(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 047 993 B4** 2008.04.30

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 047 993.6**
(22) Anmeldetag: **06.10.2005**
(43) Offenlegungstag: **20.07.2006**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **30.04.2008**

(51) Int Cl.[8]: ***G01N 30/64*** (2006.01)
G01N 21/76 (2006.01)
G01N 21/71 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten(§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
11/034,017 12.01.2005 US

(73) Patentinhaber:
Agilent Technologies, Inc. (n.d.Ges.d. Staates Delaware), Santa Clara, Calif., US

(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(72) Erfinder:
Warchol, Andrew Martin, Loveland, Col., US; Quimby, Bruce Douglas, Loveland, Col., US; Snyder, W. Dale, Loveland, Col., US; Dryden, Paul Craig, Loveland, Col., US

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
US 57 08 507 A
US 51 53 673 A
US 62 05 841 B1

(54) Bezeichnung: **Flammenphotometriedetektor mit verbesserter Empfindlichkeit**

(57) Hauptanspruch: Flammenphotometerdetektor (100), der folgende Merkmale umfasst:
eine Brenneranordnung (116), die konfiguriert ist, um eine nicht-gepulste Flamme zu erzeugen, um eine Probe eines Ausflussmediums zu verbrennen, wobei die verbrannte Probe ein erregtes Molekül emittiert;
ein einzelnes, austauschbares selektives optisches Breitbandpass-Filter (150), das konfiguriert ist, um eine Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen durchzulassen, die dem ersten Molekül entsprechen, wobei die ausgewählten optischen Wellenlängen sich kollektiv von 335 bis 405 Nanometer (nm) erstrecken; und
eine Photomultipliziererröhre (138), die konfiguriert ist, um die Konzentration des erregten Moleküls zu quantifizieren.

Beschreibung

[0001] Gaschromatographie wird verwendet, um das Vorliegen vieler unterschiedlicher Substanzen in einer gasförmigen Probe zu analysieren und zu erfassen. Gaschromatographie verwendet verschiedene Detektortypen, abhängig von dem spezifischen Element oder der spezifischen Verbindung, die zu erfassen ist. Unterschiedliche Detektoren werden verwendet, um selektive und/oder äußerst empfindliche Erfassung spezifischer Elemente oder Zusammensetzungen zu erreichen, insbesondere chromatographische Analysen.

[0002] Ein Flammenphotometerdetektor wird typischerweise verwendet, um das Vorliegen von Schwefel (Sulfur) oder Phosphor in einer bestimmten Probe oder einem Analyt zu erfassen. Ein Flammenphotometerdetektor verwendet, was als eine chemielumineszente Reaktion bezeichnet wird, wo Verbindungen, die Schwefel oder Phosphor enthalten, auf eine wasserstoffreiche Flamme treffen. Chemielumineszenz verwendet quantitative Messungen der optischen Emission von erregten chemischen Spezies, um eine Analytkonzentration zu bestimmen. Chemielumineszenz ist typischerweise eine Emission von erregten Molekülspezies. Wenn es in einer solchen Flamme brennt oder verbrannt wird, wird Schwefel in eine emittierende Spezies umgewandelt, die als „S_2" wird, und Phosphor wird in eine emittierende Spezies umgewandelt, die als „HPO" bezeichnet wird. Der Emissionswellenbereich für erregtes S_2 umfasst unter anderem die Region von 320-405 Nanometer (nm) und der Wellenlängenbereich für erregtes HPO umfasst unter anderem den Bereich von 510-530 nm. Die Molekularemissionen treffen auf einen Photoelektronenvervielfacher, der Photonen in ein elektrisches Signal umwandelt, um die Konzentration bestimmter erregter Spezies zu quantifizieren.

[0003] Um selektiv entweder die Emission von erregtem S_2 oder erregtem HPO zu erfassen, wurde typischerweise ein optisches Schmalbandpass-(Interferenz-)Filter zwischen der Flamme und dem Photoelektronenvervielfacher verwendet, um das geeignete Emissionsband zu isolieren. Leider begrenzt ein optisches Schmalbandpassfilter das Signal/Rausch-Verhältnis und daher die Signalstärke des Signals, das an den Photoelektronenvervielfacher geliefert wird, was zu einer Unfähigkeit führt, winzige Mengen eines Analyts zu erfassen. Beispielsweise überträgt ein optisches Schmalbandpassfilter, das bei einem herkömmlichen Flammenphotometerdetektor verwendet wird, um Sulfur zu erfassen, ein Photonenemissionsband, das in der Wellenlänge von 385-400 nm reicht und 65 Durchlässigkeit aufweist. Ein Nachteil eines solchen optischen Filters ist, dass es nur eines von vielen charakteristischen Emissionsbändern für Sulfur durchlässt, und dadurch das Signal begrenzt, das an den Photoelektronenvervielfacher geliefert wird. Um ferner das Vorliegen unterschiedlicher Analyte zu erfassen, müssen unterschiedliche Filter ausgetauscht werden.

[0004] Die US-A-5,153,673 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Analyse einer Probe unter Verwendung einer gepulsten Flamme, wobei die Probe in ein verbrennbares Gasgemisch eingebracht wird, das verbrennbare Gasgemisch gezündet wird, um eine gepulste Flamme zu erzeugen, und eine Charakteristik der sich ergebenden, gepulsten Flamme erfasst wird, um die Identität und/oder die Konzentration eines oder mehrerer chemischer Substanzen in der Probe zu erfassen.

[0005] Die US 6,205,841 B1 beschreibt einen Gaschromatographen mit Massenflusssteuerungen, die jeweils an einem Mittelabschnitt einer Wasserstoffgasröhre und einer Luftröhre, die mit einem Flammendetektor verbunden ist, angeordnet sind. Die zwei Steuerungen werden vorgesehen, um Wasserstoff und Sauerstoff zuzuführen, um eine optimale Mischrate für eine Verbrennung einer Zielkomponente in einer Probe zu erhalten.

[0006] Die US-A-5,708,507 beschreibt ein System und ein Verfahren zur temperaturaufgelösten Molekularemissionsspektroskopie von festen, flüssigen oder gasförmigen Materialien, wobei eine Probe verdampft und zersetzt wird, und wobei die verdampfte Probe in eine Verbrennungsflamme eingebracht wird. Ein Intensitätsspektrum der optischen Emission der Flamme ermöglicht sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Analyse der Probe.

[0007] Daher wäre es wünschenswert, das Vorliegen mehrerer Elemente zu erfassen, ohne Interferenzfilter in einem Flammenphotometerdetektor wechseln zu müssen.

[0008] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Flammenphotometerdetektor und ein selektives optisches Filter für einen Flammenphotometerdetektor mit verbesserten Charakteristika zu schaffen.

[0009] Diese Aufgabe wird durch einen Flammenphotometerdetektor gemäß Anspruch 1 und 8 gelöst.

[0010] Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst ein Flammenphotometerdetektor eine Brenneranordnung, die konfiguriert ist, um eine Probe eines Ausflussmediums zu verbrennen, wobei die verbrannte Probe zumindest ein erregtes Molekül emittiert, ein austauschbares selektives optisches Filter, das konfiguriert ist, um eine Mehrzahl ausgewählter optischer Wellenlängen durchzulassen, die dem erregten Molekül entsprechen, und einen Photoelektronenvervielfacher, der konfiguriert ist, um die Konzentration des erregten Moleküls zu quantifizieren.

[0011] Andere Aspekte und Vorteile der Erfindung werden mit Bezugnahme auf die Figuren und die detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele erörtert.

[0012] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf beiliegende Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0013] **Fig.** 1 ein schematisches Diagramm, das einen Flammenphotometerdetektor darstellt, der ein selektives optisches Filter verwendet;

[0014] **Fig.** 2 eine graphische Darstellung, die die Spektralwellenlänge und den Durchlassbereich eines herkömmlichen optischen Filters zeigt;

[0015] **Fig.** 3 eine graphische Darstellung, die die optischen Charakteristika eines selektiven optischen Filters zeigt, das gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung aufgebaut ist;

[0016] **Fig.** 4 eine graphische Darstellung, die die optischen Charakteristika eines weiteren Ausführungsbeispiels des selektiven optischen Filters zeigt;

[0017] **Fig.** 5 eine graphische Darstellung, die die optischen Charakteristika eines weiteren Ausführungsbeispiels des selektiven optischen Filters zeigt;

[0018] **Fig.** 6 eine graphische Darstellung, die die optischen Charakteristika eines weiteren Ausführungsbeispiels des selektiven optischen Filters zeigt; und

[0019] **Fig.** 7 ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zum selektiven Erfassen optischer Signale darstellt.

[0020] Obwohl das selektive optische Filter für die Verwendung in einem Flammenphotometerdetektor nachfolgend für die Verwendung beim Erfassen von Schwefel und Phosphor beschrieben wird, kann dasselbe modifiziert werden, um das Vorliegen anderer Elemente zu erfassen. Beispielsweise kann durch sorgfältiges Entwerfen der durchlässigen und nicht-durchlässigen Wellenlängen eines selektiven optischen Filters gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung das Vorliegen anderer Elemente erfasst und analysiert werden. Obwohl ferner hierin bestimmte Wellenlängen beschrieben sind, kann das selektive optische Filter, das nachfolgend beschrieben ist, konfiguriert sein, um für andere Wellenlängen durchlässig und nicht-durchlässig zu sein.

[0021] **Fig.** 1 ist ein schematisches Diagramm, das einen Flammenphotometerdetektor **100** darstellt, der ein selektives optisches Filter verwendet. Der Flammenphotometerdetektor **100** umfasst allgemein einen Körperabschnitt **146** und ein Probenzuführelement **106**. Bei einem Ausführungsbeispiel wird die Ausgabe eines Gaschromatographs, der bei **102** dargestellt ist, der eine chromatographische Säule **104** umfasst, an ein Eingangstor **108** des Probenlieferelements **106** geliefert. Das Probenmaterial, das an dem Eingangstor **108** geliefert wird, wird als das „Ausflussmedium" bezeichnet und stellt die Ausgabe der chromatographischen Säule **104** dar. Das Probenzuführelement **106** umfasst auch ein Tor **112**, durch das ein Vorrat an Wasserstoff zugeführt wird, und ein Tor **114**, durch das ein Vorrat von Sauerstoff oder Luft geliefert wird. Das Probenzuführelement **106** umfasst auch ein Brennerelement **106**, um eine Flamme **118** zu liefern. Gemäß dem Betrieb des Flammenphotometerdetektors **100** wird die Probe, die über die chromatographische Säule **104** eingeführt wird, in einer wasserstoffreichen Flamme **118** verdampft. Das Erwärmen der Probe in der wasserstoffreichen Flamme **118** erregt die Moleküle in der Probe, und falls diese vorliegen, bewirkt, dass von dem Ausflussmedium erregte Spezies von Schwefel (bei diesem Beispiel S_2) und Phosphor (bei diesem Beispiel HPO) gebildet werden. Die Flamme **118** brennt in einer Kammer **126**, die ein Auslasstor **122** umfasst. Das Auslasstor **122** ist konfiguriert, um alle Verbrennungsnebenprodukte von der Kammer **126** zu entfernen. Die Kammer **126** umfasst auch eine Chemielumineszenzregion **128**. Die Chemielumineszenzregion **128** ist der Bereich in dem Körper **146** des Flammenphotometerdetektors **100**, in dem die Probe, die durch die Flamme **118** verdampft wird, erregte Moleküle bildet, die durch den Photoelektronenvervielfacher **138** erfasst werden. Der Begriff Chemielumineszenz bezieht sich auf den Prozess, durch den eine erregte Molekülspezies Lichtenergie in der Form von Photonen bei einer Reihe von bestimmten Wellenlängen emittiert. Wie es nachfolgend beschrieben wird, verlaufen die Photonen durch das Wärmefilter **134** in ein selektives optisches Filter **150** und werden durch den Photoelektronenvervielfacher **138** erfasst und verstärkt.

[0022] Ein Wärmefilter **134** trennt die Chemielumineszenzregion **128** und die Kammer **126** von dem selektiven optischen Filter **150**. Bei diesem Beispiel ist das selektive optische Filter **150** entfernbar und austauschbar, so dass die Wellenlänge von Licht, das in der Chemielumineszenzregion **128** erzeugt wird und zu dem Photoelektronenvervielfacher **138** geleitet wird, selektiv erfasst werden kann. Wenn die Probe in der Kammer **126** verbrannt wird, emittiert die Probe erregte Spezies, die Photonen bei einer oder mehreren charakteristischen Wellenlängen emittieren. Das selektive optische Filter **150** filtert die Lichtenergie, die auf dasselbe trifft, und lässt ausgewählte Wellenlängen zu dem Photoelektronenvervielfacher **138** durch. Der Photoelektronenvervielfacher **138** empfängt eine Hochspannungsenergiequelle auf der Verbindung **142** und liefert auf der Verbindung **144** eine Ausgabe an einen Verstärker und andere Verarbeitungselemente (nicht gezeigt). Der Photoelektronen-

vervielfacher **138** wandelt Photonen in ein elektrisches Signal um, um die Konzentration einer bestimmten erregten Spezies zu quantifizieren. Die Photonen, die auf den Photoelektronenvervielfacher **138** auftreffen, haben eine charakteristische Wellenlänge, die von dem Material abhängt, das in der Region **128** eine Chemielumineszenzreaktion erfahren hat. Auf diese Weise kann der Flammenphotometerdetektor **100** über die charakteristische Wellenlänge der Lichtenergie, die auf den Photoelektronenvervielfacher **138** trifft, bestimmen, ob ein bestimmtes Element in der Probe vorliegt.

[0023] Bei einer typischen Anwendung wird der Flammenphotometerdetektor **100** verwendet, um das Vorliegen von Schwefel und/oder Phosphor in einer Probe zu erfassen. Wenn es aufgrund einer Chemielumineszenzreaktion erregt ist, wird Schwefel zu einer Molekülspezies, die als „S_2" bezeichnet wird, und Phosphor wird zu einer Molekülspezies, die als „HPO" bezeichnet wird.

[0024] Bei einem herkömmlichen Flammenphotometerdetektor wurde das optische Filter herkömmlicherweise als optisches Schmalbandpassfilter entworfen, das entworfen ist, um einen kleinen Teil des elektromagnetischen Spektrums durchzulassen, das charakteristisch ist für das Material, das zu erfassen ist. Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das selektive optische Filter **150** als ein optisches Breitbandpassfilter hergestellt, und bei einem alternativen Ausführungsbeispiel als eine Mehrzahl von optischen selektiven Bandpassfiltern, die selektive durchlässige und nicht-durchlässige Regionen aufweisen. Bis ein selektives optisches Breitbandpassfilter durch die Erfinder implementiert wurde, wurde davon ausgegangen, dass ein solches optisches Filter nicht in der Lage wäre, die S_2- und HPO-Spezies mit ausreichender Selektivität zu erfassen. Es wurde jedoch herausgefunden, dass bisherige Überlegungen über die erwartete schlechte Filterselektivität, wenn ein optisches Breitbandpassfilter verwendet wird, nicht gültig sind. Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung liefert ein selektives optisches Breitbandpassfilter sowohl hohe Selektivität als auch hohe Empfindlichkeit zum Erfassen sowohl der S_2- als auch der HPO-Spezies.

[0025] **Fig.** 2 ist eine graphische Darstellung **200**, die die spektrale Wellenlänge und den Durchlassbereich eines herkömmlichen optischen Filters zeigt. Die horizontale Achse **202** stellt die spektrale Wellenlängen in Nanometern (nm) dar und die vertikale Achse **204** stellt die Signalintensität durch ein optisches Filter dar. Die Kurve **206** stellt ein Interferenzsignal dar, das mehrere Spitzen **222**, **224**, **226**, **228** und **232** von Kohlenwasserstoff oder OH enthält, das in den meisten verbrannten Proben vorliegt. Die Kurve **208** stellt die optische Antwort von Schwefel dar, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor verbrannt ist, und die Kurve **212** stellt die optische Antwort von Phosphor dar, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde. Die Kurve **208** umfasst eine Mehrzahl charakteristischer Wellenlängen (364 nm, 374 nm, 384 nm und 394 nm (in **Fig.** 2 dargestellt)) des erregten S_2-Moleküls, und die Kurve **212** umfasst eine charakteristische Wellenlänge (525 nm) des erregten HPO-Moleküls.

[0026] Die Region, die bei **250** angezeigt ist, stellt ein schmales optisches Übertragungsband dar, das die 394 nm Wellenlänge umfasst, die eine der charakteristischen Wellenlängen des erregten S_2-Schwefel-Moleküls ist. Die Spitze, die bei Punkt **214** dargestellt ist, stellt die charakteristische 394 nm Emission des Schwefel-S_2-Moleküls dar, während die Spitze **216** die charakteristische 525 nm Wellenlängen-Emission des Phosphor-HPO darstellt. Bei diesem Beispiel würde ein herkömmliches optisches Schmalbandfilter nur die charakteristische 394 nm S_2 Wellenlänge durchlassen.

[0027] **Fig.** 3 ist eine graphische Darstellung **300**, die die optischen Charakteristika eines selektiven optischen Filters darstellt, das gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung aufgebaut ist. Die horizontale Achse **302** stellt die spektrale Wellenlänge in Nanometern dar, und die vertikale Achse **304** stellt die Signalintensität durch das selektive optische Filter dar. Die Kurve **306** stellt Interferenzsignale dar, die eine Mehrzahl von Kohlenwasserstoff- und OH-Spitzen **322**, **324**, **326**, **328** und **332** umfassen, die Kurve **308** stellt die optische Antwort des S_2-Schwefel-Moleküls dar, nachdem es durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde, und die Kurve **312** stellt die optische Antwort des HPO-Phosphor-Moleküls dar, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde. Die Kurve **308** umfasst eine Mehrzahl von charakteristischen Wellenlängen (364 nm, 374 nm, 384 nm und 394 nm) des erregten S_2-Moleküls, und die Kurve **312** umfasst eine charakteristische Wellenlänge (525 nm) des erregten HPO-Moleküls.

[0028] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung hat das selektive optische Filter **150** ein breites durchlässiges Band, das als eine durchlässige Region **350** dargestellt ist. Bei diesem Beispiel umfasst die durchlässige Region Wellenlängen von etwa 335 bis 405 Nanometern. Diese Breitbandpassfiltercharakteristik erfasst die meisten der charakteristischen Wellenlängen des S_2-Moleküls (364 nm, 374 nm, 384 nm und 394 nm), das allgemein bei **336** dargestellt ist. Andere charakteristische Wellenlängen des S_2-Moleküls umfassen beispielsweise 342 nm, 350 nm und 359 nm. Die dargestellte Breitbandpassfiltercharakteristik, die die durchlässige Region **350** verwendet, liefert ein hervorragendes Signal/Rausch-Verhältnis, während dieselbe einen brei-

ten Bereich von charakteristischen Wellenlängen **336** nutzt, die das S_2-Sulfur-Molekül charakterisieren. Das selektive optische Filter **150** ist entworfen, um bei Wellenlängen außerhalb der durchlässigen Region **350** nicht-durchlässig zu sein.

[0029] **Fig.** 4 ist eine graphische Darstellung **400**, die die optischen Charakteristika ein es weiteren Ausführungsbeispiels des selektiven optischen Filters zeigt. Die horizontale Achse **402** stellt eine spektrale Wellenlänge in Nanometern dar und die vertikale Achse **404** stellt eine Signalintensität durch das selektive optische Filter dar. Die Kurve **406** stellt ein Interferenzsignal dar, das eine Mehrzahl von Kohlenwasserstoff- und OH-Spitzen **422**, **424**, **426**, **428** und **432** umfasst, wobei die Kurve **408** die Antwort des S_2-Schwefel-Moleküls darstellt, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde, und die Kurve **412** die Antwort des HPO-Phosphor-Moleküls darstellt, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde. Die Kurve **408** umfasst eine Mehrzahl von charakteristischen Wellenlängen (364 nm, 374 nm, 384 nm und 394 nm) des erregten S_2-Moleküls, und die Kurve **412** umfasst eine charakteristische Wellenlänge 525 nm des erregten HPO-Moleküls.

[0030] Die optische Filtercharakteristik eines selektiven optischen Filters, das unter Verwendung der graphischen Darstellung **400** angezeigt ist, zeigt eine durchlässige Region **442** und eine durchlässige Region **444** mit einer nicht-durchlässigen Region **446** dazwischen. Die durchlässige Region **442** ist in der ungefähren Wellenlängenregion von 335 bis 380 Nanometern durchlässig, und die durchlässige Region **444** ist d in der ungefähren Wellenlängenregion von 405 bis 425 Nanometern durchlässig. Die nicht-durchlässige Region **446** belegt eine ungefähre spektrale Wellenlänge, die 385 bis 400 Nanometer umfasst. Bei diesem Beispiel gibt es eine ungefähre 5nm-Region zwischen der nicht-durchlässigen Region **446** und den durchlässigen Regionen **442** und **444**, die aufgrund optischer Filterleistungscharakteristika als weder durchlässig noch nicht-durchlässig angesehen wird.

[0031] Die nicht-durchlässige Region **446** wird als eine „Aussparung" bezeichnet, da die Wellenlängen darin aus der Filterantwort ausgespart werden. Wie es in **Fig.** 4 gezeigt ist, umfasst die nicht-durchlässige Region **446** die Kohlenwasserstoffantwort der Interferenzkurve **406**, die bei Punkt **424** gezeigt ist. Durch Aussparen der Kohlenwasserstoffantwort bei dieser Wellenlänge werden sowohl hohe Selektivität als auch hohe Empfindlichkeit gegenüber dem Erfassen des S_2-Schwefel-Moleküls bei den charakteristischen Wellenlängen 342 nm, 350 nm, 359 nm, 364 nm und 374 nm durch das selektive optische Filter **150** geliefert.

[0032] **Fig.** 5 ist eine graphische Darstellung **500**, die die optischen Charakteristika eines weiteren Ausführungsbeispiels des selektiven optischen Filters zeigt. Die horizontale Achse **502** stellt die spektrale Wellenlänge in Nanometern dar, und die vertikale Achse **504** stellt Signalintensität durch das selektive optische Filter dar. Die Kurve **506** stellt ein Interferenzsignal dar, das eine Mehrzahl von Kohlenwasserstoff- und OH-Spitzen **552**, **524**, **526**, **528** und **532** umfasst, wobei die Kurve **508** die Antwort des S_2-Schwefel-Moleküls darstellt, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde, und die Kurve **512** die Antwort des HPO-Phosphor-Moleküls darstellt, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde. Die Kurve **508** umfasst eine Mehrzahl von charakteristischen Wellenlängen (364 nm, 374 nm, 384 nm und 394 nm) des erregten S_2-Moleküls, und die Kurve **512** umfasst eine charakteristische Wellenlänge 525 nm des erregten HPO-Moleküls. Andere charakteristische Wellenlängen des HPO-Moleküls können ebenfalls erfasst werden.

[0033] Die Filterantwort, die in **Fig.** 5 gezeigt ist, umfasst eine durchlässige Region **550** und eine durchlässige Region **560**. Die durchlässige Region **550** umfasst die ungefähren Wellenlängen von 335 bis 405 Nanometern, während die durchlässige Region **560** die ungefähren Wellenlängen von 520 bis 580 Nanometern umfasst. Auf diese Weise kann ein einzelnes selektives optisches Filter optische Empfindlichkeit und Selektivität liefern, zum Erfassen sowohl des S_2-Schwefel-Moleküls als auch des HPO-Phosphor-Moleküls. Wie es in **Fig.** 5 gezeigt ist, werden die charakteristische Wellenlängenemission (364 nm, 374 nm, 384 nm und 394 nm) des erregten S_2-Moleküls und die charakteristische Nanometerwellenlängenemission des erregten HPO-Phosphor-Moleküls innerhalb der durchlässigen Region **550** bzw. **560** leicht erfasst, während Interferenz-Kohlenwasserstoff- und OH-Signale, die bei **522**, **526**, **528** und **532** dargestellt sind, außerhalb der durchlässigen Regionen **550** und **560** liegen.

[0034] **Fig.** 6 ist eine graphische Darstellung **600**, die die optischen Charakteristika eines weiteren Ausführungsbeispiels des selektiven optischen Filters zeigt. Die horizontale Achse **602** stellt die spektrale Wellenlänge in Nanometern dar, und die vertikale Achse **604** stellt die Signalintensität durch das selektive optische Filter dar. Die Kurve **606** stellt ein Interferenzsignal dar, das eine Mehrzahl von Kohlenwasserstoff- und OH-Spitzen **622**, **624**, **626**, **628** und **632** umfasst, die Kurve **608** stellt die Antwort des S_2-Schwefel-Sulfur-Moleküls dar, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde, und die Kurve **612** stellt die Antwort des HPO-Phosphor-Moleküls dar, nachdem dasselbe durch den Flammenphotometerdetektor **100** verbrannt wurde. Die Kurve **608** umfasst eine Mehrzahl

charakteristischer Wellenlängen (364 nm, 374 nm, 384 nm und 394 nm) des erregten S_2-Moleküls, und die Kurve **612** umfasst eine charakteristische Wellenlänge (525 nm) des erregten HPO-Moleküls.

[0035] Die optische Antwort des in **Fig.** 6 gezeigten selektiven optischen Filters umfasst eine durchlässige Region **650**, die einen ungefähren Wellenlängenbereich von 355 bis 375 Nanometern einschließt, und die durchlässige Region **660**, die einen ungefähren Wellenlängenbereich von 520 bis 540 Nanometern einschließt. Die durchlässige Region **650** ist selektiv definiert, um die Kohlenwasserstoffspitze auszulassen, die an dem Punkt **624** angeordnet ist, und die durchlässige Region **660** ist selektiv definiert, um die Kohlenwasserstoffspitze auszulassen, die an dem Punkt **632** angeordnet ist. Die durchlässige Region **650** umfasst jedoch nach wie vor ausreichend Wellenlängenbereich, um die 364-nm- und die 374-nm-S_2-Molekülspitzen und die 525nm-HPO-Molekülspitze zu erfassen.

[0036] **Fig.** 7 ist ein Flussdiagramm **700**, das ein Verfahren zum selektiven Erfassen optischer Signale darstellt. Bei Block **702** erzeugt der Flammenphotometerdetektor **100** Photonen von einer Probe bei einer Mehrzahl unterschiedlicher Wellenlängen. Bei Block **704** werden die Mehrzahl von Wellenlängen durch ein einzelnes selektives optisches Filter **150** durchgelassen. Bei Block **706** erfasst der Photoelektronenvervielfacher **138** ein Element, das jeder der Mehrzahl von Wellenlängen zugeordnet ist.

Patentansprüche

1. Flammenphotometerdetektor (**100**), der folgende Merkmale umfasst:
eine Brenneranordnung (**116**), die konfiguriert ist, um eine nicht-gepulste Flamme zu erzeugen, um eine Probe eines Ausflussmediums zu verbrennen, wobei die verbrannte Probe ein erregtes Molekül emittiert;
ein einzelnes, austauschbares selektives optisches Breitbandpass-Filter (**150**), das konfiguriert ist, um eine Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen durchzulassen, die dem ersten Molekül entsprechen, wobei die ausgewählten optischen Wellenlängen sich kollektiv von 335 bis 405 Nanometer (nm) erstrecken; und
eine Photomultipliziererröhre (**138**), die konfiguriert ist, um die Konzentration des erregten Moleküls zu quantifizieren.

2. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß Anspruch 1, bei dem das erregte Molekül ein Schwefel-S_2-Molekül ist.

3. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß Anspruch 2, bei dem das selektive optische Filter ferner konfiguriert ist, um eine zweite Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen durchzulassen, die einem zweiten erregten Molekül entsprechen, wobei die zweite Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen sich kollektiv von 520 bis 580 nm erstreckt.

4. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß Anspruch 3, bei dem das zweite erregte Molekül ein phosphorisches HPO-Molekül ist.

5. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die erste Anzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen eine erste Durchlasswellenlängenregion von etwa 335 bis 380 nm, eine erste durchlässige Wellenlängenregion von etwa 335 bis 380 nm, eine erste nicht-durchlässige Wellenlängenregion von etwa 385 bis 400 nm und eine zweite durchlässige Wellenlängenregion von etwa 405 bis 425 nm umfasst.

6. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß Anspruch 1, bei dem die erste Anzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen eine durchlässige Wellenlängenregion von etwa 335 bis 375 nm umfasst.

7. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß Anspruch 6, bei dem das selektive optische Filter ferner konfiguriert ist, um eine zweite Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen durchzulassen, die einem anderen angeregten Molekül entsprechend, wobei die zweite Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen sich kollektiv von 520 bis 540 nm erstreckt.

8. Flammenphotometerdetektor (**100**), der folgende Merkmale umfasst:
eine Brenneranordnung (**116**), die konfiguriert ist, um eine nicht-gepulste Flamme zu erzeugen, um eine Probe eines Ausflussmediums zu verbrennen, wobei die Probe ein erregtes Molekül emittiert;
ein einzelnes, austauschbares selektives Breitbandpass-Filter (**150**), das konfiguriert ist, um eine erste Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen durchzulassen, die dem erregten Molekül entsprechend, wobei die ausgewählten optischen Wellenlängen sich kollektiv von 525 bis 580 Nanometer (nm) erstrecken; und
eine Photomultipliziererröhre, die konfiguriert ist, um die Konzentration des erregten Moleküls zu quantifizieren.

9. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß Anspruch 8, bei dem das erregte Molekül ein phosphorisches HPO-Molekül ist.

10. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß Anspruch 8, bei dem die erste Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen eine erste durchlässige Wellenlängenregion von 525 bis 580 nm umfasst.

11. Flammenphotometerdetektor (**100**) gemäß Anspruch 8, bei dem die erste Mehrzahl von ausgewählten optischen Wellenlängen eine erste durchlässige Wellenlängenregion von 520 bis 540 nm umfasst.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen