörnig	15,0
Ferrocen	Arapahoe Chemicals	1,0

40 **[0063]** Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff, Bor als weiteren zweiten Brennstoff, Titanhydrid als zusätzlichen zweiten Brennstoff und Kohlenstoff als weiteren zusätzlichen zweiten Brennstoff. Aus Titanhydrid entstehen bei der Erwärmung durch die Primärflamme Titan und Wasserstoff. Die Wirkmasse zeigt beim Abbrand eine Flamme mit fünf Zonen: In einer Primärflamme verbrennt Magnesium, in einer ersten Zone der Sekundärflamme Titan, in einer zweiten Zone der Sekundärflamme Bor, in einer dritten Zone der Sekundärflamme Wasserstoff und in einer vierten Zone der Sekundärflamme Kohlenstoff. Die Wirkmasse ist relativ leistungsstark. Der Blähgrafit bewirkt zusätzlich eine Raumwirkung. Die Wirkmasse brennt verhältnismäßig langsam ab. Die Abbrandrate beträgt 1,8 mm/s.

Beispiel 15:

50 **[0064]**

Stoff	Typ	Gewichtprozent
55 Magnesium	LNR 61	40,0
Grafitfluorid	Sigma-Aldrich	20,0
Viton	3M Fluorel FC-2175	11,5
Bor	Körnung: 1 µm	10,0

EP 2 463 259 A2

(fortgesetzt)

Stoff	Typ	Gewichtprozent
Titan	Svenska kemi, Körnung: 250 - 425 μm	7,5
Blähgrafit	NGS Naturgraphit GmbH, feinkörnig	10,0
Ferrocen	Arapahoe Chemicals	1,0

[0065] Es handelt sich bei dieser Hochleistungswirkmasse um eine Schwarzkörperwirkmasse auf Basis von Grafitfluorid mit Titan als zweiten Brennstoff, Bor als weiteren zweiten Brennstoff und Kohlenstoff als zusätzlichen zweiten Brennstoff. Beim Abbrand zeigt die Wirkmasse eine Flamme mit vier Zonen: In einer Primärflamme verbrennt Magnesium, in einer ersten Zone der Sekundärflamme Titan, in einer zweiten Zone der Sekundärflamme Bor und in einer dritten Zone der Sekundärflamme Kohlenstoff. Die Wirkmasse ist relativ leistungsstark. Der Blähgrafit verursacht zusätzlich eine Raumwirkung. Die Wirkmasse brennt sehr schnell ab. Die Abbrandrate beträgt 7,2 mm/s.

Messergebnis der Strahlungsmessungen:

[0066] Es wurden jeweils 5 Messreihen durchgeführt. Alle angegebenen Werte wurden für jede Messreihe separat ermittelt und berechnet. Die angegebenen Werte sind Durchschnittswerte der für jede Messreihe ermittelten Werte. " E_a " bezeichnet dabei die im A-Band (ca. 1,8 - 2,6 μm) und " E_b " die im B-Band (ca. 3,5 - 4,6 μm) gemessene spezifische Leistung in J/(g sr). "% MTV" gibt die Summe der spezifischen Leistungen im A-Band und im B-Band in Prozent der für MTV gemessenen spezifischen Leistung an.

Wirkmasse	E_a /(J/(g sr))	E_b /(J/(g sr))	$(E_a + E_b)$ /(J/(g sr))	E_b/E_a	% MTV
MTV	166	82	248	0.496	100
Beispiel 1	312	157	469	0.506	178
Beispiel 2	313	156	469	0.500	178
Beispiel 3	219	141	361	0.646	145
Beispiel 4	315	177	492	0.562	198
Beispiel 5	218	103	322	0.474	122
Beispiel 6	293	188	482	0.641	188
Beispiel 7	212	135	347	0.635	140
Beispiel 8	207	137	344	0.661	139
Beispiel 9	308	204	512	0.662	207
Beispiel 10	212	139	351	0.654	141
Beispiel 11	206	133	339	0.645	137
Beispiel 12	183	121	304	0.659	123
Beispiel 13	163	120	283	0.735	114
Beispiel 14	154	126	280	0.816	113
Beispiel 15	185	130	315	0.705	127

Bezugszeichenliste

[0067]

- 10 Wirkmasse
- 11 Hochleistungswirkmasse
- 12 Primärflamme
- 14 Sekundärflamme
- 15 erste Zone der Sekundärflamme

16 zweite Zone der Sekundärflamme

18 Abbrandprodukte

5

Patentansprüche

1. Hochleistungswirkmasse (11) für pyrotechnische Infrarotscheinziele umfassend einen ersten Brennstoff, mindestens einen zweiten Brennstoff, ein Oxidationsmittel und ein Bindemittel, wobei der erste Brennstoff und das Oxidationsmittel hinsichtlich ihrer Redoxpotentiale so gewählt sind, dass das Oxidationsmittel den ersten Brennstoff nach Zündung in einer exothermen Reaktion unter Entstehung einer Primärflamme (12) und Emission von Infrarotstrahlung oxidieren kann, wobei der zweite Brennstoff bei der Reaktion entzündet, erhitzt und/oder pyrolysiert und aus der Hochleistungswirkmasse (11) freigesetzt wird, wobei der zweite Brennstoff so gewählt ist, dass dessen Redoxpotential oder das Redoxpotential mindestens eines Pyrolyseprodukts des zweiten Brennstoffs höher ist als das Redoxpotential des ersten Brennstoffs und dass der erhitzte oder entzündete zweite Brennstoff oder das Pyrolyseprodukt an der Luft brennen kann, wobei die Menge des in der Hochleistungswirkmasse (11) enthaltenen Oxidationsmittels höchstens so groß ist, dass sie gerade ausreicht, um den ersten Brennstoff vollständig zu oxidieren.
2. Hochleistungswirkmasse (11) nach Anspruch 1, wobei die Menge des in der Hochleistungswirkmasse (11) enthaltenen Oxidationsmittels so bemessen ist, dass die Zahl der vom gesamten Brennstoff in der Hochleistungswirkmasse (11) in Redoxreaktionen abzugebenden Elektronen, die Zahl der Elektronen, die vom Oxidationsmittel aufgenommen werden können, mindestens um den Faktor 2, insbesondere mindestens um den Faktor 3, insbesondere mindestens um den Faktor 4, insbesondere mindestens um den Faktor 5, übersteigt.
3. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Menge des in der Hochleistungswirkmasse (11) enthaltenen Oxidationsmittels so bemessen ist, dass die Zahl der vom ersten Brennstoff in der Hochleistungswirkmasse (11) in Redoxreaktionen abzugebenden Elektronen, die Zahl der Elektronen, die vom Oxidationsmittel aufgenommen werden können, mindestens um den Faktor 1,25, insbesondere mindestens um den Faktor 1,5, insbesondere mindestens um den Faktor 2, übersteigt.
4. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Brennstoff ein Metall, eine Mischung aus Metallen oder eine Metalllegierung umfasst.
5. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Brennstoff einen Siedepunkt aufweist, der unterhalb einer sich bei der Reaktion des ersten Brennstoffs mit dem Oxidationsmittel nach dessen Zündung einstellenden Reaktionstemperatur liegt.
6. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Brennstoff Magnesium, Calcium, Lithium, Aluminium oder eine Legierung oder Mischung aus mindestens zwei dieser Metalle umfasst.
7. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Brennstoff, Aluminium, Magnesium, Titan, Zirkonium, Hafnium, Calcium, Lithium, Niob, Wolfram, Mangan, Eisen, Nickel, Kobalt, Zink, Zinn, Blei, Wismut, eine Legierung oder Mischung aus mindestens zwei dieser Metalle, eine Zirkonium-Nickel-Legierung oder -Mischung, eine Aluminium-Magnesium-Legierung oder -Mischung, eine Lithium-Aluminium-Legierung oder -Mischung, eine Lithium-Silizium-Legierung oder -Mischung, eine Calcium-Aluminium-Legierung oder -Mischung, eine Eisen-Titan-Legierung oder -Mischung, eine Zirkonium-Titan-Legierung oder -Mischung, Bor, Titanhydrid, Zirkoniumhydrid, ein Borhydrid, Hafniumhydrid, ein Lithiumkomplexhydrid, elementaren Kohlenstoff, Blähgrafit, Steinkohle, Holzkohle, Braunkohle, Phosphor, Schwefel, Silizium, Sägemehl, Holz oder Kunststoff umfasst.
8. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Brennstoff ein Metall, eine Mischung aus Metallen, eine Metalllegierung oder ein Metallhydrid umfasst.
9. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Brennstoff Magnesium und der zweite Brennstoff eine Mischung oder Legierung aus Titan und Bor umfasst.
10. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Brennstoff einen Siedepunkt aufweist, der oberhalb einer sich bei der Reaktion des ersten Brennstoffs mit dem Oxidationsmittel nach

dessen Zündung einstellenden Reaktionstemperatur liegt.

11. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Brennstoff und/oder der zweite Brennstoff in Form von Partikeln vorliegt oder in Partikeln enthalten ist.

5

12. Hochleistungswirkmasse (11) nach Anspruch 11, wobei die den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens $20 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ aufweisen.

10 13. Hochleistungswirkmasse (11) nach Anspruch 11 oder 12, wobei die den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel in Form von Streifen, Drahtstücken oder Spänen vorliegen oder, zumindest an ihrer Oberfläche, porös ausgebildet sind.

15 14. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei der zweite Brennstoff ein Metall oder eine Metallegierung ist und die den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel, zumindest an ihrer Oberfläche, porös ausgebildet sind und in Poren dieser Partikel ein festes Kohlenstofffluorid, insbesondere Polytetrafluorethylen (PTFE), ein fester Fluorkohlenwasserstoff oder ein sonstiges Oxidationsmittel, welches bei der Umsetzung mit dem zweiten Brennstoff Ruß bildet, enthalten ist.

20 15. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei die den zweiten Brennstoff umfassenden Partikel ein größeres durchschnittliches Volumen aufweisen als die den ersten Brennstoff umfassenden Partikel.

25 16. Hochleistungswirkmasse (11) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei der erste Brennstoff und der zweite Brennstoff jeweils aus mindestens einem Metall besteht, wobei der erste und der zweite Brennstoff zusammen in einer Legierung oder in einer, insbesondere homogenen, Mischung vorliegen.

30

35

40

45

50

55

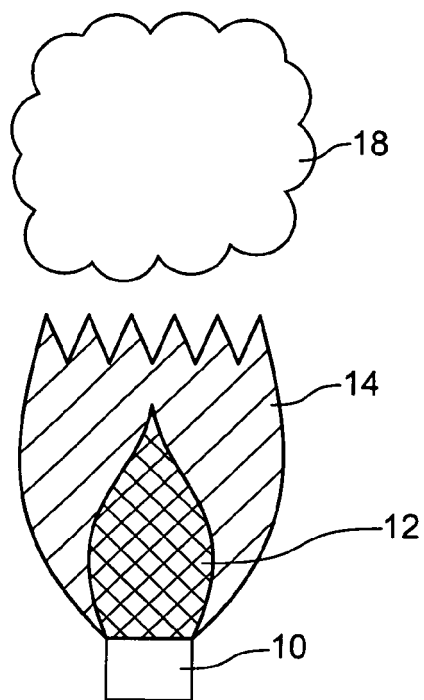


Fig. 1

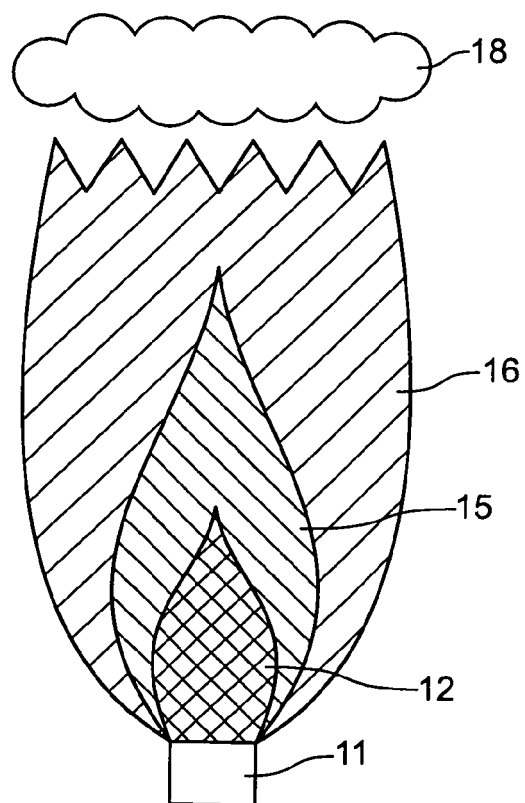


Fig. 2