



(11)

EP 2 506 287 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.10.2012 Patentblatt 2012/40

(51) Int Cl.:
H01J 49/02 (2006.01)
H01J 49/00 (2006.01)
H01J 49/34 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 12001634.0

(22) Anmeldetag: 09.03.2012

(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

(30) Priorität: 30.03.2011 DE 102011015595

(71) Anmelder: KROHNE Messtechnik GmbH
47058 Duisburg (DE)

(72) Erfinder:
• Deilmann, Michael, Dr.
45257 Essen (DE)
• Gerding, Michael, Dr.
44805 Bochum (DE)

(74) Vertreter: Gesthuysen, von Rohr & Eggert
Patentanwälte
Postfach 10 13 54
45013 Essen (DE)

(54) Ansteuervorrichtung für einen synchronous ion shield Massenseparator

(57) Beschrieben und dargestellt ist eine Ansteuervorrichtung für einen synchronous ion shield Massenseparator mit einem Referenzoszillator (1), einem Direct Digital Synthesizer (2), einem Tiefpass (3) und einem Komparator (4), wobei der synchronous ion shield Massenseparator eine kammförmige Separationselektrode (6) aufweist, wobei der Referenzoszillator (1) dem Direct Digital Synthesizer (2) eine Referenzfrequenz zur Verfügung stellt, das von dem Direct Digital Synthesizer (2)

erzeugte Ausgangssignal von dem Tiefpass (3) gefiltert wird und das Ausgangssignal des Tiefpasses (3) von dem Komparator (4) verarbeitet wird.

Eine Ansteuervorrichtung, die flexibel einsetzbar und kostengünstig ist, wird erfindungsgemäß dadurch realisiert, dass das Ausgangssignal des Komparators (4) von einem programmierbaren Element (11) in eine der Anzahl der Zinken (7) der kammförmigen Separationselektrode (6) entsprechende Anzahl von Ausgangssignalen umgewandelt wird.

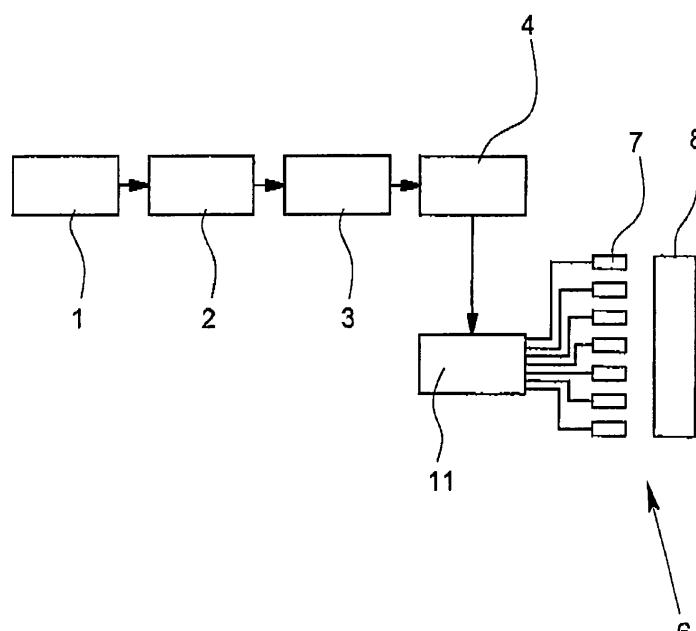


Fig. 3

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Ansteuervorrichtung für einen synchronous ion shield Massenseparator mit einem Referenzaszillator, einem Direct Digital Synthesizer, einem Tiefpass und einem Komparator, wobei der synchronous ion shield Massenseparator eine kammförmige Separationselektrode aufweist, der Referenzoszillator dem Direct Digital Synthesizer eine Referenzfrequenz zur Verfügung stellt, das von dem Direct Digital Synthesizer erzeugte Ausgangssignal von dem Tiefpass gefiltert wird und das Ausgangssignal des Tiefpasses von dem Komparator verarbeitet wird. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators, wobei der synchronous ion shield Massenseparator eine kammförmige Separationselektrode aufweist.

[0002] Gattungsgemäße Massenseparatoren dienen bei Massenspektrometern dazu, geladene Teilchen - Ionen - nach ihrer Masse bzw. nach ihrem Masse/Ladung-Verhältnis zu trennen, sie werden deshalb auch als Analysatoren bezeichnet. Der Massenseparator macht einen wesentlichen Teil des gesamten Raumfordermisses des Massenspektrometers aus. Im Rahmen der Miniaturisierung von Massenspektrometern ist es deshalb von besonderer Bedeutung, einen besonders kleinen aber weiterhin hoch leistungsfähigen Massenseparator zu entwickeln, der unterschiedliche Ionen weiterhin mit äußerster Präzision trennt. Ein derartiger Massenseparator wird beispielsweise beschrieben in dem Aufsatz "Mass spectra measured by a fully integrated MEMS mass spectrometer" von J.-P. Hauschild et al., International Journal of Mass Spectrometry, Elsevier, März 2007, und wird dort als synchronous ion shield Massenseparator bezeichnet.

[0003] Ein synchronous ion shield Massenseparator besteht im Wesentlichen aus einer kammförmigen Separationselektrode. Diese kammförmige Separationselektrode weist eine Mehrzahl an Zinken auf, die nebeneinander in einem geringen Abstand von dem Kammrücken angeordnet sind, so dass zwischen den Zinken der Separationselektrode und dem Kammrücken ein kleiner Spalt verbleibt. Häufig weist auch der Kammrücken geringe Vorstülpungen auf, die den Zinken jeweils gegenüber liegen. Die zu analysierenden Ionen werden von einem elektrischen Feld - in Abhängigkeit von ihrer Ladung - mit Kraft beaufschlagt und - in Abhängigkeit von ihrer Masse - beschleunigt. Nach Durchlaufen des elektrischen Feldes weisen die Ionen eine identische Bewegungsrichtung auf. Die elektrische Feldstärke einerseits und die Masse und die Ladung der Ionen andererseits bestimmen die Geschwindigkeit der Ionen nach Durchlaufen der Potentialdifferenz.

[0004] Von einem Ende des Spaltes, dem Eingang des Massenseparators, werden die beschleunigten Ionen parallel zum Kammrücken in den Massenseparator eingebbracht. Damit die Ionen sich entlang des Spaltes problemlos fortbewegen können, ist der Massenseparator

üblicherweise weitestgehend evakuiert. Bei einem Miniatur-Massenseparator sind die Ansprüche an die Evakuierung nicht so streng wie bei einem nicht miniaturisierten Massenseparator, da die Ionen in einem miniaturisierten Massenseparator deutlich geringe Wegstrecken zurück legen müssen und daher die Wahrscheinlichkeit für Stöße mit Restgasatomen oder -molekülen verringert ist.

[0005] Durch Anlegen einer Spannung zwischen einem Zinken und dem Kammrücken der kammförmigen Separationselektrode wird ein elektrisches Feld hervorgerufen, das sich durch den Spalt bewegende Ionen von ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung ablenkt, so dass sie mit der kammförmigen Separationselektrode kollidieren und nicht am anderen Ende des Spaltes, dem Ausgang des Massenseparators, ankommen. Je nach Ladung der Ionen und Richtung des elektrischen Feldes kollidieren abgelenkte Ionen entweder mit den Zinken oder dem Kammrücken der Separationselektrode. Diese abgelenkten Ionen stehen, falls der Massenseparator beispielsweise in einem Massenspektrometer eingesetzt wird, einer weiteren Analyse nicht mehr zur Verfügung.

[0006] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, zwischen jedem zweiten Zinken und dem Kammrücken eine Spannung anzulegen und an den dazwischen liegenden Zinken und dem Kammrücken keine Spannung anzulegen. Dadurch ergibt sich entlang der Zinken ein einfaches Muster, im Folgenden als Signalfolge bezeichnet, von abwechselnd anliegender Spannung und nicht anliegender Spannung. Eine vereinfachte Darstellung derartiger Signalfolgen erfolgt hier mit Nullen und Einsen, wobei eine Eins für das Vorhandensein einer elektrischen Potentialdifferenz und eine Null für das Nichtvorhandensein einer elektrischen Potentialdifferenz steht. Die zuvor beschriebene Signalfolge von abwechselnd anliegender Spannung und nicht anliegender Spannung entspricht folglich einer Signalfolge sich abwechselnder Nullen und Einsen. Bei einer kammförmigen Separationselektrode mit 10 Zinken ergibt sich beispielsweise bei strikt alternierend vorhandener und nicht vorhandener Potentialdifferenz:

0101010101.

[0007] Um eine Separation der Ionen nach ihrer Masse zu erhalten, wird gemäß dem Stand der Technik mit einer bestimmten Taktfrequenz die Signalfolge jeweils um einen Zinken in Richtung des Ausgangs der Separationselektrode verschoben. D. h. im nächsten Taktschritt ergibt sich für die zuvor beschriebene kammförmige Separationselektrode mit 10 Zinken folgende Signalfolge:

1010101010.

[0008] Ausschließlich Ionen mit einer bestimmten durch die Taktfrequenz und die Geometrie der Separationselektrode festgelegten Geschwindigkeit folgen den wandernden Nullen der Signalfolge, d. h. den feldfreien

Bereichen in der Separationselektrode, und erreichen den Ausgang des Massenseparators. Ionen mit einer zu geringen oder zu hohen Geschwindigkeit gelangen während der Fortbewegung im Spalt der Separationselektrode in Bereiche, in denen sie von einem zwischen einem Zinken und dem Kammrücken herrschende elektrischen Feld abgelenkt werden. Im Ergebnis werden nur Ionen mit einem bestimmten Masse-zu-Ladung-Verhältnis von dem Massenseparator durchgelassen, also von Ionen mit einem anderen Masse-zu-Ladung-Verhältnis separiert. Durch eine Veränderung der Taktfrequenz können andere Ionengeschwindigkeiten und folglich andere Masse-zu-Ladung-Verhältnisse von dem Massenseparator selektiert werden. Obwohl der Massenseparator nicht nach Masse, sondern nach Masse-zu-Ladung-Verhältnis selektiert, wird üblicherweise von einem Massenseparator gesprochen.

[0009] Angesteuert wird ein aus dem Stand der Technik bekannter Massenseparator in der Regel dadurch, dass das Ausgangssignal des Komparators eines eingangs beschriebenen Massenseparators in zwei Signale aufgeteilt und eines dieser Signale invertiert wird. Dadurch werden zwei mit der gleichen Taktfrequenz umschaltende komplementäre Signale erhalten. Diese beiden Signale werden wiederum zur Ansteuerung der Zinken der Separationselektrode verwendet, wobei eines der Signale den ersten und jeden zweiten weiteren Zinken - also die ungeradzahligen Zinken - der Separationselektrode steuert und das andere der beiden Signale den zweiten und jeden zweiten weiteren Zinken - also die geradzahligen Zinken - der Separationselektrode steuert.

[0010] Aus dem Aufsatz "The novel synchronous ion shield mass analyzer" von J. -P. Hauschild et al., Journal of Mass Spectrometry, 2009, 44, ist ferner ein Verfahren bekannt, bei dem die Auflösung eines synchronous ion shield Massenseparators dadurch erhöht wird, dass die Einschaltzeiten der Spannungen an den Zinken der Separationselektrode in Relation zu den Ausschaltzeiten verlängert werden. Eine Ansteuerschaltung zur Realisierung dieses Verfahrens wird in "Optimierung der Ansteuerung des SIS-Massenseparators im planar integrierten Mikro-Massenspektrometer" von G. Quiring et al., Mikrosystemtechnik Kongress, 2009, VDE Verlag GmbH, beschrieben. Diese Ansteuerschaltung umfasst im Wesentlichen vier parallele Signalwege, die jeweils einen Direct Digital Synthesizer, einen Tiefpass und einen Komparator aufweisen. Aufgrund der mehrfachen Ausführung der Signalwege ist diese Ansteuerschaltung technisch aufwendig und kostspielig. Darüber hinaus sind die möglichen Signalfolgen sehr begrenzt.

[0011] Damit ist es die Aufgabe der Erfindung, eine Ansteuervorrichtung und ein Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators anzugeben, die flexibel einsetzbar und kostengünstig sind.

[0012] Die zuvor hergeleitete und aufgezeigte Aufgabe ist ausgehend von der eingangs beschriebenen Ansteuervorrichtung dadurch gelöst, dass das Ausgangs-

signal des Komparators von einem programmierbaren Element in eine der Anzahl der Zinken der kammförmigen Separationselektrode entsprechende Anzahl von Ausgangssignalen umgewandelt wird. Die Verwendung eines programmierbaren Elements ermöglicht bei entsprechender Programmierung und Ansteuerung des programmierbaren Elements die Ausgabe von Ausgangssignalen, die prinzipiell beliebigen Signalfolgen entsprechen. Daher lassen sich mit der erfindungsgemäßen Ansteuervorrichtung nicht nur die aus dem Stand der Technik bekannten Signalfolgen erzeugen, sondern, insbesondere unabhängig von der Hardware, anwendungsspezifische Signalfolgen verwenden. Um mit der gleichen Hardware eine andere Signalfolge zu erzeugen, reicht es bereits aus, die Programmierung des programmierbaren Elements zu verändern. Darüber hinaus ist die erfindungsgemäße Ansteuervorrichtung deutlich einfacher aufgebaut als die Ansteuervorrichtungen aus dem Stand der Technik, so dass sich hierdurch ein erheblicher Kostenvorteil ergibt. Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das programmierbare Element ein programmierbares Logikelement in Form eines FPGA ist. Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das programmierbare Logikelement ein CPLD ist. Hierbei bezeichnet FPGA ein sogenanntes Field Programmable Gate Array, welches einen programmierbaren integrierten Schaltkreis darstellt. Ebenfalls ein programmierbarer integrierter Schaltkreis ist das Complex Programmable Logic Device, abgekürzt CPLD. FPGAs und CPLDs sind weit verbreitete und somit günstige Mikrochips zur Realisierung spezifischer Programmierungen. Je nach Anforderung an die Signalfolgen erfolgt der Einsatz eines FPGA oder eines CPLD nach Abwägung der spezifischen Vor- und Nachteil der in Frage kommenden FPGA und CPLDs.

[0013] Alternativ kann als programmierbares Element auch ein Mikrocontroller zum Einsatz kommen, wobei hier zu prüfen ist, ob die Anforderung an die zeitlich genau zu schaltende Signalfolge von Mikrocontroller und dort implementiertem Betriebssystem erfüllt werden können. Vorzugsweise kann für den vorliegenden Anwendungsfall ein digitaler Signalprozessor mit einem Betriebssystem mit Echtzeiteigenschaften zum Einsatz kommen.

[0014] Die zuvor hergeleitete und aufgezeigte Aufgabe ist ausgehend von dem eingangs beschriebenen Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators ferner auch dadurch gelöst, dass die Ausgangssignalen einer Ansteuervorrichtung zur Ansteuerung der Zinken der kammförmigen Separationselektrode gemäß den vorstehenden Ausführungen verwendet werden. Mit der bereits beschriebenen Ansteuervorrichtung lässt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine besonders flexible Möglichkeit zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators realisieren, da die mit der Ansteuervorrichtung erzeugbaren Signalfolgen prinzipiell beliebig sind und dies bei einem besonders einfachen und kostengünstigen

Aufbau der Ansteuervorrichtung. Nicht jede Signalfolge eignet sich zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators. Beispielsweise führt eine Signalfolge, die ausschließlich aus Einsen besteht, dazu dass keine Ionen den Massenseparator passieren können. Eine Auswahl an besonders vorteilhaften Signalfolgen wird im Folgenden beschrieben.

[0015] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ausgangssignale der Ansteuervorrichtung eine Signalfolge aufweisen, bei der die Signalfolge abwechselnd aus n Nullen und m Einsen besteht, wobei alle k Takte des programmierbaren Elements die Signalfolge um j Schritte weiterwandert, wobei n, m, k und j natürliche Zahlen größer Null sind und wobei n größer oder gleich dem Quotienten $(j \bmod (n+m))/k$ ist. Von entscheidender Bedeutung für eine derartige Signalfolge ist die letztgenannte Bedingung, dass n größer oder gleich dem Quotienten $(j \bmod (n+m))/k$ ist. Hierbei bezeichnet $j \bmod (n+m)$ den Rest bei der Division von j durch $n+m$. Erst diese Bedingung gewährleistet, dass überhaupt Ionen den Massenseparator passieren können. Dies wird an einem einfachen Beispiel besonders deutlich.

[0016] Ist beispielsweise n gleich 1, m gleich 2, k gleich 1 und j gleich 2, bedeutet dies, dass der feldfreie Bereich, der durch die Nullen repräsentiert wird und in dem keine Ablenkung der Ionen erfolgt, genau einen Zinken breit ist. Wandert dieser Zinken bei jedem Takt genau zwei Zinken weiter, bedeutet dies, dass kein Ion die Möglichkeit hat aus einem feldfreien Bereich eines Taktes in den nächsten feldfreien Bereich des nächsten Taktes zu gelangen, da zwischen einem feldfreien Bereich in einem Takt und einem feldfreien Bereich im nächsten Takt stets ein Bereich liegt, der dauerhaft ein elektrisches Fels aufweist. Bei einer kammförmigen Separationselektrode mit 10 Zinken sieht dies beispielsweise wie folgt aus (fett dargestellt ist die stets feldbehaftete Position):

1. Takt: 0110110110
2. Takt: 1101101101

[0017] Bei diesem Beispiel und allen folgenden Beispielen wird davon ausgegangen, dass die Ionen von links in den Massenseparator eingebracht werden, d.h. im ersten Takt zunächst auf einen feldfreien Zinken, dieser entspricht der ersten Ziffer 0 in der oben aufgeführten Signalfolge des ersten Taktes, treffen. Im zweiten Takt haben diese Ionen nicht die Möglichkeit zum nächsten feldfreien Zinken zu gelangen, da das dauerhafte elektrische Feld am zweiten Zinken den Weg zum nächsten feldfreien Zinken, welcher durch die dritte Ziffer - 0 - der Signalfolge des zweiten Taktes repräsentiert wird, versperrt.

[0018] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Zahl n gleich 2, die Zahl m gleich 2, die Zahl k gleich 1 ist und die Zahl j gleich 2 ist. Die ersten beiden Takte dieser Signalfolge wiederholen sich bei weiteren Takten und ergeben sich bei einer

kammförmigen Separationselektrode mit 10 Zinken beispielsweise zu:

1. Takt: 0011001100
2. Takt: 1100110011

[0019] Gemäß einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Zahl n gleich 2, die Zahl m gleich 2, die Zahl k gleich 1 ist und die Zahl j gleich 1 ist. Die ersten vier Takte dieser Signalfolge wiederholen sich bei weiteren Takten und ergeben sich bei einer kammförmigen Separationselektrode mit 10 Zinken beispielsweise zu:

1. Takt: 0011001100
2. Takt: 1001100110
3. Takt: 1100110011
4. Takt: 0110011001

[0020] Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Zahl n gleich 1, die Zahl m gleich 1, die Zahl k gleich 1 ist und die Zahl j gleich 1 ist. Diese Erfindungsgemäße Ausgestaltung entspricht genau der aus dem Stand der Technik bekannten

[0021] Signalfolge bestehend aus abwechselnden Einsen und Nullen, die bei jedem Takt um einen Schritt weiterwandert. Die ersten beiden Takte dieser Signalfolge wiederholen sich bei weiteren Takten und ergeben sich bei einer kammförmigen Separationselektrode mit 10 Zinken beispielsweise zu:

1. Takt: 0101010101
2. Takt: 1010101010

[0022] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Zahl m größer als die Zahl n ist. Hierbei ist es besonders vorteilhaft, wenn die Zahl n gleich 3 und die Zahl m gleich 5 ist.

[0023] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ferner vorgesehen, dass die Ausgangssignale der Ansteuervorrichtung eine Signalfolge aufweisen, bei der die Signalfolge aus e Nullen gefolgt von Einsen besteht, wobei alle g Takte des programmierbaren Elements die Signalfolge um h Schritte weiterwandert, wobei e, g und h natürliche Zahlen größer Null sind und wobei e größer oder gleich dem Quotienten h/g ist. Von Bedeutung für eine derartige Signalfolge ist die letztgenannte Bedingung, dass e größer oder gleich dem Quotienten h/g ist. Auch hier gewährleistet die Bedingung, dass überhaupt Ionen den Massenseparator passieren können. Die Signalfolge besteht nämlich lediglich aus einem einzigen Block von e Nullen und sonst nur aus Einsen. D. h. mit dieser Signalfolge wird lediglich ein einzelnes "Paket" Ionen, nämlich in dem Block aus e Nullen, der einen feldfreien Bereich von e Zinken repräsentiert, von dem Massenseparator aufgenommen und nur die Ionen dieses Pakets mit einer bestimmten Geschwindigkeit und folglich einem bestimmten Masse-zu-Ladung-Verhältnis

können den Massenseparator passieren.

[0023] Ist die Bedingung, dass e größer oder gleich dem Quotienten h/g ist, nicht erfüllt, bedeutet dies, dass kein Ion die Möglichkeit hat, aus dem feldfreien Block eines ersten Taktes in den nächsten feldfreien Block des folgenden Taktes zu gelangen, da zwischen einem feldfreien Block in einem Takt und einem feldfreien Block im nächsten Takt stets ein Bereich liegt, der dauerhaft ein elektrisches Feld aufweist.

[0024] Bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Zahl e gleich 1, die Zahl g gleich 1 ist und die Zahl h gleich 1 ist. Dies entspricht einer Signalfolge, bei der eine einzige Null entlang der Zinken der Separationselektrode wandert. Bei einer kammförmigen Separationselektrode mit 5 Zinken ergeben sich folgende Signalfolgen:

1. Takt: 01111
2. Takt: 10111
3. Takt: 11011
4. Takt: 11101
5. Takt: 11110
6. Takt und alle weiteren Takte: 11111

[0025] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Signalfolge durch ein Schieberegister realisiert wird. Das Schieberegister ist in dem programmierbaren Element realisiert. Die in den Speicherelementen des Schieberegisters gespeicherte Folge von Nullen und Einsen wandert bei jedem Takt um eine vorgegebene Anzahl an Schritten weiter. Werte am Ende des Schieberegisters werden hierbei wieder an den Anfang des Schieberegisters zurückgeführt. Die Werte der Speicherelemente des Schieberegisters bilden zugleich die Ausgangssignale des programmierbaren Elements.

[0026] Bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Signalfolge bei jedem Takt des Elements, zu dem eine Änderung der Ausgangssignale vorgesehen ist, aus einem Speicher ausgelesen wird. Anstelle eines Schieberegisters bietet es sich an, in dem programmierbaren Element einen Speicher vorzusehen, in dem die bei jedem Takt anzuwendende Signalfolge gespeichert ist. Diese Signalfolge wird bei jedem Takt aus dem Speicher ausgelesen und an den Ausgängen des programmierbaren Elements ausgegeben.

[0027] Im Einzelnen gibt es nun eine Vielzahl von Möglichkeiten, die erfindungsgemäße Ansteuervorrichtung auszustalten und weiterzubilden. Dazu wird auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche sowie auf die nachfolgende detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung verwiesen. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 schematisch eine aus dem Stand der Technik bekannte Ansteuervorrichtung,

Fig. 2 schematisch die Funktionsweise eines aus dem Stand der Technik bekannten synchronen ion shield Massenseparators,

5 Fig. 3 schematisch die erfindungsgemäße Ansteuervorrichtung,

10 Fig. 4 schematisch die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens bei Verwendung eines Schieberegisters und

15 Fig. 5 schematisch die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens bei Verwendung eines Speichers.

[0028] Die in der Fig. 1 dargestellte aus dem Stand der Technik bekannte Ansteuervorrichtung weist zur Erzeugung eines Referenzfrequenzsignals einen Referenzoszillator 1 auf. Das Referenzfrequenzsignal des Referenzoszillators 1 wird von einem Direct Digital Synthesizer 2 in eine vorgegebene Frequenz umgewandelt. Nach Tiefpassfilterung des Frequenzsignals des Direct Digital Synthesizers 2 durch einen Tiefpass 3 wird das nun von unerwünschten Frequenzanteilen befreite Frequenzsignal von einem Komparator 4 verarbeitet. Der Komparator 4 gibt zwei identische Ausgangssignale aus, von denen eines durch einen Inverter 5 invertiert wird. Das invertierte und das nicht invertierte Signal dienen der Ansteuerung einer kammförmigen Separationselektrode 6.

20 Die Separationselektrode 6 weist eine Mehrzahl an Zinken 7 und einen Kammrücken 8 auf. Das nicht invertierte Signal dient der Ansteuerung des ersten und jedes zweiten weiteren Zinkens 7 der Separationselektrode 6. Das invertierte Signal dient der Ansteuerung des zweiten und jedes zweiten weiteren Zinkens 7 der Separationselektrode 6.

[0029] Aus Fig. 2 ist die genauere Funktionsweise der in Fig. 1 gezeigten Separationselektrode 6 ersichtlich. Der Kammrücken 8 der Separationselektrode 6 ist über

40 eine Spannungsquelle 9 und mehrere Schalter 10 mit den Zinken 7 der Separationselektrode 6 verbunden. Hierbei ist jedem Zinken 7 ein Schalter 10 zugeordnet. Falls alle Schalter 10 geöffnet sind, können sich parallel zum Kammrücken 6 bewegende Ionen ungehindert zwischen dem Kammrücken 6 und den Zinken 7 fortbewegen. Wird einer der Schalter 10 geschlossen, so liegt zwischen dem entsprechenden Zinken 7 und dem Kammrücken 6 eine durch die Spannungsquelle 9 vorgegebene Spannung an. Das aus dieser Spannung resultierende elektrische Feld zwischen dem entsprechenden Zinken 7 und dem Kammrücken 6 ist in der Lage, sich parallel zum Kammrücken 6 zwischen dem Kammrücken 6 und den Zinken 7 fortbewegende Ionen abzuhalten. In der Regel kollidieren diese Ionen mit den Strukturen der Separationselektrode 6 und stehen einer weiteren Analyse nicht zur Verfügung.

[0030] Die den Zinken 7 der Separationselektrode 6 zugeordneten Schalter 10 werden, wie aus Fig. 1 ersicht-

lich ist, durch das invertierte und das nicht invertierte Signal des Komparators 4 gesteuert. Hieraus ergibt sich, dass an jedem zweiten Zinken 7 eine Spannung anliegt, und an den restlichen Zinken 7 keine Spannung anliegt. Diese Signalfolge aus abwechselnd angelegter Spannung und nicht angelegter Spannung an den Zinken wird mit der durch den Direct Digital Synthesizer 2 vorgegebenen Frequenz invertiert. Dies ist gleichbedeutend damit, dass die an den Zinken 7 anliegende Signalfolge mit jedem Takt der Frequenz des Direct Digital Synthesizers 2 einen Schritt weiter Richtung Ausgang der Separationselektrode 6 wandert.

[0031] In der Fig. 2 ist der Ausgang, wie den eingezeichneten Pfeilen zu entnehmen ist, die mögliche Wege der zu analysierenden Ionen exemplarisch beschreiben, am oberen Ende der Separationselektrode angeordnet. Ionen, die die gleiche Geschwindigkeit haben, wie die an den Zinken 7 entlang wandernde Signalfolge, können, wenn beim Eintreten in die Separationselektrode 6 an dem ersten Zinken keine Spannung angelegt ist, d. h. sie in der Signalfolge zunächst auf eine Null treffen, diesem durch die Null repräsentierten feldfreien Bereich durch die Separationselektrode 6 folgen und gelangen so zum Ausgang der Separationselektrode 6. Ionen mit einer geringeren oder höheren Geschwindigkeit als die der Signalfolge treffen innerhalb der Separationselektrode 6 auf einen Bereich, in dem sie durch ein Feld abgelenkt werden, welches durch eine an dem Zinken 7 in diesem Bereich angelegte Spannung hervorgerufen wird, und gelangen nicht zum Ausgang der Separationselektrode 6. Eine nicht dargestellte Möglichkeit der Ansteuerung der Zinken 7 besteht darin, dass das vom Komparator 4 stammende invertierte Signal und das nichtinvertierte Signal jeweils nach eventueller Verstärkung als Spannungssignal direkt an die Zinken 7 angelegt werden. Bei dieser nicht dargestellten Ausführung sind die Spannungsquelle 9 und die Schalter 10 nicht erforderlich.

[0032] Aus Fig. 3 wird die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Ansteuervorrichtung ersichtlich. Ebenso wie die aus dem Stand der Technik bekannte Ansteuervorrichtung der Fig. 1 weist auch die erfindungsgemäße Ansteuervorrichtung einen Referenzoszillator 1, einen Direct Digital Synthesizer 2, einen Tiefpass 3 und einen Komparator 4 auf, die in gleicher Weise wie in Fig. 1 verschaltet sind. Der Komparator 4 der erfindungsgemäßen Ansteuervorrichtung gibt jedoch nur ein einziges Ausgangssignal aus, welches einem programmierbaren Element 11 zugeführt wird. Das programmierbare Element 11 weist eine der Anzahl der Zinken 7 der kammförmigen Separationselektrode 6 entsprechende Anzahl von Ausgangssignalen auf. Dies bedeutet, dass jedem Zinken 7 der Separationselektrode 6 ein Ausgangssignal des programmierbaren Elements 11 zugeordnet ist und daher jeder Zinken 7 über das entsprechende Ausgangssignal des programmierbaren Elements 11 einzeln steuerbar ist.

[0033] Die Fig. 4 zeigt ein programmierbares Element

11 bei dem das erfindungsgemäße Verfahren durch ein Schieberegister realisiert ist. Das Schieberegister innerhalb des programmierbaren Elements 11 weist hierbei eine Anzahl an Speicherelementen 12 auf, die der Anzahl der Ausgänge 13 des programmierbaren Elements 11 entspricht. In den Speicherelementen 12 des programmierbaren Elements 11 ist die gewünschte Signalfolge gespeichert. Im vorliegenden Fall eine einfache Folge abwechselnder Nullen und Einsen. Bei jedem Takt des programmierbaren Elements 11, zu dem eine Änderung der Ausgangssignale vorgesehen ist, wird der in jedem Speicherelement 12 des Schieberegisters gespeicherte Wert an das nächste Speicherelement 12 des Schieberegisters weitergegeben. Der in dem letzten Speicherelement 12 des Schieberegisters gespeicherte Wert wird hierbei an das erste Speicherelement 12 des Schieberegisters weitergegeben.

[0034] Die Fig. 5 zeigt ein programmierbares Speicherelement 11, das einen Speicher 14 aufweist. In dem Speicher 14 werden die von dem programmierbaren Element 11 auszugebenden Signalfolgen gespeichert. Bei jedem Takt des programmierbaren Elements, in dem eine Änderung der Ausgangssignale vorgesehen ist, wird eine Signalfolge aus dem Speicher 14 ausgelesen und über die Speicherelemente 12 und die Ausgänge 13 ausgegeben. Auf diese Weise können von dem programmierbaren Element 11 nahezu beliebige Signalfolgen ausgegeben werden. Im vorliegenden Beispiel ist eine einfache Signalfolge abwechselnder Nullen und Einsen dargestellt.

Patentansprüche

1. Ansteuervorrichtung für einen synchronous ion shield Massenseparator mit einem Referenzoszillator (1), einem Direct Digital Synthesizer (2), einem Tiefpass (3) und einem Komparator (4), wobei der synchronous ion shield Massenseparator eine kammförmige Separationselektrode (6) aufweist, der Referenzoszillator (1) dem Direct Digital Synthesizer (2) eine Referenzfrequenz zur Verfügung stellt, das von dem Direct Digital Synthesizer (2) erzeugte Ausgangssignal von dem Tiefpass (3) gefiltert wird und das Ausgangssignal des Tiefpasses (3) von dem Komparator (4) verarbeitet wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Ausgangssignal des Komparators (4) von einem programmierbaren Element (11) in eine der Anzahl der Zinken (7) der kammförmigen Separationselektrode (6) entsprechende Anzahl von Ausgangssignalen umgewandelt wird.
2. Ansteuervorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das programmierbare Element (11) ein programmierbares Logikelement ist, insbesondere in Form eines Field Programmable Gate Array (FPGA) oder in Form eines Complex Pro-

- grammable Logic Device (CPLD) ist, oder dass das programmierbare Element (11) ein Mikrocontroller ist, insbesondere in Form eines digitalen Signalprozessors (DSP). 5
3. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators, wobei der synchronous ion shield Massenseparator eine kammförmige Separationselektrode (6) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgangssignale einer Ansteuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2 zur Ansteuerung der Zinken (7) der kammförmigen Separationselektrode (6) verwendet werden. 10
4. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgangssignale der Ansteuervorrichtung eine Signalfolge aufweisen, bei der die Signalfolge abwechselnd aus n Nullen und m Einsen besteht, wobei alle k Takte des programmierbaren Elements (11) die Signalfolge um j Schritte weiterwandert, wobei n, m, k und j natürliche Zahlen größer Null sind und wobei n größer oder gleich dem Quotienten $(j \bmod (n+m))/k$ ist. 15
5. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahl n gleich 2, die Zahl m gleich 2, die Zahl k gleich 1 ist und die Zahl j gleich 2 ist. 20
6. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahl n gleich 2, die Zahl m gleich 2, die Zahl k gleich 1 ist und die Zahl j gleich 1 ist. 25
7. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahl n gleich 1, die Zahl m gleich 1, die Zahl k gleich 1 ist und die Zahl j gleich 1 ist. 30
8. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahl m größer als die Zahl n ist. 35
9. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahl n gleich 3 und die Zahl m gleich 5 ist. 40
10. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgangssignale der Ansteuervorrichtung eine Signalfolge aufweisen, bei der die Signalfolge aus e Nullen gefolgt von Einsen besteht, wobei alle g Takte des programmierbaren Elements (11) die Signalfolge um h Schritte weiterwandert, wobei e, g und h natürliche Zahlen größer Null sind und wobei e größer oder gleich dem Quotienten h/g ist. 45
11. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahl e gleich 1, die Zahl g gleich 1 ist und die Zahl h gleich 1 ist. 50
12. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Signalfolge durch ein Schieberegister realisiert wird. 55
13. Verfahren zur Ansteuerung eines synchronous ion shield Massenseparators nach einem der Ansprüche 4 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Signalfolge bei jedem Takt des Elements (11), zu dem eine Änderung der Ausgangssignale vorgesehen ist, aus einem Speicher (14) ausgelesen wird. 60

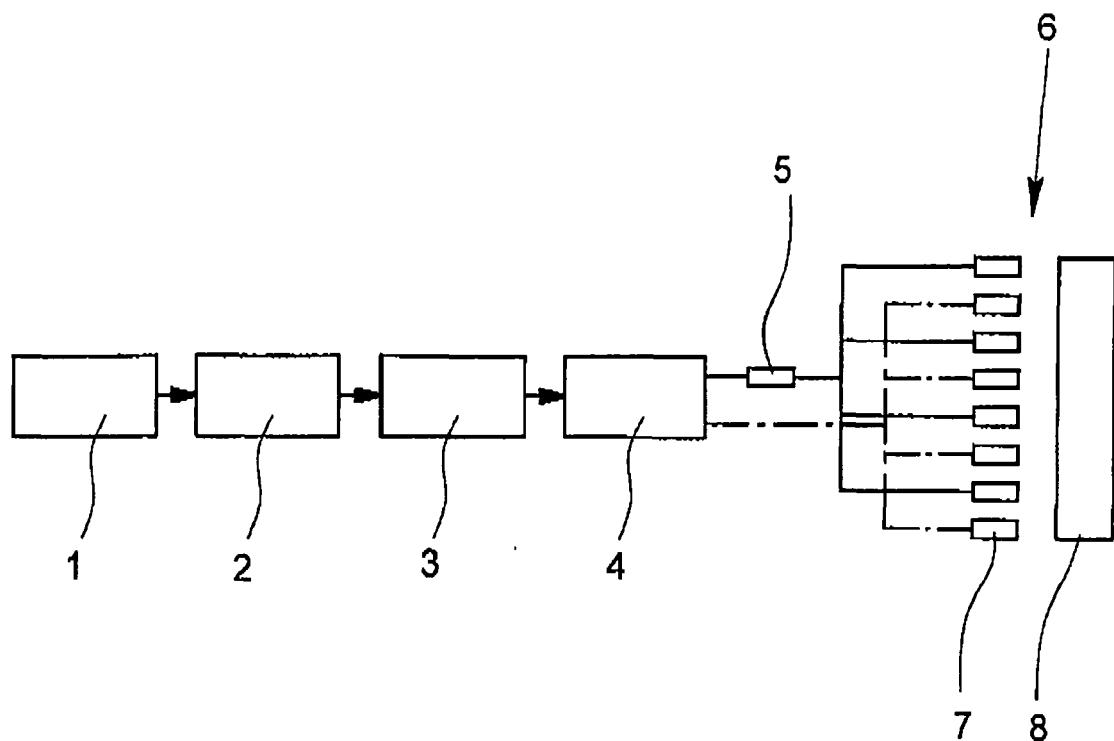


Fig. 1

Stand der Technik

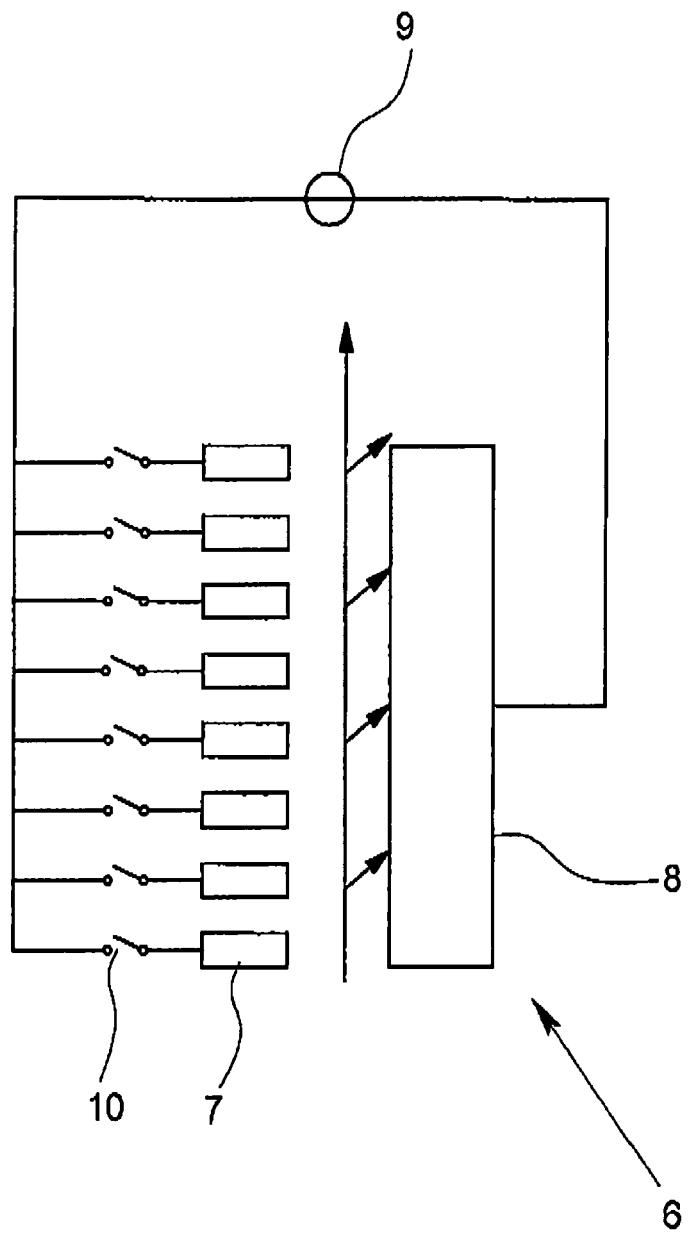


Fig. 2

Stand der Technik

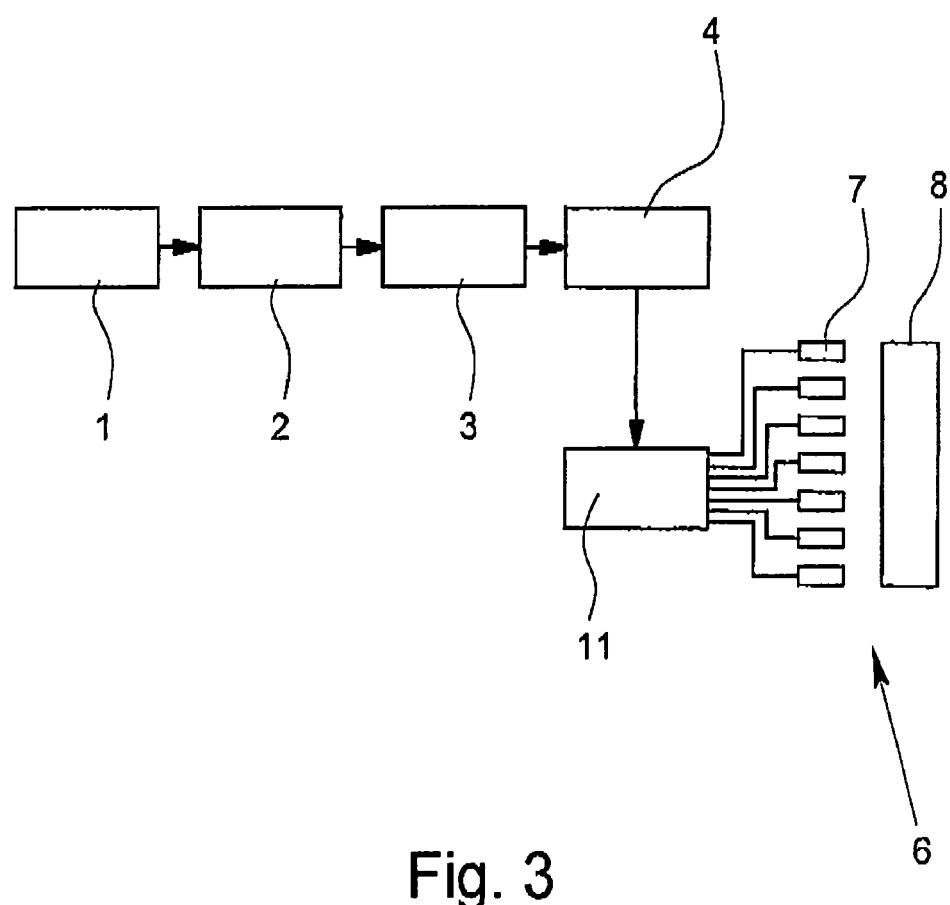


Fig. 3

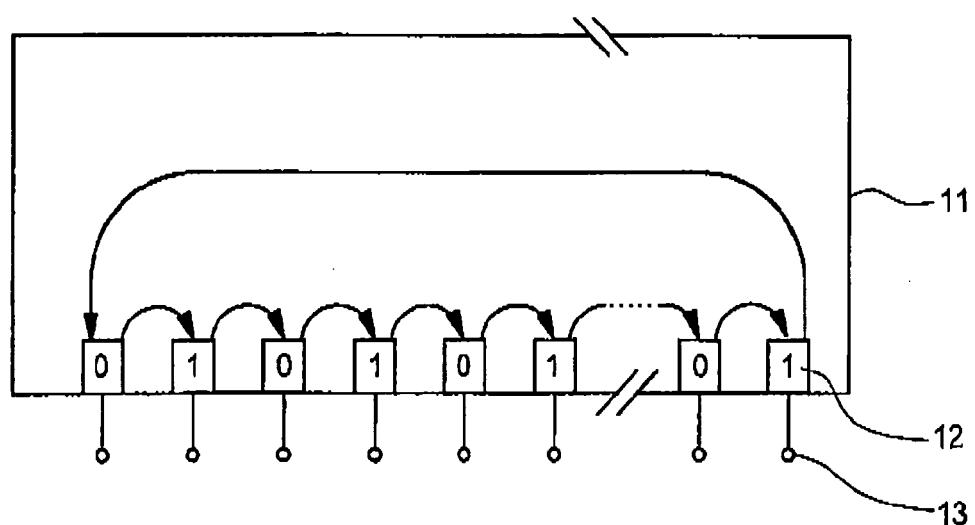


Fig. 4

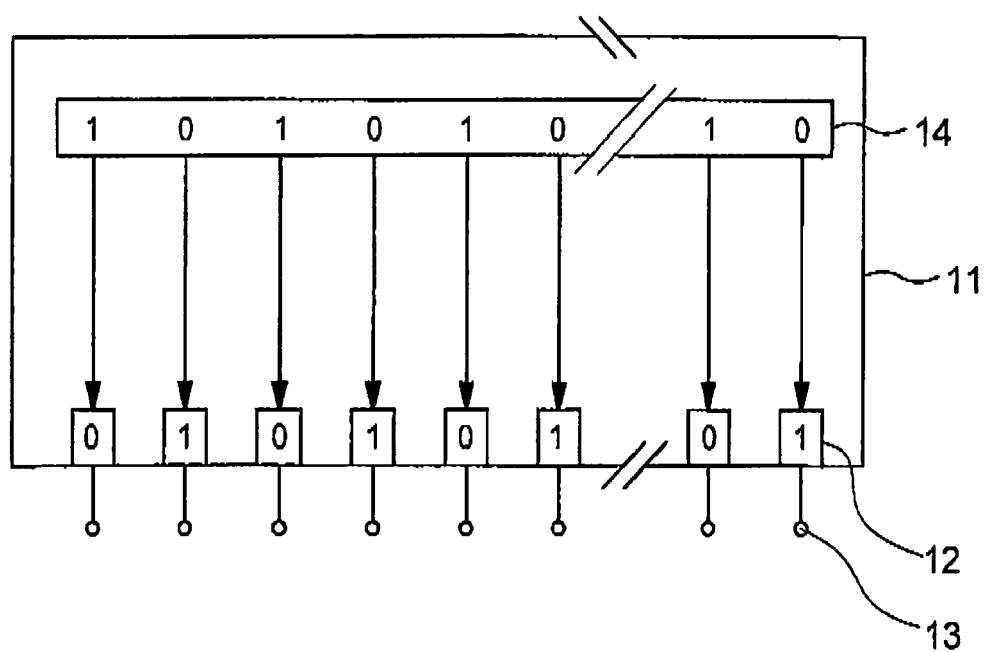


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 12 00 1634

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	
X	Jan-Peter Hauschild: "Planar integriertes Mikromassenspektrometer: Simulation, Ansteuerung und Charakterisierung", , 2010, XP002680788, ISBN: 978-3-86853-332-3 Gefunden im Internet: URL: http://doku.b.tu-harburg.de/volltexte/2010/848/pdf/Diss_Hauschild.pdf [gefunden am 2012-07-25] * Abschnitte 3.3.3.5, 4.1.6, 4.3.3.5Abbildungen 3.10, 3.15,4.44,4.45 *	1-13	INV. H01J49/02 H01J49/34 H01J49/00
T	GB 2 392 548 A (MICROMASS LTD [GB]; MICROMASS LTD [GB]) 3. März 2004 (2004-03-03) * Seite 3, Zeile 12 - Seite 4, Zeile 19; Abbildung 1 *	1-13	
T	WO 2005/024381 A2 (GRIFFIN ANALYTICAL TECHNOLOGIE [US]; PATTERSON GARTH [US]; WELLS JAMES) 17. März 2005 (2005-03-17) * Seite 6, Zeile 19 - Seite 8, Zeile 18; Abbildung 1 *	1-13	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
T	GB 2 392 304 A (MICROMASS LTD [GB]) 25. Februar 2004 (2004-02-25) * Seite 4, Zeilen 9-18; Abbildungen 3-7 *	1-13	H01J
X, P	US 2011/073754 A1 (SITTLER EDWARD C [US]) 31. März 2011 (2011-03-31) * Absätze [0023] - [0027]; Abbildungen 2,3 *	1-13	
A	US 6 037 586 A (BARIL MARCEL [CA]) 14. März 2000 (2000-03-14) * das ganze Dokument *	1-13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
1	Recherchenort Den Haag	Abschlußdatum der Recherche 25. Juli 2012	Prüfer Rutsch, Gerald
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 00 1634

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-07-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
GB 2392548	A	03-03-2004	KEINE		
WO 2005024381	A2	17-03-2005	US 2007162232 A1		12-07-2007
			WO 2005024381 A2		17-03-2005
GB 2392304	A	25-02-2004	CA 2433508 A1		27-12-2003
			DE 10328599 A1		12-02-2004
			DE 20309816 U1		06-11-2003
			GB 2392304 A		25-02-2004
US 2011073754	A1	31-03-2011	KEINE		
US 6037586	A	14-03-2000	KEINE		

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Mass spectra measured by a fully integrated MEMS mass spectrometer. **J.-P. HAUSCHILD et al.** International Journal of Mass Spectrometry. Elsevier, März 2007 **[0002]**
- **J.-P. HAUSCHILD et al.** The novel synchronous ion shield mass analyzer. *Journal of Mass Spectrometry*, 2009, 44 **[0010]**
- Optimierung der Ansteuerung des SIS-Massenseparators im planar integrierten Mikro-Massenspektrometer. **G. QUIRING et al.** Mikrosystemtechnik Kongress. VDE Verlag GmbH, 2009 **[0010]**