



(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2018/203082**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2018 001 812.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB2018/051206**

(86) PCT-Anmeldetag: **04.05.2018**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.11.2018**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **20.02.2020**

(51) Int Cl.: **H01J 49/40 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
1707208.3 **05.05.2017** **GB**

(71) Anmelder:
LECO Corporation, St. Joseph, Mich., US;
Micromass UK Limited, Wilmslow, Cheshire, GB

(74) Vertreter:
Dehns Germany, 80333 München, DE

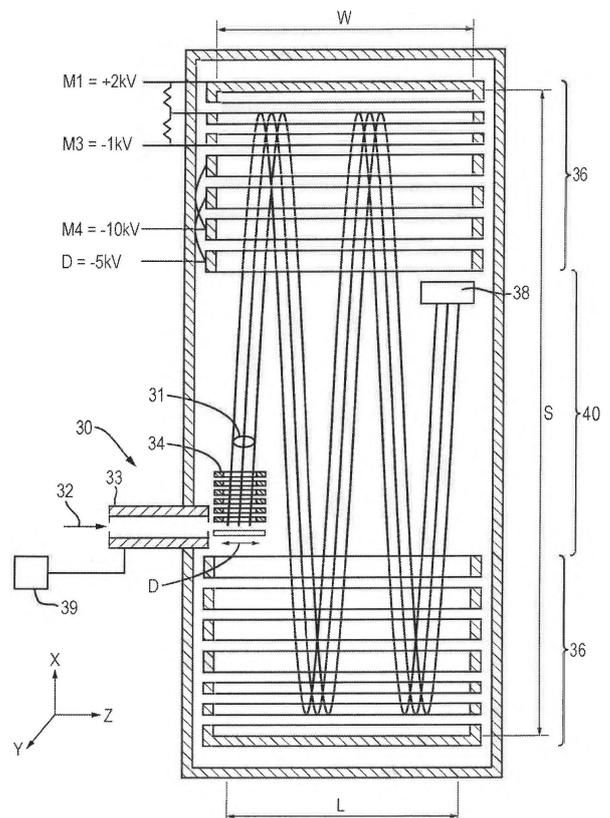
(72) Erfinder:
**Hoyes, John Brian, Stockport, Greater
Manchester, GB; Verenchikov, Anatoly, Bar, ME**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Mehrfach reflektierendes Flugzeit-Massenspektrometer**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein mehrfach reflektierender Flugzeit-Massenanalysator offenbart, bei dem der Ionenflugweg relativ klein gehalten wird und das Tastverhältnis relativ hoch angelegt ist. Das räumliche Fokussieren der Ionen in der Dimension (Z-Dimension), in der die Spiegel 36 länglich sind, kann entfallen, wobei eine angemessene hohe Empfindlichkeit und Auflösung erhalten bleiben.



BeschreibungKREUZVERWEIS AUF
VERWANDTE ANMELDUNG

[0001] Die vorliegende Anmeldung nimmt die Priorität der Patentanmeldung Nr. 1707208.3 des Vereinigten Königreichs, die am 5. Mai 2017 eingereicht wurde, in Anspruch. Der gesamte Inhalt dieser Anmeldung wird hiermit zur Bezugnahme übernommen.

GEBIET DER ERFINDUNG

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen Massenspektrometer und insbesondere mehrfach reflektierende Flugzeit-Massenspektrometer (MR-TOF-MS) und Verfahren zu ihrer Verwendung.

HINTERGRUND

[0003] Ein Flugzeit-Massenspektrometer ist ein weit verbreitetes Hilfsmittel in der analytischen Chemie, das durch eine schnelle Analyse von breiten Massenbereichen gekennzeichnet ist. Es hat sich herausgestellt, dass mehrfach reflektierende Flugzeit-Massenspektrometer (MR-TOF-MS) eine wesentliche Steigerung der Auflösungsleistung durch mehrfaches Reflektieren der Ionen, um den Flugweg der Ionen zu verlängern, bereitstellen. Eine derartige Verlängerung der Ionenflugwege wurde durch das Reflektieren von Ionen zwischen Ionenspiegeln erreicht.

[0004] Die SU 1725289 offenbart ein MR-TOF-MS-Instrument, das einen Ionenspiegel aufweist, der auf beiden Seiten einer feldfreien Region angeordnet ist. Eine Ionenquelle ist in der feldfreien Region angeordnet, die Ionen in einen der Ionenspiegel ausstößt. Die Ionen werden zwischen den Ionenspiegeln hin und her reflektiert, während sie entlang des Instruments driften, bis die Ionen einen Ionendetektor erreichen. Das Masse-/Ladungsverhältnis eines Ions kann dann bestimmt werden, indem die Zeit detektiert wird, die das Ion benötigte, um sich von der Ionenquelle zum Ionendetektor zu bewegen.

[0005] Die WO 2005/001878 offenbart ein ähnliches Instrument, das einen Satz von periodischen Linsen innerhalb der feldfreien Region zwischen den Ionenspiegeln aufweist, um zu verhindern, dass der Ionenstrahl in der Richtung, die zu der Dimension, in der die Ionen durch den Ionenspiegel reflektiert werden, orthogonal ist, erheblich abweicht, wodurch das Tastverhältnis des Spektrometers erhöht wird.

KURZDARSTELLUNG

[0006] Gemäß einem ersten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung einen mehrfach reflektierenden Flugzeit-Massenanalysator bereit, umfassend:

einen Ionenbeschleuniger;

zwei Ionenspiegel, die angeordnet sind, um Ionen in einer ersten Dimension (X-Dimension) zu reflektieren, und die in einer zweiten Dimension (Z-Dimension) länglich sind; und

einen Ionendetektor;

wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionen in einen ersten der Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen;

wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) nicht räumlich fokussiert sind, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen; und

wobei der Massenanalysator ein Tastverhältnis von $\geq 5\%$, eine Auflösung von ≥ 20000 aufweist, wobei der Entfernung in der ersten Dimension (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ≤ 1000 mm beträgt; und wobei der Massenanalysator derart konfiguriert ist, dass sich die Ionen über eine Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor von ≤ 700 mm bewegen.

[0007] Es wird keine Fokussierung der Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) zwischen den Ionenspiegeln bereitgestellt, z. B. gibt es keine periodischen Linsen, welche die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) fokussieren. Somit expandiert jedes Ionenpaket in der zweiten Dimension (Z-Dimension), während es sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegt. MR-TOF-MS-Instrumente waren herkömmlicherweise bemüht, eine sehr hohe Auflösung zu erzielen, und erforderten demnach eine hohe Anzahl von Reflexionen zwischen den Ionenspiegeln. Daher wurde es herkömmlicherweise als notwendig angesehen, eine Fokussierung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) zwischen den Ionenspiegeln bereitzustellen, um zu verhindern, dass die Breite des Ionenpakets so weit abweicht, dass es größer als die Detektorbreite wird, wenn es die hohe Anzahl von Spiegelungen beendet und den Detektor erreicht hat. Dies wurde als notwendig angesehen, um eine annehmbare Durchlässigkeit und damit Empfindlichkeit des Instruments zu bewahren. Falls die Ionenpakete in der zweiten Dimension (Z-Dimension) zu sehr abweichen, kann es auch sein, dass einige Ionen, die nur mit einer ersten Häufigkeit reflektiert wurden, den Detektor erreichen, wohingegen andere Ionen, die öfter reflektiert wurden, den Detektor erreichen können. Daher kann es sein, dass die Ionen sehr unterschiedliche Flugweglängen durch die feldfreie Region hindurch auf dem Weg zum Detektor

tor aufweisen, was bei Flugzeit-Massenanalysatoren unerwünscht ist.

[0008] Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben jedoch festgestellt, dass wenn der Ionenflugweg innerhalb des Instruments relativ klein gehalten wird und das Tastverhältnis (wie hier nachstehend definiert, d. h. D/L) relativ hoch angelegt wird, dann die Fokussierung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) entfallen kann, wobei eine relativ hohe Empfindlichkeit und Auflösung bewahrt werden können. Genaue gesagt expandiert jedes Ionenpaket, das aus dem Ionenbeschleuniger heraus gepulst wird, in der zweiten Dimension (Z-Dimension), wenn es sich in Richtung auf den Detektor bewegt, auf Grund der thermischen Geschwindigkeiten der Ionen. Dies ist besonders problematisch bei mehrfach reflektierenden Flugzeit-Massenspektrometern, weil einerseits der Ionendetektor in der zweiten Dimension (Z-Dimension) relativ kurz sein muss, so dass die Ionen nicht damit zusammenstoßen, bis die gewünschte Anzahl von Ionenspiegelungen ausgeführt wurde, jedoch andererseits lang genug sein muss, um das expandierte Ionenpaket zu empfangen. Je mehr das Ionenpaket in der zweiten Dimension (Z-Dimension) mit Bezug auf seine ursprüngliche Länge in dieser Dimension expandiert, desto problematischer wird diese Situation. Die Erfinder haben erkannt, dass dadurch, dass die anfängliche Größe des Ionenpakets (d. h. D) relativ groß und die Entfernung zwischen dem Ionenbeschleuniger und dem Detektor (d. h. L) relativ klein gehalten wird (d. h. durch das Bereitstellen eines relativ hohen Tastverhältnisses, D/L), die proportionale Expansion des Ionenpakets zwischen dem Ionenbeschleuniger und dem Detektor relativ gering bleibt.

[0009] Der erste Aspekt der Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Flugzeit-Massenanalyse bereit, das folgende Schritte umfasst: Bereitstellen eines Massenanalysators wie zuvor beschrieben; Steuern des Ionenbeschleunigers, um die Ionen in den ersten Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen, wobei die Entfernung in der ersten Dimension (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ≤ 1000 mm ist, wobei sich die Ionen über eine Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor von ≤ 700 mm bewegen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) nicht räumlich fokussiert sind, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen; und wobei die Ionen durch den Detektor detektiert werden und eine Flugzeit-Massenanalyse mit einem Tastverhältnis von ≥ 5 % und einer Auflösung von ≥ 20000 erfahren.

[0010] Nach einem zweiten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung einen mehrfach reflektierenden Flugzeit-Massenanalysator bereit, umfassend:

einen Ionenbeschleuniger;

zwei Ionenspiegel, die angeordnet sind, um Ionen in einer ersten Dimension (X-Dimension) zu reflektieren, und die in einer zweiten Dimension (Z-Dimension) länglich sind; und

einen Ionendetektor;

wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionen in einen ersten der Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen; und

wobei die Ionen reflektiert werden, um n-mal von einem der Ionenspiegel zu einem anderen der Ionenspiegel zu gehen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während ≥ 60 % dieser n Male nicht räumlich fokussiert sind.

[0011] Der zweite Aspekt der Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Flugzeit-Massenanalyse bereit, das folgende Schritte umfasst: Bereitstellen eines Massenanalysators wie zuvor beschrieben; und Steuern des Ionenbeschleunigers, um die Ionen in den ersten Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen, wobei die Ionen reflektiert werden, um n-mal von einem der Ionenspiegel zu einem anderen der Ionenspiegel zu gehen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während ≥ 60 % dieser n Male nicht räumlich fokussiert sind.

[0012] Nach einem dritten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung einen mehrfach reflektierenden Flugzeit-Massenanalysator bereit, umfassend:

einen Ionenbeschleuniger;

zwei Ionenspiegel, die angeordnet sind, um Ionen in einer ersten Dimension (X-Dimension) zu reflektieren, und die in einer zweiten Dimension (Z-Dimension) länglich sind; und

einen Ionendetektor;

wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionen in einen ersten der Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen

nen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen.

[0013] Der dritte Aspekt der Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Flugzeit-Massenanalyse bereit, das folgende Schritte umfasst: Bereitstellen eines Massenanalysators wie zuvor beschrieben; und Steuern des Ionenbeschleunigers, um die Ionen in den ersten Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen.

[0014] Die vorliegenden Spektrometer können eine Ionenquelle umfassen, die aus der Gruppe ausgewählt wird, die besteht aus: (i) einer Elektrospray-Ionisations- („ESI“) Ionenquelle; (ii) einer Ionenquelle mit Photoionisation bei Atmosphärendruck („APPI“); (iii) einer Ionenquelle mit chemischer Ionisation bei Atmosphärendruck („APCI“); (iv) einer Ionenquelle mit matrixunterstützter Laserdesorption/ionisation („MALDI“); (v) einer Laserdesorption/ionisations- („LDI“) Ionenquelle; (vi) einer Ionenquelle mit Ionisation bei Atmosphärendruck („API“); (vii) einer Ionenquelle mit Desorption/ionisation auf Silizium („DIOS“); (viii) einer Elektronenstoß- („EI“) Ionenquelle; (ix) einer Ionenquelle mit chemischer Ionisation („CI“); (x) einer Feldionisations- („FI“) Ionenquelle; (xi) einer Felddesorptions- („FD“) Ionenquelle; (xii) einer Ionenquelle mit induktiv gekoppeltem Plasma („ICP“); (xiii) einer Ionenquelle mit schnellem Atombeschuss („FAB“); (xiv) einer Ionenquelle mit Flüssig-Sekundärionen-Massenspektrometrie („LSIMS“); (xv) einer Ionenquelle mit Desorption-Elektrospray-Ionisation („DESI“); (xvi) einer Ionenquelle mit radioaktivem Nickel-63; (xvii) einer Ionenquelle mit matrixunterstützter Laserdesorption/ionisation bei Atmosphärendruck; (xviii) einer Thermospray-Ionenquelle; (xix) einer Ionenquelle mit Glimmentladungsionisation mit Probenahme bei Atmosphärendruck („ASGDI“); (xx) einer Glimmentladungs- („GD“) Ionenquelle; (xxi) einer Impaktor-Ionenquelle; (xxii) einer Ionenquelle mit Direktanalyse in Echtzeit („DART“) Ionenquelle; (xxiii) einer Laserspray-Ionisations- („LSI“) Ionenquelle; (xxiv) einer Sonicspray-Ionisations- („SSI“) Ionenquelle; (xxv) einer Ionenquelle mit matrixunterstützter Einlassionisation („MAII“); (xxvi) einer Ionenquelle mit lösungsmittelunterstützter Einlassionisation („SAII“); (xxvii) einer Ionenquelle mit Desorption-Elektrospray-Ionisation („DESI“); (xxviii) einer Ionenquelle mit Laserablations-Elektrospray-Ionisation („LAESI“); und (xxix) einer oberflächenunterstützten Laserdesorption/ionisation („SALDI“).

[0015] Das Spektrometer kann eine oder mehrere kontinuierliche oder gepulste Ionenquellen umfassen.

[0016] Das Spektrometer kann eine oder mehrere Ionenführungen umfassen.

[0017] Das Spektrometer kann eine oder mehrere Ionenmobilitätstrennvorrichtungen und/oder eine oder mehrere feldasymmetrische Ionenmobilitäts-Spektrometervorrichtungen umfassen.

[0018] Das Spektrometer kann eine oder mehrere Ionenfallen oder eine oder mehrere Ioneneinfangregionen umfassen.

[0019] Das Spektrometer kann eine oder mehrere Kollisions-, Fragmentierungs- oder Reaktionszellen umfassen, die aus der Gruppe ausgewählt werden, die besteht aus: (i) einer Fragmentierungsvorrichtung zur kollisionsinduzierten Dissoziation („CID“); (ii) einer Fragmentierungsvorrichtung zur oberflächeninduzierten Dissoziation („SID“); (iii) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Elektronentransfer-Dissoziation („ETD“); (iv) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Elektroneneinfangdissoziation („ECD“); (v) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Elektronenkollisions- oder Stoßdissoziation; (vi) einer Fragmentierungsvorrichtung zur photoinduzierten Dissoziation („PID“); (vii) einer Fragmentierungsvorrichtung zur laserinduzierten Dissoziation; (viii) einer Vorrichtung zur durch Infrarotstrahlung induzierten Dissoziation; (ix) einer Vorrichtung zur durch Ultraviolettstrahlung induzierten Dissoziation; (x) einer Fragmentierungsvorrichtung mit Düsen-Skimmer-Schnittstelle; (xi) einer quelleninternen Fragmentierungsvorrichtung; (xii) einer Fragmentierungsvorrichtung zur quelleninternen kollisionsinduzierten Dissoziation; (xiii) einer Fragmentierungsvorrichtung mit thermischer oder Temperaturquelle; (xiv) einer Vorrichtung zur durch ein elektrisches Feld induzierten Fragmentierung; (xv) einer Vorrichtung zur durch ein Magnetfeld induzierten Fragmentierung; (xvi) einer Fragmentierungsvorrichtung zum Enzymaufschluss oder zur Enzymzerersetzung; (xvii) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Ionen-Ionen-Reaktion; (xviii) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Ionen-Molekül-Reaktion; (xix) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Ionen-Atome-Reaktion; (xx) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Ionen-metastabile Ionen-Reaktion; (xxi) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Ionen-metastabile Moleküle-Reaktion; (xxii) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Ionen-metastabile Atome-Reaktion; (xxiii) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Ionen-Ionen-Reaktion zum Reagieren von Ionen zum Bilden von Addukt- oder Produkt-Ionen; (xxiv) einer Ionen-Moleküle-Reaktionsvorrichtung zum Reagieren von Ionen zum Bilden von Addukt- oder Produkt-Ionen; (xxv) einer Ionen-Atome-Reaktionsvorrichtung zum Reagieren von Ionen zum Bilden von Addukt- oder Produkt-

Ionen; (xxvi) einer Ionen-metastabile Ionen-Reaktionsvorrichtung zum Reagieren von Ionen zum Bilden von Addukt- oder Produkt-Ionen; (xxvii) einer Ionen-metastabile Moleküle-Reaktionsvorrichtung zum Reagieren von Ionen zum Bilden von Addukt- oder Produkt-Ionen; (xxviii) einer Ionen-metastabile Atome-Reaktionsvorrichtung zum Reagieren von Ionen zum Bilden von Addukt- oder Produkt-Ionen; und (xxix) einer Fragmentierungsvorrichtung zur Elektronenionisationsdissoziation („EID“).

[0020] Die Ionen-Moleküle-Reaktionsvorrichtung kann konfiguriert sein, um eine Ozonolyse für die Aufindung von olefinischen (doppelten) Bindungen in Lipiden auszuführen.

[0021] Das Spektrometer kann einen Massenanalysator umfassen, der aus der Gruppe ausgewählt wird, die besteht aus: (i) einem Quadrupol-Massenanalysator; (ii) einem 2D- oder Linear-Quadrupol-Massenanalysator; (iii) einem Paul- oder 3D-Quadrupol-Massenanalysator; (iv) einem Penning-Fallen-Massenanalysator; (v) einem Ionenfallen-Massenanalysator; (vi) einem Magnetsektor-Massenanalysator; (vii) einem Ionen-Cyclotronresonanz- („ICR“) Massenanalysator; (viii) einem Ionen-Cyclotronresonanz- („FHCR») Massenanalysator mit Fourier-Transformation; (ix) einem elektrostatischen Massenanalysator, der angeordnet ist, um ein elektrostatisches Feld zu generieren, das eine quadrologarithmische Potentialverteilung aufweist; (x) einem elektrostatischen Massenanalysator mit Fourier-Transformation; und (xi) einem Massenanalysator mit Fourier-Transformation.

[0022] Das Spektrometer kann einen oder mehrere Energieanalysatoren oder elektrostatische Energieanalysatoren umfassen.

[0023] Das Spektrometer kann ein oder mehrere Massenfilter umfassen, die aus der Gruppe ausgewählt werden, die besteht aus: (i) einem Quadrupol-Massenfilter; (ii) einer 2D- oder Linear-Quadrupol-Ionenfalle; (iii) einer Paul- oder 3D-Quadrupol-Ionenfalle; (iv) einer Penning-Ionenfalle; (v) einer Ionenfalle; (vi) einem Magnetsektor-Massenfilter; (vii) einem Flugzeit-Massenfilter; und (viii) einem Wien-Filter.

[0024] Das Spektrometer kann eine Vorrichtung oder ein Ionengatter zum Pulsen von Ionen; und/oder eine Vorrichtung zum Umwandeln eines im Wesentlichen kontinuierlichen Ionenstrahls in einen gepulsten Ionenstrahl umfassen.

[0025] Das Spektrometer kann eine C-Falle und einen Massenanalysator umfassen, der eine äußere zylinderartige Elektrode und eine koaxiale innere spindelartige Elektrode umfasst, die ein elektrostatisches Feld mit einer quadrologarithmischen Potentialverteilung bilden, wobei in einem ersten Be-

triebsmodus Ionen zur C-Falle durchgelassen werden und dann in den Massenanalysator eingeschossen werden, und wobei in einem zweiten Betriebsmodus Ionen zur C-Falle und dann zu einer Kollisionszelle oder einer Elektronentransfer-Dissoziationsvorrichtung durchgelassen werden, in der mindestens einige Ionen zu Fragment-Ionen fragmentiert werden, und wobei die Fragment-Ionen dann zur C-Falle durchgelassen werden, bevor sie in den Massenanalysator eingeschossen werden.

[0026] Das Spektrometer kann eine Stapelring-Ionenführung umfassen, die eine Vielzahl von Elektroden umfasst, die jeweils eine Blende aufweisen, durch die im Gebrauch Ionen durchgelassen werden, und wobei die Beabstandung der Elektroden entlang der Länge des Ionenwegs zunimmt, und wobei die Blenden in den Elektroden in einem stromaufwärtigen Teilabschnitt der Ionenführung einen ersten Durchmesser aufweisen, und wobei die Blenden in den Elektroden in einem stromabwärtigen Teilabschnitt der Ionenführung einen zweiten Durchmesser aufweisen, der kleiner als der erste Durchmesser ist, und wobei im Gebrauch an aufeinanderfolgende Elektroden entgegengesetzte Phasen einer AC- oder HF-Spannung angelegt werden.

[0027] Das Spektrometer kann eine Vorrichtung umfassen, die angeordnet und angepasst ist, um den Elektroden eine AC- oder HF-Spannung zuzuführen. Die AC- oder HF-Spannung weist wahlweise eine Amplitude auf, die aus der Gruppe ausgewählt wird, die besteht aus: (i) etwa < 50 V Spitze-Spitze; (ii) etwa 50 bis 100 V Spitze-Spitze; (iii) etwa 100 bis 150 V Spitze-Spitze; (iv) etwa 150 bis 200 V Spitze-Spitze; (v) etwa 200 bis 250 V Spitze-Spitze; (vi) etwa 250 bis 300 V Spitze-Spitze; (vii) etwa 300 bis 350 V Spitze-Spitze; (viii) etwa 350 bis 400 V Spitze-Spitze; (ix) etwa 400 bis 450 V Spitze-Spitze; (x) etwa 450 bis 500 V Spitze-Spitze; und (xi) mehr als etwa 500 V Spitze-Spitze.

[0028] Die AC- oder HF-Spannung kann eine Frequenz aufweisen, die aus der Gruppe ausgewählt wird, die besteht aus: (i) < etwa 100 kHz; (ii) etwa 100 bis 200 kHz; (iii) etwa 200 bis 300 kHz; (iv) etwa 300 bis 400 kHz; (v) etwa 400 bis 500 kHz; (vi) etwa 0,5 bis 1,0 MHz; (vii) etwa 1,0 bis 1,5 MHz; (viii) etwa 1,5 bis 2,0 MHz; (ix) etwa 2,0 bis 2,5 MHz; (x) etwa 2,5 bis 3,0 MHz; (xi) etwa 3,0 bis 3,5 MHz; (xii) etwa 3,5 bis 4,0 MHz; (xiii) etwa 4,0 bis 4,5 MHz; (xiv) etwa 4,5 bis 5,0 MHz; (xv) etwa 5,0 bis 5,5 MHz; (xvi) etwa 5,5 bis 6,0 MHz; (xvii) etwa 6,0 bis 6,5 MHz; (xviii) etwa 6,5 bis 7,0 MHz; (xix) etwa 7,0 bis 7,5 MHz; (xx) etwa 7,5 bis 8,0 MHz; (xxi) etwa 8,0 bis 8,5 MHz; (xxii) etwa 8,5 bis 9,0 MHz; (xxiii) etwa 9,0 bis 9,5 MHz; (xxiv) etwa 9,5 bis 10,0 MHz; und (xxv) mehr als etwa 10,0 MHz.

[0029] Das Spektrometer kann eine Chromatographie- oder andere Trennvorrichtung stromaufwärts

von einer Ionenquelle umfassen. Die Chromatographie-Trennvorrichtung kann eine Flüssigchromatographie- oder Gaschromatographie-Vorrichtung umfassen. Alternativ kann die Trennvorrichtung umfassen: (i) eine Kapillarelektrophorese- („CE“) Trennvorrichtung; (ii) eine Kapillarelektrochromatographie- („CEC“) Trennvorrichtung; (iii) eine Trennvorrichtung mit einem im Wesentlichen steifen keramikbasierten, mehrschichtigen mikrofluidischen Substrat („Keramikplatte“); oder (iv) eine Chromatographie-Trennvorrichtung mit überkritischen Fluiden.

[0030] Die Ionenführung kann auf einem Druck gehalten werden, der aus der Gruppe ausgewählt wird, die besteht aus: (i) < etwa 0,0001 mbar; (ii) etwa 0,0001 bis 0,001 mbar; (iii) etwa 0,001 bis 0,01 mbar; (iv) etwa 0,01 bis 0,1 mbar; (v) etwa 0,1 bis 1 mbar; (vi) etwa 1 bis 10 mbar; (vii) etwa 10 bis 100 mbar; (viii) etwa 100 bis 1000 mbar; und (ix) mehr als etwa 1000 mbar.

[0031] Analyt-Ionen können einer Elektronentransferdissoziations- („ETD“) Fragmentierung in einer Elektronentransferdissoziations-Fragmentierungsvorrichtung unterzogen werden. Es kann veranlasst werden, dass Analyt-Ionen mit ETD-Reagens-Ionen innerhalb einer Ionenführung oder Fragmentierungsvorrichtung interagieren.

[0032] Das Spektrometer kann in diversen Betriebsmodi betätigt werden, wozu ein Massenspektrometrie- („MS“) Betriebsmodus; ein Tandemmassenspektrometrie- („MS/MS“) Betriebsmodus; ein Betriebsmodus, in dem Stamm- oder Vorläuferionen abwechselnd fragmentiert oder reagiert werden, um Fragment- oder Produktionen zu erzeugen, und nicht fragmentiert oder reagiert oder weniger fragmentiert oder reagiert werden; ein Betriebsmodus mit Überwachung mehrerer Reaktionen („MRM“); ein Betriebsmodus mit datenabhängiger Analyse („DDA“); ein Betriebsmodus mit datenunabhängiger Analyse („DIA“), ein Quantisierungsbetriebsmodus oder ein Betriebsmodus zur Ionenmobilitätsspektrometrie („IMS“) gehören.

Figurenliste

[0033] Es werden nun diverse Ausführungsformen rein beispielhaft und mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 ein MR-TOF-MS-Instrument aus dem Stand der Technik;

Fig. 2 ein anderes MR-TOF-MS-Instrument aus dem Stand der Technik;

Fig. 3 ein Schema einer Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 4 ein Schema einer anderen Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 5A-5B die Auflösung und das Tastverhältnis, die für MR-TOF-MS-Instrumente unterschiedlicher Größe für Ionen, die eine Energie in der feldfreien Region zwischen den Spiegeln von 9,2 keV aufweisen, modelliert sind;

Fig. 6A-6B Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 5A-5B** gezeigt werden, außer dass die Daten für Ionen, die eine Energie in der feldfreien Region zwischen den Spiegeln von 6 keV aufweisen, modelliert sind;

Fig. 7 Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 5A-5B** gezeigt werden, außer dass die Daten für Ionen, die eine Energie in der feldfreien Region zwischen den Spiegeln von 3 keV, 4 keV und 5 keV aufweisen, modelliert sind;

Fig. 8 Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 5A-5B** gezeigt werden, außer dass die Daten für Ionen, die in den Spiegeln fünfmal reflektiert werden und eine Energie in der feldfreien Region zwischen den Spiegeln von zwischen 4 bis 10 keV aufweisen, modelliert sind;

Fig. 9 Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 8** gezeigt werden, außer dass die Daten für Ionen, die in den Spiegeln sechsmal reflektiert werden, modelliert sind;

Fig. 10 Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 5A-5B** gezeigt werden, außer dass die Daten modelliert sind, um ein Tastverhältnis von ungefähr 10 % zu erreichen; und

Fig. 11 Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 5A-5B** gezeigt werden, für Instrumente, die eine mittlere Größe aufweisen.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0034] **Fig. 1** zeigt das MR-TOF-MS-Instrument aus der SU **1725289**. Das Instrument umfasst zwei Ionenspiegel **10**, die in der X-Dimension durch eine feldfreie Region **12** getrennt sind. Jeder Ionenspiegel **10** umfasst drei Paare von Elektroden **3** bis **8**, die in der Z-Dimension länglich sind. Eine Ionenquelle **1** ist in der feldfreien Region **12** an einem Ende des Instruments (in der Z-Dimension) angeordnet, und ein Ionendetektor **2** ist an dem anderen Ende des Instruments (in der Z-Dimension) angeordnet.

[0035] Im Gebrauch beschleunigt die Ionenquelle **1** Ionen in einen ersten der Ionenspiegel **10** mit einem Neigungswinkel zu der X-Achse. Die Ionen weisen daher eine Geschwindigkeit in der X-Dimension und auch eine Drift-Geschwindigkeit in der Z-Dimension auf. Die Ionen treten in den ersten Ionenspiegel **10** ein und werden zurück auf den zweiten der Ionenspiegel **10** reflektiert. Die Ionen treten dann in den zweiten Spiegel ein und werden zurück auf den ers-

ten Ionenspiegel reflektiert. Der erste Ionenspiegel reflektiert dann die Ionen zurück auf den zweiten Ionenspiegel. Dies geht weiter, und die Ionen werden kontinuierlich zwischen den beiden Ionenspiegeln reflektiert, während sie entlang der Vorrichtung in der Z-Dimension driften, bis die Ionen auf den Ionendetektor **2** stoßen. Die Ionen folgen daher einer im Wesentlichen sinusförmigen mittleren Trajektorie innerhalb der X-Z-Ebene zwischen der Ionenquelle **1** und der Ionendetektor **2**.

[0036] Fig. 2 zeigt ein MR-TOF-MS-Instrument, das in der WO 2005/001878 offenbart wird. Dieses Instrument ist dadurch ähnlich wie das aus der SU **1725289**, dass Ionen aus einer Ionenquelle **24** zwischen zwei Ionenspiegeln **21** mehrfach reflektiert werden, während sie in der Z-Dimension in Richtung auf einen Ionendetektor **26** driften. Das Instrument aus der WO 2005/001878 umfasst jedoch auch einen Satz von periodischen Linsen **23** innerhalb der feldfreien Region **27** zwischen den Ionenspiegeln **21**. Diese Linsen **23** sind derart angeordnet, dass die Ionenpakete durch sie hindurchgehen, wenn sie zwischen den Ionenspiegeln **21** reflektiert werden. Es werden Spannungen an die Elektroden der Linsen **23** angelegt, um die Ionenpakete in der Z-Dimension räumlich zu fokussieren. Dies verhindert, dass die Ionenpakete zu sehr in der Z-Dimension abweichen und sich überlappen, und dass sie länger als der Detektor **26** in der Z-Dimension werden, wenn sie den Detektor **26** erreichen.

[0037] Die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung betreffen ein MR-TOF-MS-Instrument, das keinen Satz von Linsen **23** innerhalb der feldfreien Region zwischen den Ionenspiegeln aufweist.

[0038] Gemäß einem ersten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung einen mehrfach reflektierenden Flugzeit-Massenanalysator bereit, umfassend:

einen Ionenbeschleuniger;

zwei Ionenspiegel, die angeordnet sind, um Ionen in einer ersten Dimension (X-Dimension) zu reflektieren, und die in einer zweiten Dimension (Z-Dimension) länglich sind; und

einen Ionendetektor;

wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionen in einen ersten der Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen;

wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) nicht räumlich fokussiert sind, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen; und

wobei der Massenanalysator ein Tastverhältnis von $\geq 5\%$ und eine Auflösung von ≥ 20000 aufweist, wobei die Entfernung in der ersten Dimension (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ≤ 1000 mm ist; und wobei der Massenanalysator derart konfiguriert ist, dass die Ionen eine Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor von ≤ 700 mm zurücklegen.

[0039] Obwohl der Begriff „Tastverhältnis“ für den Fachmann wohlbekannt ist, ist das Tastverhältnis, um Zweifel zu vermeiden, die Proportion der Zeit, während der Ionen aus einer kontinuierlichen Ionenquelle in einen Massenanalysator angenommen werden. Für Ionenbeschleuniger mit orthogonaler Beschleunigung, wie etwa die gemäß den Ausführungsformen der Erfindung, ist das Tastverhältnis gegeben durch:

$$\text{Tastverhältnis} = \frac{D}{L} \sqrt{\frac{m/z}{(m/z)_{\max}}}$$

wobei D die Länge in der zweiten Dimension (Z-Dimension) des Ionenpakets ist, wenn es durch den Ionenbeschleuniger orthogonal beschleunigt wird (d. h. die Länge in der zweiten Dimension der orthogonalen Beschleunigungsregion des Ionenbeschleunigers); L die Entfernung in der zweiten Dimension vom Mittelpunkt der orthogonalen Beschleunigungsregion des Ionenbeschleunigers zum Mittelpunkt der Detektionsregion des Ionendetektors ist; (m/z) das Masse-/Ladungsverhältnis eines analysierten Ions ist; und $(m/z)_{\max}$ das betreffende maximale Masse-/Ladungsverhältnis, das analysiert werden soll, ist.

[0040] Daher ist ersichtlich, dass das Tastverhältnis des Massenanalysators masseabhängig ist. Dies ist der Fall, weil Ionen mit einem höheren Masse-/Ladungsverhältnis länger brauchen, um durch die Extraktionsregion des Ionenbeschleunigers hindurchzugehen und diese auszufüllen. Wenn der Fachmann jedoch einen Massenanalysator beschreibt, sieht er das Tastverhältnis des Massenanalysators als das Tastverhältnis für das betreffende maximale Masse-/Ladungsverhältnis an, d. h. das Tastverhältnis, wenn $(m/z) = (m/z)_{\max}$ in der obigen Gleichung. Entsprechend bezieht sich das Tastverhältnis, wenn es hier erwähnt wird, auf das Verhältnis von D/L (prozentual), wobei es sich um einen Wert handelt, der nur durch die geometrischen Parameter D und L des Massenanalysators definiert wird. Dies kann auch als „Probenahmeeffizienz“ bezeichnet werden.

[0041] Ebenfalls um Zweifel zu vermeiden, hat der hier verwendete Begriff Auflösung seine normale Be-

deutung in der Technik, d. h. $m/(\Delta m)$ bei FWHM, wobei m das Masse-/ Ladungsverhältnis ist.

[0042] Die folgenden Merkmale werden mit Bezug auf den ersten Aspekt der Erfindung offenbart.

[0043] Jeder Spiegel kann mindestens vier Elektroden aufweisen, die derart angeordnet und konfiguriert sind, dass die Flugzeit-Ionenfokussierung erster Ordnung von der Position der Ionen in der Ebene, die zu der ersten Dimension (Y-Z-Ebene) orthogonal ist, im Wesentlichen unabhängig ist.

[0044] Daher kann die Flugzeit-Ionenfokussierung erster Ordnung von der Position der Ionen sowohl in der zweiten Dimension (Z-Dimension) als auch in einer dritten Dimension (Y-Dimension), die zu den ersten und zweiten Dimensionen (X- und Z-Dimensionen) orthogonal ist, im Wesentlichen unabhängig sein.

[0045] Der Massenanalysator kann Spannungsquellen zum Anlegen von mindestens vier verschiedenen Spannungen an die vier verschiedenen Elektroden in jedem Ionenspiegel zum Reflektieren von Ionen und Erreichen der Flugzeit-Fokussierung umfassen.

[0046] Die Ionen sind in der zweiten Dimension (Z-Dimension) nicht räumlich fokussiert, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen. Somit werden keine Ionenlinsen zwischen den Ionenspiegeln zum räumlichen Fokussieren von Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bereitgestellt. Ähnlich sind die Ionenspiegel nicht konfiguriert, um die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) räumlich zu fokussieren.

[0047] Der Ionendetektor kann von dem Ionenbeschleuniger in der zweiten Dimension (Z-Dimension) beabstandet sein. Alternativ können sich die Ionen vom Ionenbeschleuniger aus in einer ersten Richtung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen, und können dann durch eine reflektierende Elektrode reflektiert werden, um sich in einer zweiten, entgegengesetzten Richtung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) zum Detektor zu bewegen. Eine oder mehrere weitere Reflexionselektroden können bereitgestellt werden, um eine oder mehrere weitere Z-Dimensionsreflexionen zu bewirken, wobei der Detektor geeignet positioniert ist, um die Ionen nach diesen Z-Dimensionsreflexionen zu detektieren.

[0048] Die Ausführungsformen der Erfindung stellen ein Spektrometer bereit, das den hier beschriebenen Massenanalysator umfasst.

[0049] Das Spektrometer kann eine Ionenquelle zum Zuführen der Ionen zu dem Ionenbeschleuniger umfassen, wobei die Ionenquelle derart angeordnet ist, dass der Ionenbeschleuniger Ionen aus der Ionen-

quelle, die sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen, empfängt.

[0050] Diese Anordnung stellt ein relativ hohes Tastverhältnis für den Massenanalysator bereit. Wie zuvor beschrieben, ist das Tastverhältnis das Verhältnis der Länge in der zweiten Dimension (Z-Dimension) des Ionenpakets, wenn es durch den Ionenbeschleuniger beschleunigt wird, zu der Entfernung vom Mittelpunkt des Ionenbeschleunigers zum Mittelpunkt des Detektors. Die Ausführungsformen der Erfindung betreffen einen relativ kleinen Massenanalysator, und daher ist es erwünscht, dass der Ionenbeschleuniger ein relativ längliches Ionenpaket (in der zweiten, Z-Dimension) pulst, um ein relativ hohes Tastverhältnis zu erreichen. Das relativ längliche Ionenpaket in der zweiten Dimension (Z-Dimension) wird dadurch ermöglicht, dass die Ionen, die sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen, dem Ionenbeschleuniger bereitgestellt werden. Dies ist anders als bei herkömmlichen mehrfach reflektierenden TOF-Spektrometern, bei denen es erwünscht ist, dass das Ionenpaket in der zweiten Dimension (Z-Dimension) sehr klein bleibt, so dass eine hohe Anzahl von Ionenspiegelreflexionen erfolgen kann, bevor die Ionenpakete in der zweiten Dimension (Z-Dimension) so weit abweichen, dass sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) überlappen. Um dies zu erreichen, stellen diese herkömmlichen Instrumente die Ionen dem Ionenbeschleuniger in einer Richtung bereit, die einer dritten Dimension entspricht, die zu den hier beschriebenen ersten und zweiten Dimensionen rechtwinklig ist. Folglich leiden diese herkömmlichen Instrumente unter einem relativ niedrigen Tastverhältnis.

[0051] Die Ionenquelle kann eine kontinuierliche Ionenquelle sein, um im Wesentlichen kontinuierliche Ionen zu generieren, oder kann eine gepulste Ionenquelle sein.

[0052] Der Massenanalysator kann ein Tastverhältnis von $\geq 10\%$ aufweisen.

[0053] Wie zuvor beschrieben, weist der Massenanalysator ein Tastverhältnis von $\geq 5\%$ auf. Es wird in Betracht gezogen, dass der Massenanalysator ein Tastverhältnis aufweisen kann von: $\geq 6\%$, $\geq 7\%$, $\geq 8\%$, $\geq 9\%$, $\geq 10\%$, $\geq 11\%$, $\geq 12\%$, $\geq 13\%$, $\geq 14\%$, $\geq 15\%$, $\geq 16\%$, $\geq 17\%$, $\geq 18\%$, $\geq 19\%$, $\geq 20\%$, $\geq 25\%$, $\geq 30\%$. Zusätzlich oder alternativ wird in Betracht gezogen, dass der Massenanalysator ein Tastverhältnis aufweisen kann von: $\leq 30\%$, $\leq 25\%$, $\leq 20\%$, $\leq 19\%$, $\leq 18\%$, $\leq 17\%$, $\leq 16\%$, $\leq 15\%$, $\leq 14\%$, $\leq 13\%$, $\leq 12\%$, $\leq 11\%$, $\leq 10\%$, $\leq 9\%$, $\leq 8\%$, $\leq 7\%$ oder $\leq 6\%$.

[0054] Jeder beliebige dieser aufgeführten oberen Endpunkte des Tastverhältnisses kann mit jedem beliebigen der unteren Endpunkte des zuvor aufgeführ-

ten Tastverhältnisses kombiniert werden (wobei der obere Endpunkt höher als der untere Endpunkt ist). Jeder beliebige oder eine Kombination dieser Endpunkte kann auch mit einem der Bereiche (oder einer Kombination von Bereichen), die mit Bezug auf einen beliebigen oder eine beliebige Kombination der anderen hier besprochenen Parameter beschrieben werden, kombiniert werden. Beispielsweise kann jeder beliebige oder eine Kombination der Endpunkte oder Bereiche, die mit Bezug auf das Tastverhältnis beschrieben werden, mit jedem beliebigen oder einer beliebigen Kombination von Bereichen kombiniert werden, die beschrieben werden mit Bezug auf: Auflösung; und/oder Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor; und/oder Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln; und/oder Anzahl von Reflexionen; und/oder Ionenenergie in der zweiten Dimension; und/oder elektrische Feldstärke; und/oder kinetische Energie.

[0055] Der Massenanalysator kann derart konfiguriert sein, dass die Ionen eine erste Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen, wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Pakete von Ionen zu pulsen, die eine anfängliche Länge in der zweiten Dimension (Z-Dimension) aufweisen, und wobei die erste Entfernung und die anfängliche Länge derart sind, dass das Spektrometer ein Tastverhältnis von $\geq 5\%$ aufweist.

[0056] Die erste Entfernung und die anfängliche Länge können jedoch derart angeordnet sein, dass das Tastverhältnis einer der anderen Bereiche von Tastverhältnissen ist, die hier offenbart werden.

[0057] Der Massenanalysator kann eine Auflösung von ≥ 30000 aufweisen.

[0058] Es wird jedoch in Betracht gezogen, dass der Massenanalysator eine Auflösung aufweisen kann von: ≥ 22000 , ≥ 24000 , ≥ 26000 , ≥ 28000 , ≥ 30000 , ≥ 35000 , ≥ 40000 , ≥ 45000 , ≥ 50000 , ≥ 60000 , ≥ 70000 , ≥ 80000 , ≥ 90000 oder ≥ 100000 . Zusätzlich oder alternativ wird in Betracht gezogen, dass der Massenanalysator eine Auflösung aufweisen kann von: ≤ 100000 , ≤ 90000 , ≤ 80000 , ≤ 70000 , ≤ 60000 , ≤ 50000 , ≤ 45000 , ≤ 40000 , ≤ 35000 , ≤ 30000 , ≤ 28000 , ≤ 26000 , ≤ 24000 oder ≤ 22000 .

[0059] Jeder beliebige dieser aufgeführten oberen Endpunkte der Auflösung kann mit jedem beliebigen der unteren Endpunkte der zuvor aufgeführten Auflösung kombiniert werden (wobei der obere Endpunkt höher als der untere Endpunkt ist). Jeder beliebige oder eine Kombination dieser Endpunkte kann auch mit jedem beliebigen der Bereiche (oder einer Kombination von Bereichen), die mit Bezug auf einen be-

liebigen oder eine beliebige Kombination der anderen hier besprochenen Parameter beschrieben werden, kombiniert werden. Beispielsweise kann jeder beliebige oder eine Kombination der Endpunkte oder Bereiche, die mit Bezug auf die Auflösung beschrieben werden, mit jedem beliebigen oder einer beliebigen Kombination von Bereichen kombiniert werden, die beschrieben werden mit Bezug auf: Tastverhältnis; und/oder Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor; und/oder Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln; und/oder Anzahl von Reflexionen; und/oder Ionenenergie in der zweiten Dimension; und/oder elektrische Feldstärke; und/oder kinetische Energie.

[0060] Die Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor kann eine sein von: ≤ 650 mm; ≤ 600 mm; ≤ 550 mm; ≤ 500 mm; ≤ 480 mm; ≤ 460 mm; ≤ 440 mm; ≤ 420 mm; ≤ 400 mm; ≤ 380 mm; ≤ 360 mm; ≤ 340 mm; ≤ 320 mm; ≤ 300 mm; ≤ 280 mm; ≤ 260 mm; ≤ 240 mm; ≤ 220 mm; oder ≤ 200 mm; und/oder die erste Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor kann eine sein von: ≥ 100 mm; ≥ 120 mm; ≥ 140 mm; ≥ 160 mm; ≥ 180 mm; ≥ 200 mm; ≥ 220 mm; ≥ 240 mm; ≥ 260 mm; ≥ 280 mm; ≥ 300 mm; ≥ 320 mm; ≥ 340 mm; ≥ 360 mm; ≥ 380 mm; oder ≥ 400 mm.

[0061] Jeder beliebige dieser aufgeführten oberen Endpunkte der ersten Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) kann mit jedem beliebigen der unteren Endpunkte der ersten Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension), die zuvor ausgeführt wurden, kombiniert werden (wobei der obere Endpunkt höher als der untere Endpunkt ist). Jeder beliebige oder eine Kombination dieser Endpunkte kann auch mit jedem beliebigen der Bereiche (oder einer Kombination von Bereichen), die mit Bezug auf einen beliebigen oder eine beliebige Kombination der anderen hier besprochenen Parameter beschrieben werden, kombiniert werden. Beispielsweise kann jeder beliebige oder eine Kombination der Endpunkte oder Bereiche, die mit Bezug auf die Entfernung vom Ionenbeschleuniger zum Detektor beschrieben werden, mit jedem beliebigen oder einer beliebigen Kombination von Bereichen kombiniert werden, die beschrieben werden mit Bezug auf: Tastverhältnis; und/oder Auflösung; und/oder Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln; und/oder Anzahl von Reflexionen; und/oder Ionenenergie in der zweiten Dimension; und/oder elektrische Feldstärke; und/oder kinetische Energie.

[0062] Die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln kann sein: ≤ 950 mm; ≤ 900

mm; ≤ 850 mm; ≤ 800 mm; ≤ 750 mm; ≤ 700 mm; ≤ 650 mm; ≤ 600 mm; ≤ 550 mm; ≤ 500 mm; ≤ 450 mm; oder ≤ 400 mm; und/oder die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln kann sein: ≥ 350 mm; ≥ 360 mm; ≥ 380 mm; ≥ 400 mm; ≥ 450 mm; ≥ 500 mm; ≥ 550 mm; ≥ 600 mm; ≥ 650 mm; ≥ 700 mm; ≥ 750 mm; ≥ 800 mm; ≥ 850 mm; oder ≥ 900 mm.

[0063] Jeder beliebige dieser aufgeführten oberen Endpunkte der Entfernung zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln kann mit jedem beliebigen der unteren Endpunkte der Entfernung zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln, die zuvor ausgeführt wurden, kombiniert werden (wobei der obere Endpunkt höher als der untere Endpunkt ist). Jeder beliebige oder eine Kombination dieser Endpunkte kann auch mit jedem beliebigen der Bereiche (oder einer Kombination von Bereichen), die mit Bezug auf einen beliebigen oder eine beliebige Kombination der anderen hier besprochenen Parameter beschrieben werden, kombiniert werden. Beispielsweise kann jeder beliebige oder eine Kombination der Endpunkte oder Bereiche, die mit Bezug auf die Entfernung zwischen den Reflexionspunkten beschrieben werden, mit jedem beliebigen oder einer beliebigen Kombination von Bereichen kombiniert werden, die beschrieben werden mit Bezug auf: Tastverhältnis; und/oder Auflösung; und/oder Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor; und/oder Anzahl von Reflexionen; und/oder Ionenenergie in der zweiten Dimension; und/oder elektrische Feldstärke; und/oder kinetische Energie.

[0064] Der Ionenbeschleuniger, die Ionenspiegel und der Detektor können derart angeordnet und konfiguriert sein, dass die Ionen mindestens x-mal durch die Ionenspiegel reflektiert werden, während sie vom Ionenbeschleuniger zum Detektor gehen; wobei $x: \geq 2, \geq 3, \geq 4, \geq 5, \geq 6, \geq 7, \geq 8, \geq 9, \geq 10, \geq 11, \geq 12, \geq 13, \geq 14$ oder ≥ 15 ; und/oder wobei $x: \leq 15; \leq 14; \leq 13; \leq 12; \leq 11; \leq 10; \leq 9; \leq 8; \leq 7; \leq 6; \leq 5; \leq 4; \leq 3$; oder ≤ 2 ; und/oder wobei x 3 bis 10 ist; wobei x 4 bis 9 ist; wobei x 5 bis 10 ist; wobei x 3 bis 6 ist; wobei x 4 bis 5 ist; oder wobei x 5 bis 6 ist.

[0065] Jeder beliebige dieser aufgeführten oberen Endpunkte der Anzahl von Reflexionen kann mit jedem beliebigen der unteren Endpunkte der Anzahl von Reflexionen, die zuvor ausgeführt wurden, kombiniert werden (wobei der obere Endpunkt höher als der untere Endpunkt ist). Jeder beliebige oder eine Kombination dieser Endpunkte kann auch mit jedem beliebigen der Bereiche (oder einer Kombination von Bereichen), die mit Bezug auf jeden beliebigen oder eine beliebige Kombination der anderen hier besprochenen Parameter beschrieben werden, kombiniert werden. Beispielsweise kann jeder beliebige oder ei-

ne Kombination der Endpunkte oder Bereiche, die mit Bezug auf die Anzahl von Reflexionen beschrieben werden, mit jedem beliebigen oder einer beliebigen Kombination von Bereichen kombiniert werden, die beschrieben werden mit Bezug auf: Tastverhältnis; und/oder Auflösung; und/oder Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor; und/oder Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln; und/oder Ionenenergie in der zweiten Dimension; und/oder elektrische Feldstärke; und/oder kinetische Energie.

[0066] Die Ionen können sich zwischen 100 mm und 450 mm in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen; wobei die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln zwischen 350 und 950 mm liegen kann; und wobei die Ionen zwischen 2- und 15-mal durch die Ionenspiegel reflektiert werden können, während sie vom Ionenbeschleuniger zum Detektor gehen.

[0067] Alternativ können sich die Ionen zwischen 150 mm und 400 mm in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen; wobei die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln zwischen 400 und 900 mm betragen kann; und wobei die Ionen zwischen 3- und 10-mal durch die Ionenspiegel reflektiert werden können, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen. Alternativ können sich die Ionen zwischen 150 mm und 350 mm in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen. Alternativ oder zusätzlich kann die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln zwischen 400 und 600 mm betragen.

[0068] Es wird in Betracht gezogen, dass die Ionen zwischen 100 mm und 400 mm in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen können; wobei die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln zwischen 300 und 700 mm liegen kann; und wobei die Ionen zwischen 3- und 6-mal durch die Ionenspiegel reflektiert werden können, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen. Alternativ können die Ionen zwischen 150 mm und 350 mm in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen. Alternativ oder zusätzlich beträgt die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln zwischen 400 und 600 mm. Zusätzlich zu oder anstelle eines oder beider dieser Parameter können die Ionen zwischen 4- und 5-mal oder zwischen 5- und 6-mal durch

die Ionenspiegel reflektiert werden, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen.

[0069] Das Spektrometer kann konfiguriert sein, um zu bewirken, dass sich die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) mit einer Energie bewegen von: ≤ 140 eV; ≤ 120 eV; ≤ 100 eV; ≤ 90 eV; ≤ 80 eV; ≤ 70 eV; ≤ 60 eV; ≤ 50 eV; ≤ 40 eV; ≤ 30 eV; ≤ 20 eV; oder ≤ 10 eV; und/oder das Spektrometer kann konfiguriert sein, um zu bewirken, dass sich die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) mit einer Energie bewegen von: ≥ 120 eV; ≥ 100 eV; ≥ 90 eV; ≥ 80 eV; ≥ 70 eV; ≥ 60 eV; ≥ 50 eV; ≥ 40 eV; ≥ 30 eV; ≥ 20 eV; oder ≥ 10 eV. Das Spektrometer kann konfiguriert sein, um zu bewirken, dass sich die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) mit einer Energie bewegen von zwischen: 15 bis 70 eV; 10 bis 65 eV; 10 bis 60 eV; 20 bis 100 eV; 25 bis 100 eV; 20 bis 90 eV; 40 bis 60 eV; 30 bis 50 eV; 20 bis 30 eV; 20 bis 45 eV; 25 bis 40 eV; 15 bis 40 eV; 10 bis 45 eV; oder 10 bis 25 eV.

[0070] Jeder beliebige dieser aufgeführten oberen Endpunkte der Energie kann mit jedem beliebigen der unteren Endpunkte der Energie, die zuvor ausgeführt wurden, kombiniert werden (wobei der obere Endpunkt höher als der untere Endpunkt ist). Jeder beliebige oder eine Kombination dieser Endpunkte kann auch mit jedem beliebigen der Bereiche (oder einer Kombination von Bereichen), die mit Bezug auf einen beliebigen oder eine beliebige Kombination der anderen hier besprochenen Parameter beschrieben werden, kombiniert werden. Beispielsweise kann jeder beliebige oder eine Kombination der Endpunkte oder Bereiche, die mit Bezug auf die Energie in der zweiten Dimension beschrieben werden, mit jedem beliebigen oder einer beliebigen Kombination von Bereichen kombiniert werden, die beschrieben werden mit Bezug auf: Tastverhältnis; und/oder Auflösung; und/oder Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor; und/oder Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln; und/oder Anzahl von Reflexionen; und/oder elektrische Feldstärke; und/oder kinetische Energie.

[0071] Die Bereiche von Auflösung, Tastverhältnis und Größe des Massenanalysators (d. h. die Entfernung in der ersten Richtung zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln, und die Entfernung, die zwischen dem Ionenbeschleuniger und dem Detektor in der zweiten Dimension zurückgelegt wird), die hier beschrieben werden, dienen als praktische Werte von Flugzeitenergien und Spiegelspannungen.

[0072] Der Ionenbeschleuniger kann konfiguriert sein, um ein elektrisches Feld von y V/mm zu generieren, um die Ionen zu beschleunigen; wobei y : \geq

700; ≥ 650 ; ≥ 600 ; ≥ 580 ; ≥ 560 ; ≥ 540 ; ≥ 520 ; ≥ 500 ; ≥ 480 ; ≥ 460 ; ≥ 440 ; ≥ 420 ; ≥ 400 ; ≥ 380 ; ≥ 360 ; ≥ 340 ; ≥ 320 ; ≥ 300 ; ≥ 280 ; ≥ 260 ; ≥ 240 ; ≥ 220 ; oder ≥ 200 ; und/oder wobei y : ≤ 700 ; ≤ 650 ; ≤ 600 ; ≤ 580 ; ≤ 560 ; ≤ 540 ; ≤ 520 ; ≤ 500 ; ≤ 480 ; ≤ 460 ; ≤ 440 ; ≤ 420 ; ≤ 400 ; ≤ 380 ; ≤ 360 ; ≤ 340 ; ≤ 320 ; ≤ 300 ; ≤ 280 ; ≤ 260 ; ≤ 240 ; ≤ 220 ; oder ≤ 200 .

[0073] Jeder beliebige dieser aufgeführten oberen Endpunkte des elektrischen Feldes kann mit jedem beliebigen der unteren Endpunkte des elektrischen Feldes kombiniert werden, die zuvor ausgeführt wurden (wobei der obere Endpunkt höher als der untere Endpunkt ist). Jeder beliebige oder eine Kombination dieser Endpunkte kann auch mit jedem beliebigen der Bereiche (oder einer Kombination von Bereichen) kombiniert werden, die mit Bezug auf einen beliebigen oder eine beliebige Kombination der anderen hier besprochenen Parameter beschrieben werden. Beispielsweise kann jeder beliebige oder eine Kombination der Endpunkte oder Bereiche, die mit Bezug auf die elektrische Feldstärke beschrieben werden, mit jedem beliebigen oder einer beliebigen Kombination von Bereichen kombiniert werden, die beschrieben werden mit Bezug auf: Tastverhältnis; und/oder Auflösung; und/oder Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor; und/oder Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln; und/oder Anzahl von Reflexionen; und/oder Ionenenergie in der zweiten Dimension; und/oder kinetische Energie.

[0074] Eine Region, die im Wesentlichen frei von elektrischen Feldern ist, kann zwischen den Ionenspiegeln derart angeordnet sein, dass sich die Ionen, wenn sie zwischen den Ionenspiegeln reflektiert werden, durch diese Region hindurch bewegen.

[0075] Die Ionen können eine kinetische Energie E aufweisen, wenn sie sich zwischen den Ionenspiegeln und/oder in der Region befinden, die im Wesentlichen frei von elektrischen Feldern ist; wobei E : ≥ 1 keV; ≥ 2 keV; ≥ 3 keV; ≥ 4 keV; ≥ 5 keV; ≥ 6 keV; ≥ 7 keV; ≥ 8 keV; ≥ 9 keV; ≥ 10 keV; ≥ 11 keV; ≥ 12 keV; ≥ 13 keV; ≥ 14 keV; oder 15 keV; und/oder wobei E : < 15 keV; ≤ 14 keV; ≤ 13 keV; ≤ 12 keV; ≤ 11 keV; ≤ 10 keV; < 9 keV; ≤ 8 keV; ≤ 7 keV; ≤ 6 keV; oder ≤ 5 keV; und/oder zwischen 5 und 10 keV.

[0076] Jeder beliebige dieser aufgeführten oberen Endpunkte der kinetischen Energie kann mit jedem beliebigen der unteren Endpunkte der kinetischen Energie, die zuvor ausgeführt wurden, kombiniert werden (wobei der obere Endpunkt höher als der untere Endpunkt ist). Jeder beliebige oder eine Kombination dieser Endpunkte kann auch mit jedem beliebigen der Bereiche (oder einer Kombination von Bereichen), die mit Bezug auf einen beliebigen oder eine beliebige Kombination der anderen hier bespro-

chenen Parameter beschrieben werden, kombiniert werden. Beispielsweise kann jeder beliebige oder eine Kombination der Endpunkte oder Bereiche, die mit Bezug auf die kinetische Energie beschrieben werden, mit jedem beliebigen oder einer beliebigen Kombination von Bereichen kombiniert werden, die beschrieben werden mit Bezug auf: Tastverhältnis; und/oder Auflösung; und/oder Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor; und/oder Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln; und/oder Anzahl von Reflexionen; und/oder Ionenenergie in der zweiten Dimension; und/oder elektrische Feldstärke.

[0077] Das Spektrometer kann eine Ionenführung zum Führen von Ionen in den Ionenbeschleuniger und ein Heizelement **39** zum Erhitzen der Ionenführung umfassen.

[0078] Das Spektrometer kann ein Heizelement zum Erhitzen der Elektroden des Ionenbeschleunigers umfassen.

[0079] Das Spektrometer kann ein Heizelement umfassen, das angeordnet und konfiguriert ist, um die Ionenführung und/oder den Beschleuniger auf eine Temperatur zu erhitzen von: $\geq 100\text{ °C}$, $\geq 110\text{ °C}$, $\geq 120\text{ °C}$, $\geq 130\text{ °C}$, $\geq 140\text{ °C}$, oder $\geq 150\text{ °C}$. Das Erhitzen der diversen Bestandteile, wie hier beschrieben, kann dazu beitragen, die Schnittstellenladung zu reduzieren.

[0080] Der hier offenbarte Ionenbeschleuniger kann ein gitterloser Ionenbeschleuniger sein. Wenn der Ionenbeschleuniger erhitzt wird, dann ist ein gitterloser Ionenbeschleuniger nicht von dem Durchhängen des Gitters betroffen, das ansonsten durch das Erhitzen verursacht würde.

[0081] Das Spektrometer kann einen Kollimator zum Kollimieren der Ionen, die in Richtung auf den Ionenbeschleuniger vorbeigehen, umfassen, wobei der Kollimator konfiguriert ist, um Ionen in der ersten Dimension (X-Dimension) und/oder einer Dimension (Y-Dimension), die sowohl zu der ersten als auch der zweiten Dimension orthogonal ist, zu kollimieren.

[0082] Das Spektrometer kann eine Ionenoptik **33** umfassen, die angeordnet und konfiguriert ist, um den Ionenstrahl, der in Richtung auf den Ionenbeschleuniger vorbeigeht, in der ersten Dimension (X-Dimension) und/oder einer Dimension (Y-Dimension), die sowohl zu der ersten als auch der zweiten Dimension orthogonal ist, zu expandieren.

[0083] Das Spektrometer kann eine Ionentrennwand umfassen, um Ionen räumlich oder gemäß einem Masse-/Ladungsverhältnis oder der Ionenmobilität in

der zweiten Dimension (Z-Dimension) zu trennen, bevor die Ionen in den Ionenbeschleuniger eintreten.

[0084] Gemäß einem zweiten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung einen mehrfach reflektierenden Flugzeit-Massenanalysator bereit, umfassend:

einen Ionenbeschleuniger;

zwei Ionenspiegel, die angeordnet sind, um Ionen in einer ersten Dimension (X-Dimension) zu reflektieren, und die in einer zweiten Dimension (Z-Dimension) länglich sind; und

einen Ionendetektor;

wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionen in einen ersten der Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen; und

wobei die Ionen reflektiert werden, um n-mal von dem einen der Ionenspiegel zu dem anderen der Ionenspiegel zu gehen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während $\geq 60\%$ dieser n Male nicht räumlich fokussiert sind.

[0085] Der Massenanalysator gemäß dem zweiten Aspekt kann jedes beliebige der Merkmale aufweisen, die hier mit Bezug auf den ersten Aspekt offenbart wurden, außer dass der Massenanalysator darauf eingeschränkt sein kann oder nicht, dass die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) nicht räumlich fokussiert sind, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen (z. B. während des gesamten Flugs vom Ionenbeschleuniger zum Detektor), wie es mit Bezug auf den ersten Aspekt beschrieben wurde. Es wird in Betracht gezogen, dass es eine gewisse räumliche Fokussierung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) zwischen einigen der Spiegelungen geben kann. Daher sind gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während $\geq 60\%$ der n Male nicht räumlich fokussiert. Wahlweise sind die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während $\geq 65\%$, $\geq 70\%$, $\geq 75\%$, $\geq 80\%$, $\geq 85\%$, $\geq 90\%$, oder $\geq 95\%$ der n Male nicht räumlich fokussiert.

[0086] Der Massenanalysator gemäß dem zweiten Aspekt kann jedes beliebige der Merkmale aufweisen, die hier mit Bezug auf den ersten Aspekt offenbart wurden, außer dass der Massenanalysator darauf eingeschränkt sein kann oder nicht, dass das Tastverhältnis $\geq 5\%$ beträgt, wie es mit Bezug auf den ersten Aspekt beschrieben wurde.

[0087] Der Massenanalysator gemäß dem zweiten Aspekt kann jedes beliebige der Merkmale aufwei-

sen, die hier mit Bezug auf den ersten Aspekt offenbart wurden, außer dass der Massenanalysator darauf eingeschränkt sein kann oder nicht, dass die Auflösung ≥ 20000 ist, wie es mit Bezug auf den ersten Aspekt beschrieben wurde.

[0088] Der Massenanalysator gemäß dem zweiten Aspekt kann jedes beliebige der Merkmale aufweisen, die hier mit Bezug auf den ersten Aspekt offenbart wurden, außer dass der Massenanalysator darauf eingeschränkt sein kann oder nicht, dass die Entfernung in der ersten Dimension (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ≤ 1000 mm ist, wie es mit Bezug auf den ersten Aspekt beschrieben wurde.

[0089] Der Massenanalysator gemäß dem zweiten Aspekt kann jedes beliebige der Merkmale aufweisen, die hier mit Bezug auf den ersten Aspekt offenbart wurden, außer dass der Massenanalysator darauf eingeschränkt sein kann oder nicht, dass die Entfernung, welche die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen, ≤ 700 mm ist, wie es mit Bezug auf den ersten Aspekt beschrieben wurde.

[0090] Der erste Aspekt der Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Flugzeit-Massenanalyse bereit, das folgende Schritte umfasst:

Bereitstellen eines Massenanalysators, wie mit Bezug auf den ersten Aspekt der Erfindung beschrieben; und

Steuern des Ionenbeschleunigers, um die Ionen in den ersten Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen, wobei die Entfernung in der ersten Dimension (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ≤ 1000 mm ist, wobei die Ionen eine Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor von ≤ 700 mm zurücklegen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) nicht räumlich fokussiert sind, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen;

wobei die Ionen durch den Detektor detektiert werden und einer Flugzeit-Massenanalyse mit einem Tastverhältnis von $\geq 5\%$ und einer Auflösung von ≥ 20000 unterzogen werden.

[0091] Der zweite Aspekt der Erfindung stellt auch ein Verfahren zur Flugzeit-Massenanalyse bereit, das folgende Schritte umfasst:

Bereitstellen eines Massenanalysators, wie mit Bezug auf den zweiten Aspekt der Erfindung beschrieben; und

Steuern des Ionenbeschleunigers, um die Ionen in den ersten Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen, wobei die Ionen reflektiert werden, um n-mal von dem einen der Ionenspiegel zu dem anderen der Ionenspiegel zu gehen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während $\geq 60\%$ dieser n Male nicht räumlich fokussiert sind.

[0092] Es werden nun spezifische Ausführungsformen der Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben, um zum Verständnis der Erfindung beizutragen.

[0093] Fig. 3 zeigt ein Schema einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Spektrometer umfasst einen Ioneneingang **30** zum Empfangen eines Ionenstrahls **32** entlang einer Eingangsschse, einen Ionenbeschleuniger **34** zum gepulsten orthogonalen Beschleunigen der empfangenen Ionen, ein Paar von Ionenspiegeln **36** zum Reflektieren der Ionen, und einen Ionendetektor **38** zum Detektieren der Ionen. Jeder Ionenspiegel **36** umfasst eine Vielzahl von Elektroden (die entlang der X-Dimension angeordnet sind), so dass unterschiedliche Spannungen an die Elektroden angelegt werden können, um zu bewirken, dass die Ionen reflektiert werden. Die Elektroden sind in der Z-Dimension länglich, wodurch die Ionen durch jeden Spiegel mehrmals reflektiert werden können, wie es nachstehend ausführlicher beschrieben wird. Jeder Ionenspiegel kann ein zweidimensionales elektrostatisches Feld in der X-Y-Ebene bilden. Der Drift-Raum **40**, der zwischen den Ionenspiegeln **36** angeordnet ist, kann im Wesentlichen elektrisch feldfrei sein, so dass sich die Ionen, wenn sie reflektiert werden und sich in dem Raum zwischen den Ionenspiegeln bewegen, durch eine im Wesentlichen feldfreie Region hindurch bewegen.

[0094] Im Gebrauch werden Ionen dem Ioneneingang **30** entweder als ein kontinuierlicher Ionenstrahl oder intermittierend oder gepulst zugeführt. Die Ionen werden wünschenswerterweise in den Ioneneingang entlang einer Achse durchgelassen, die auf die Z-Dimension ausgerichtet ist. Dadurch kann das Tastverhältnis des Instruments hoch bleiben. Es wird jedoch in Betracht gezogen, dass die Ionen entlang einer Eingangsschse eingeführt werden könnten, die auf die Y-Dimension ausgerichtet ist. Die Ionen gehen vom Ioneneingang zum Ionenbeschleuniger **34**, der die Ionen (z. B. periodisch) in der X-Dimension pulst, so dass sich Pakete von Ionen **31** in der X-Dimension in Richtung auf und in einen ersten der Ionenspie-

gel **36** bewegen. Die Ionen behalten eine Geschwindigkeitskomponente in der Z-Dimension von derjenigen, die sie hatten, als sie in den Ionenbeschleuniger **34** gingen, oder erhalten eine derartige Geschwindigkeitskomponente in der Z-Dimension (z. B. falls das Ion in den Ionenbeschleuniger entlang der Y-Dimension eingetreten ist). Somit werden die Ionen in die Flugzeitregion **40** des Instruments mit einem kleinen Neigungswinkel zur X-Dimension mit einer größeren Geschwindigkeitskomponente in der X-Dimension in Richtung auf den Ionenspiegel **36** und einer kleineren Geschwindigkeitskomponente in der Z-Dimension in Richtung auf den Detektor **38** eingeschossen.

[0095] Die Ionen gehen in einen ersten der Ionenspiegel und werden zurück in Richtung auf den zweiten der Ionenspiegel reflektiert. Die Ionen gehen durch die feldfreie Region **40** zwischen den Spiegeln **38**, während sie sich in Richtung auf den zweiten Ionenspiegel bewegen, und sie trennen sich gemäß ihren Masse-/Ladungsverhältnissen, wie es bei Flugzeit-Massenanalytoren bekannt ist. Die Ionen treten dann in den zweiten Spiegel ein und werden zurück auf den ersten Ionenspiegel reflektiert, wobei sie wieder durch die feldfreie Region zwischen den Spiegeln hindurchgehen, während sie sich in Richtung auf den ersten Ionenspiegel bewegen. Der erste Ionenspiegel reflektiert dann die Ionen zurück auf den zweiten Ionenspiegel. Dies geht weiter, und die Ionen werden kontinuierlich zwischen den beiden Ionenspiegeln reflektiert, während sie entlang der Vorrichtung in der Z-Dimension driften, bis die Ionen auf den Ionendetektor stoßen. Die Ionen folgen daher einer im Wesentlichen sinusförmigen mittleren Trajektorie innerhalb der X-Z-Ebene zwischen der Ionenquelle und dem Ionendetektor. Obwohl vier Ionenreflexionen in **Fig. 3** gezeigt sind, werden andere Anzahlen von Ionenreflexionen in Betracht gezogen, wie es hier an anderer Stelle beschrieben wird.

[0096] Die Zeit, die zwischen dem Zeitpunkt, zu dem ein gegebenes Ion vom Ionenbeschleuniger gepulst wird, bis zu dem Zeitpunkt, zu dem das Ion detektiert wird, verstreicht, kann bestimmt und zusammen mit der Kenntnis der Flugweglänge verwendet werden, um das Masse-/Ladungsverhältnis dieses Ions zu berechnen.

[0097] Wie zuvor beschrieben, wenn hier auf das Tastverhältnis Bezug genommen wird, bezieht es sich auf das Verhältnis von D/L (prozentual), wobei **D** die Länge in der Z-Dimension des Ionenpakets **31** ist, wenn es durch den Ionenbeschleuniger **34** orthogonal beschleunigt wird (d. h. die Länge in der Z-Dimension der orthogonalen Beschleunigungsregion des Ionenbeschleunigers **31**), und **L** die Entfernung in der Z-Dimension vom Mittelpunkt der orthogonalen Beschleunigungsregion des Ionenbeschleunigers **34** zum Mittelpunkt der Detektionsregion des Ionendetektors **38** ist.

[0098] Es wird keine Fokussierung der Ionen in der Z-Dimension zwischen den Ionenspiegeln bereitgestellt, z. B. gibt es keine periodischen Linsen, welche die Ionen in der Z-Dimension fokussieren. Somit expandiert jedes Paket von Ionen in der Z-Dimension, wenn es sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegt. MR-TOF-MS-Instrumente waren herkömmlicherweise bemüht, eine hohe Anzahl von Reflexionen zwischen den Ionenspiegeln. Daher wurde es herkömmlicherweise als notwendig angesehen, eine Fokussierung in der Z-Dimension zwischen den Ionenspiegeln bereitzustellen, um zu verhindern, dass die Breite des Ionenpakets so weit abweicht, dass es größer als die Detektorbreite wird, wenn es die hohe Anzahl von Spiegelungen beendet und den Detektor erreicht hat. Dies wurde als notwendig angesehen, um eine annehmbare Empfindlichkeit und damit Empfindlichkeit des Instruments zu bewahren. Falls die Ionenpakete in der Z-Dimension zu sehr abweichen, kann es auch sein, dass dann einige Ionen, die nur mit einer ersten Häufigkeit reflektiert wurden, den Detektor erreichen, wohingegen andere Ionen, die öfter reflektiert wurden, den Detektor erreichen können. Daher kann es sein, dass die Ionen sehr unterschiedliche Flugweglängen durch die feldfreie Region hindurch auf dem Weg zum Detektor aufweisen, was bei Flugzeit-Massenanalytoren unerwünscht ist. Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben jedoch festgestellt, dass wenn der Ionenflugweg innerhalb des Instruments relativ klein gehalten wird und das Tastverhältnis (d. h. D/L) relativ hoch angelegt wird, die Fokussierung in der Z-Dimension dann entfallen kann.

[0099] Daher wird die Entfernung S zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln relativ klein gehalten, und die Entfernung W, welche die Ionen in der Z-Dimension vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen, wird relativ klein gehalten.

[0100] Es wird in Betracht gezogen, dass Kollimatoren bereitgestellt werden können, um die Ionenpakete in der Z-Dimension zu kollimieren, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen. Dies stellt sicher, dass alle Ionen die gleiche Anzahl von Reflexionen in den Ionenspiegeln zwischen dem Ionenbeschleuniger und dem Detektor ausführen (d. h. verhindert Einfaltungen am Detektor).

[0101] Wahlweise kann jeder Ionenspiegel mindestens vier Elektroden aufweisen, an die vier verschiedene (nicht geerdete) Spannungen angelegt werden. Jeder Ionenspiegel kann zusätzliche Elektroden umfassen, die geerdet sein können oder auf den gleichen Spannungen wie andere Elektroden in dem Spiegel gehalten werden können. Jeder Spiegel weist wahlweise mindestens vier Elektroden auf, die derart angeordnet und konfiguriert sind, dass die Flugzeit-Ionenfokussierung erster Ordnung von der Position der Ionen in der Y-Z-Ebene im Wesentlichen

unabhängig ist, d. h. von der Position der Ionen sowohl in der Y-Dimension als auch in der Z-Dimension (für die Näherung erster Ordnung) unabhängig ist. **Fig. 3** zeigt beispielhafte Spannungen, die an die Elektroden eines der Ionenspiegel angelegt werden können. Obwohl dies nicht abgebildet ist, können die gleichen Spannungen an den anderen Ionenspiegel symmetrisch angelegt werden. Beispielsweise wird die Eingangselektrode jedes Ionenspiegels auf einer Drift-Spannung (z. B. -5 kV) gehalten, wodurch eine feldfreie Region zwischen den Ionenspiegeln bewahrt wird. Eine Elektrode weiter in den Ionenspiegel hinein kann auf einer niedrigeren (oder je nach Ionenpolarität höheren) Spannung (z.B. -10 kV) gehalten werden. Eine Elektrode weiter in den Ionenspiegel hinein kann auf der Drift-Spannung (z. B. -5 kV) gehalten werden. Eine Elektrode weiter in den Ionenspiegel hinein kann auf einer niedrigeren (oder höheren) Spannung (z.B. -10 kV) gehalten werden. Eine oder mehrere Elektroden weiter in den Ionenspiegel hinein können auf einer oder mehreren höheren, wahlweise allmählich höheren, Spannungen (z. B. 11 kV und +2 kV) gehalten werden, um die Ionen zurück aus dem Spiegel zu reflektieren.

[0102] Der Ioneneingang kann Ionen von einer Ionenführung **33** empfangen, die beispielsweise die Ionen in der Y-Dimension und/oder X-Dimension, z. B. unter Verwendung eines Schlitzkollimators, kollimieren kann. Die Ionenführung kann z. B. auf $\geq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 110\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder $\geq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ erhitzt werden.

[0103] Es wird in Betracht gezogen, dass der Ionenstrahl in der Y-Dimension und/oder X-Dimension expandiert werden kann, bevor er in den Ionenbeschleuniger **34** eintritt. Alternativ oder zusätzlich können die Ionen in der Z-Dimension getrennt werden, bevor sie in den Ionenbeschleuniger **34** eintreten.

[0104] Die Elektroden des Ionenbeschleunigers **34** können z. B. auf $\geq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 110\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder $\geq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ erhitzt werden. Alternativ oder zusätzlich kann ein gitterloser Ionenbeschleuniger verwendet werden. Wenn der Ionenbeschleuniger erhitzt wird, dann ist ein gitterloser Ionenbeschleuniger nicht von einem Durchhängen des Gitters betroffen, das ansonsten durch das Erhitzen verursacht würde.

[0105] Das Erhitzen der diversen Bestandteile, wie hier beschrieben, kann dazu beitragen, eine Schnittstellenladung zu reduzieren.

[0106] Obwohl der Ionenbeschleuniger **34** beschrieben wurde, wie er einen Ionenstrahl empfängt, wird in Betracht gezogen, dass der Ionenbeschleuniger alternativ eine gepulste Ionenquelle umfassen kann.

[0107] **Fig. 4** zeigt eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Diese Ausführungsform ist im Wesentlichen die gleiche wie die in **Fig. 3** gezeigte, außer dass sich der Detektor **38** auf der gleichen Seite des Instruments (in der Z-Dimension) wie der Ionenbeschleuniger **34** befindet, und das Instrument eine Reflexionselektrode **42** umfasst, um die Ionen zurück in der Z-Dimension auf den Detektor **38** zu reflektieren. Im Gebrauch gehen die Ionen wie in **Fig. 3** durch das Instrument und werden zwischen den Ionenspiegeln **36** mehrmals reflektiert, während sie in eine erste Richtung in der Z-Dimension gehen. Nach einer Anzahl von Reflexionen gehen die Ionen zu der Reflexionselektrode **42**, die zwischen den Ionenspiegeln angeordnet sein kann. Die Reflexionselektrode **42** reflektiert die Ionen zurück in der Z-Dimension, so dass sie in einer zweiten Richtung driften, die der ersten Richtung entgegengesetzt ist. Wenn die Ionen in der zweiten Richtung driften, werden sie weiter zwischen den Ionenspiegeln **36** reflektiert, bis sie auf den Ionendetektor **38** stoßen. Die vorliegende Ausführungsform ermöglicht es im Vergleich zu der Ausführungsform aus **Fig. 3**, dass eine größere Anzahl von Reflexionen in einem gegebenen physischen Raum vorkommt. Es wird in Betracht gezogen, dass die Ionen in der Z-Dimension ein oder mehrere weitere Male reflektiert werden könnten, und dass der Detektor geeignet platziert wäre, um Ionen nach diesen ein oder mehreren weiteren Z-Reflexionen zu empfangen.

[0108] **Fig. 5A-5B** zeigen die Auflösung und das Tastverhältnis, die für MR-TOF-MS-Instrumente unterschiedlicher Größe modelliert sind (d. h. die verschiedene W- und S-Entfernungen aufweisen) und keine Fokussierung in der Z-Dimension aufweisen. Die Daten sind für Ionen modelliert, die eine Energie in der feldfreien Region zwischen den Spiegeln von 9,2 keV aufweisen.

[0109] **Fig. 6A-6B** zeigen Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 5A-5B** gezeigt werden, außer dass die Daten für Ionen modelliert sind, die eine Energie in der feldfreien Region zwischen den Spiegeln von 6 keV aufweisen.

[0110] **Fig. 7** zeigt Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 5A-5B** gezeigt werden, außer dass die Daten für Ionen modelliert sind, die eine Energie in der feldfreien Region zwischen den Spiegeln von 3 keV, 4 keV und 5 keV aufweisen.

[0111] **Fig. 8** zeigt Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in **Fig. 5A-5B** gezeigt werden, außer dass die Daten für Ionen modelliert sind, die in den Spiegeln fünfmal reflektiert werden und eine Energie in der feldfreien Region zwischen den Spiegeln zwischen 4 bis 10 keV aufweisen.

[0112] Fig. 9 zeigt Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in Fig. 8 gezeigt werden, außer dass die Daten für Ionen modelliert sind, die in den Spiegeln sechsmal reflektiert werden.

[0113] Fig. 10 zeigt Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in Fig. 5A-5B gezeigt werden, außer dass die Daten ist modelliert sind, um ein Tastverhältnis von etwa 10 % zu erreichen.

[0114] Fig. 11 zeigt Daten für Parameter, die denjenigen entsprechen, die in Fig. 5A-5B gezeigt werden, für Instrumente mittlerer Größe.

[0115] Obwohl die vorliegende Erfindung mit Bezug auf bevorzugte Ausführungsformen beschrieben wurde, wird der Fachmann verstehen, dass diverse Änderungen von Form und Einzelheiten vorgenommen werden können, ohne den Umfang der Erfindung zu verlassen, wie er in den beiliegenden Ansprüchen dargelegt wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2005/001878 [0005, 0036]

Patentansprüche

1. Mehrfach reflektierender Flugzeit-Massenanalysator, umfassend:

einen Ionenbeschleuniger;

zwei Ionenspiegel, die angeordnet sind, um Ionen in einer ersten Dimension (X-Dimension) zu reflektieren, und die in einer zweiten Dimension (Z-Dimension) länglich sind; und

einen Ionendetektor;

wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionen in einen ersten der Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen;

wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) nicht räumlich fokussiert sind, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen; und

wobei der Massenanalysator ein Tastverhältnis von $\geq 5\%$, eine Auflösung von ≥ 20000 aufweist, wobei die Entfernung in der ersten Dimension (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ≤ 1000 mm ist; und wobei der Massenanalysator derart konfiguriert ist, dass die Ionen eine Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor von ≤ 700 mm zurücklegen.

2. Massenanalysator nach Anspruch 1, wobei jeder Spiegel mindestens vier Elektroden aufweist, die angeordnet und konfiguriert sind, so dass die Flugzeitlonenfokussierung erster Ordnung von der Position der Ionen in der Ebene, die zu der ersten Dimension (Y-Z-Ebene) orthogonal ist, im Wesentlichen unabhängig ist.

3. Massenanalysator nach Anspruch 1 oder 2, gekoppelt mit einer Ionenquelle, um dem Ionenbeschleuniger Ionen zuzuführen, wobei die Ionenquelle derart angeordnet ist, dass der Ionenbeschleuniger Ionen aus der Ionenquelle empfängt, die sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen.

4. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Massenanalysator ein Tastverhältnis von $\geq 10\%$ aufweist.

5. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Massenanalysator derart konfiguriert ist, dass die Ionen eine erste Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen, wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionenpakete zu pulsen, die eine anfängliche Länge in der zweiten Dimension (Z-Dimension) aufweisen, und wobei die erste Entfernung und die anfängliche

länge derart sind, dass das Spektrometer ein Tastverhältnis von $\geq 5\%$ aufweist.

6. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Massenanalysator eine Auflösung von ≥ 30000 aufweist.

7. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor eine ist von: ≤ 650 mm; ≤ 600 mm; ≤ 550 mm; ≤ 500 mm; ≤ 480 mm; ≤ 460 mm; ≤ 440 mm; ≤ 420 mm; ≤ 400 mm; ≤ 380 mm; ≤ 360 mm; ≤ 340 mm; ≤ 320 mm; ≤ 300 mm; ≤ 280 mm; ≤ 260 mm; ≤ 240 mm; ≤ 220 mm; oder ≤ 200 mm; und/oder wobei die erste Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor eine ist von: ≥ 100 mm; ≥ 120 mm; ≥ 140 mm; ≥ 160 mm; ≥ 180 mm; ≥ 200 mm; ≥ 220 mm; ≥ 240 mm; ≥ 260 mm; ≥ 280 mm; ≥ 300 mm; ≥ 320 mm; ≥ 340 mm; ≥ 360 mm; ≥ 380 mm; oder ≥ 400 mm.

8. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ist: ≤ 950 mm; ≤ 900 mm; ≤ 850 mm; ≤ 800 mm; ≤ 750 mm; ≤ 700 mm; ≤ 650 mm; ≤ 600 mm; ≤ 550 mm; ≤ 500 mm; ≤ 450 mm; oder ≤ 400 mm; und/oder wobei die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ist: ≥ 350 mm; ≥ 360 mm; ≥ 380 mm; ≥ 400 mm; ≥ 450 mm; ≥ 500 mm; ≥ 550 mm; ≥ 600 mm; ≥ 650 mm; ≥ 700 mm; ≥ 750 mm; ≥ 800 mm; ≥ 850 mm; oder ≥ 900 mm.

9. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ionenbeschleuniger, die Ionenspiegel und der Detektor angeordnet und konfiguriert sind, so dass die Ionen mindestens x-mal durch die Ionenspiegel reflektiert werden, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen;

wobei x: ≥ 2 , ≥ 3 , ≥ 4 , ≥ 5 , ≥ 6 , ≥ 7 , ≥ 8 , ≥ 9 , ≥ 10 , ≥ 11 , ≥ 12 , ≥ 13 , ≥ 14 , oder ≥ 15 ; und/oder

wobei x: ≤ 15 ; ≤ 14 ; ≤ 13 ; ≤ 12 ; ≤ 11 ; ≤ 10 ; ≤ 9 ; ≤ 8 ; ≤ 7 ; ≤ 6 ; ≤ 5 ; ≤ 4 ; ≤ 3 ; oder ≤ 2 ; und/oder

wobei x 3 bis 10 ist; wobei x 4 bis 9 ist; wobei x 5 bis 10 ist; wobei x 3 bis 6 ist; wobei x 4 bis 5 ist; oder wobei x 5 bis 6 ist.

10. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ionen zwischen 100 mm und 450 mm in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen;

wobei die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln zwischen 350 und 950 mm liegt; und

wobei die Ionen zwischen 2- und 15-mal durch die Ionenspiegel reflektiert werden, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen.

11. Massenanalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 9:

wobei die Ionen zwischen 150 mm und 400 mm in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen;

wobei die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln zwischen 400 und 900 mm liegt; und

wobei die Ionen zwischen 3- und 10-mal durch die Ionenspiegel reflektiert werden, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen.

12. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche:

wobei die Ionen zwischen 100 mm und 400 mm in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor zurücklegen;

wobei die Entfernung in der ersten Richtung (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln zwischen 300 und 700 mm liegt; und

wobei die Ionen zwischen 3- und 6-mal durch die Ionenspiegel reflektiert werden, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen.

13. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

wobei sich die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) mit einer Energie bewegen von: ≤ 140 eV; ≤ 120 eV; ≤ 100 eV; ≤ 90 eV; ≤ 80 eV; ≤ 70 eV; ≤ 60 eV; ≤ 50 eV; ≤ 40 eV; ≤ 30 eV; ≤ 20 eV; oder ≤ 10 eV; und/oder

wobei sich die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) mit einer Energie bewegen von: ≥ 120 eV; ≥ 100 eV; ≥ 90 eV; ≥ 80 eV; ≥ 70 eV; ≥ 60 eV; ≥ 50 eV; ≥ 40 eV; ≥ 30 eV; ≥ 20 eV; oder ≥ 10 eV.

14. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ionenbeschleuniger konfiguriert ist, um ein elektrisches Feld von y V/mm zum Beschleunigen der Ionen zu generieren;

wobei y : ≥ 700 ; ≥ 650 ; ≥ 600 ; ≥ 580 ; ≥ 560 ; ≥ 540 ; ≥ 520 ; ≥ 500 ; ≥ 480 ; ≥ 460 ; ≥ 440 ; ≥ 420 ; ≥ 400 ; ≥ 380 ; ≥ 360 ; ≥ 340 ; ≥ 320 ; ≥ 300 ; ≥ 280 ; ≥ 260 ; ≥ 240 ; ≥ 220 ; oder ≥ 200 ; und/oder

wobei y : ≤ 700 ; ≤ 650 ; ≤ 600 ; ≤ 580 ; ≤ 560 ; ≤ 540 ; ≤ 520 ; ≤ 500 ; ≤ 480 ; ≤ 460 ; ≤ 440 ; ≤ 420 ; ≤ 400 ; ≤ 380 ; ≤ 360 ; ≤ 340 ; ≤ 320 ; ≤ 300 ; ≤ 280 ; ≤ 260 ; ≤ 240 ; ≤ 220 ; oder ≤ 200 .

15. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Region, die im Wesentlichen frei von elektrischen Feldern ist, zwischen den Ionenspiegeln angeordnet ist, so dass sich die

Ionen, wenn sie zwischen den Ionenspiegeln reflektiert werden, durch diese Region hindurch bewegen.

16. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ionen eine kinetische Energie E aufweisen, wenn sie sich zwischen den Ionenspiegeln und/oder in der Region, die im Wesentlichen frei von elektrischen Feldern ist, befinden;

wobei E : ≥ 1 keV; ≥ 2 keV; ≥ 3 keV; ≥ 4 keV; ≥ 5 keV; ≥ 6 keV; ≥ 7 keV; ≥ 8 keV; ≥ 9 keV; ≥ 10 keV; ≥ 11 keV; ≥ 12 keV; ≥ 13 keV; ≥ 14 keV; oder 15 keV; und/oder wobei E : ≤ 15 keV; ≤ 14 keV; ≤ 13 keV; ≤ 12 keV; ≤ 11 keV; ≤ 10 keV; ≤ 9 keV; ≤ 8 keV; ≤ 7 keV; ≤ 6 keV; oder ≤ 5 keV; und/oder zwischen 5 und 10 keV ist.

17. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekoppelt mit einer Ionenführung zum Führen von Ionen in den Ionenbeschleuniger und einem Heizelement zum Erhitzen der Ionenführung.

18. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend ein Heizelement zum Erhitzen der Elektroden des Ionenbeschleunigers.

19. Massenanalysator nach Anspruch 17 oder 18, umfassend ein Heizelement, das angeordnet und konfiguriert ist, um die Ionenführung und/oder den Beschleuniger auf eine Temperatur zu erhitzen von: ≥ 100 °C, ≥ 110 °C, ≥ 120 °C, ≥ 130 °C, ≥ 140 °C, oder ≥ 150 °C.

20. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ionenbeschleuniger ein gitterloser Ionenbeschleuniger ist.

21. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekoppelt mit einem Kollimator zum Kollimieren der Ionen, die in Richtung auf den Ionenbeschleuniger gehen, wobei der Kollimator konfiguriert ist, um Ionen in der ersten Dimension (X-Dimension) und/oder einer Dimension (Y-Dimension), die sowohl zu der ersten als auch der zweiten Dimension orthogonal ist, zu kollimieren.

22. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekoppelt mit einer Ionoptik, die angeordnet und konfiguriert ist, um den Ionenstrahl, der in Richtung auf den Ionenbeschleuniger geht, in der ersten Dimension (X-Dimension) und/oder einer Dimension (Y-Dimension), die sowohl zu der ersten als auch der zweiten Dimension orthogonal ist, zu expandieren.

23. Massenanalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekoppelt mit einer Ionentrennwand, um Ionen räumlich oder gemäß einem Masse-/Ladungsverhältnis oder einer Ionenmobilität in der zweiten Dimension (Z-Dimension) zu trennen, bevor die Ionen in den Ionenbeschleuniger eintreten.

24. Mehrfach reflektierender Flugzeit-Massenanalysator, umfassend:
 einen Ionenbeschleuniger;
 zwei Ionenspiegel, die angeordnet sind, um Ionen in einer ersten Dimension (X-Dimension) zu reflektieren, und die in einer zweiten Dimension (Z-Dimension) länglich sind; und
 einen Ionendetektor;
 wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionen in einen ersten der Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen; und
 wobei die Ionen reflektiert werden, um n-mal von dem einen der Ionenspiegel zu dem anderen der Ionenspiegel zu gehen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während $\geq 60\%$ dieser n Male nicht räumlich fokussiert sind.

25. Massenanalysator nach Anspruch 24, wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während $\geq 65\%$, $\geq 70\%$, $\geq 75\%$, $\geq 80\%$, $\geq 85\%$, $\geq 90\%$ oder $\geq 95\%$ der n Male nicht räumlich fokussiert sind.

26. Massenanalysator nach Anspruch 24 oder 25, wobei der Massenanalysator ein Tastverhältnis von $\geq 5\%$ aufweist.

27. Massenanalysator nach Anspruch 24, 25 oder 26, wobei der Massenanalysator eine Auflösung von ≥ 20000 aufweist.

28. Massenanalysator nach einem der Ansprüche 24 bis 27, wobei die Entfernung in der ersten Dimension (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ≤ 1000 mm ist.

29. Massenanalysator nach einem der Ansprüche 24 bis 28, wobei der Massenanalysator derart konfiguriert ist, dass die Ionen eine Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor von ≤ 700 mm zurücklegen.

30. Mehrfach reflektierender Flugzeit-Massenanalysator, umfassend:
 einen Ionenbeschleuniger;
 zwei Ionenspiegel, die angeordnet sind, um Ionen in einer ersten Dimension (X-Dimension) zu reflektieren, und die in einer zweiten Dimension (Z-Dimension) länglich sind; und
 einen Ionendetektor;
 wobei der Ionenbeschleuniger angeordnet und konfiguriert ist, um Ionen in einen ersten der Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wie-

derholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen.

31. Verfahren zur Flugzeit-Massenanalyse, umfassend folgende Schritte:
 Bereitstellen eines Massenanalysators nach einem der Ansprüche 1 bis 23; und
 Steuern des Ionenbeschleunigers, um die Ionen in den ersten Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen, wobei die Entfernung in der ersten Dimension (X-Dimension) zwischen den Reflexionspunkten in den beiden Ionenspiegeln ≤ 1000 mm ist, wobei die Ionen eine Entfernung in der zweiten Dimension (Z-Dimension) vom Ionenbeschleuniger zum Detektor von ≤ 700 mm zurücklegen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) nicht räumlich fokussiert sind, während sie sich vom Ionenbeschleuniger zum Detektor bewegen;
 wobei die Ionen durch den Detektor detektiert werden und eine Flugzeit-Massenanalyse mit einem Tastverhältnis von $\geq 5\%$ und einer Auflösung von ≥ 20000 erfahren.

32. Verfahren zur Flugzeit-Massenanalyse, umfassend folgende Schritte:
 Bereitstellen eines Massenanalysators nach einem der Ansprüche 24 bis 29; und
 Steuern des Ionenbeschleunigers, um die Ionen in den ersten Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen,
 wobei die Ionen reflektiert werden, um n-mal von dem einen der Ionenspiegel zu dem anderen der Ionenspiegel zu gehen, und wobei die Ionen in der zweiten Dimension (Z-Dimension) während $\geq 60\%$ dieser n Male nicht räumlich fokussiert sind.

33. Verfahren zur Flugzeit-Massenanalyse, umfassend folgende Schritte:
 Bereitstellen eines Massenanalysators nach Anspruch 30; und
 Steuern des Ionenbeschleunigers, um die Ionen in den ersten Ionenspiegel in einem Winkel zu der ersten Dimension zu beschleunigen, so dass die Ionen zwischen den Ionenspiegeln in der ersten Dimension (X-Dimension) wiederholt reflektiert werden, während sie sich in der zweiten Dimension (Z-Dimension) bewegen.

Es folgen 26 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

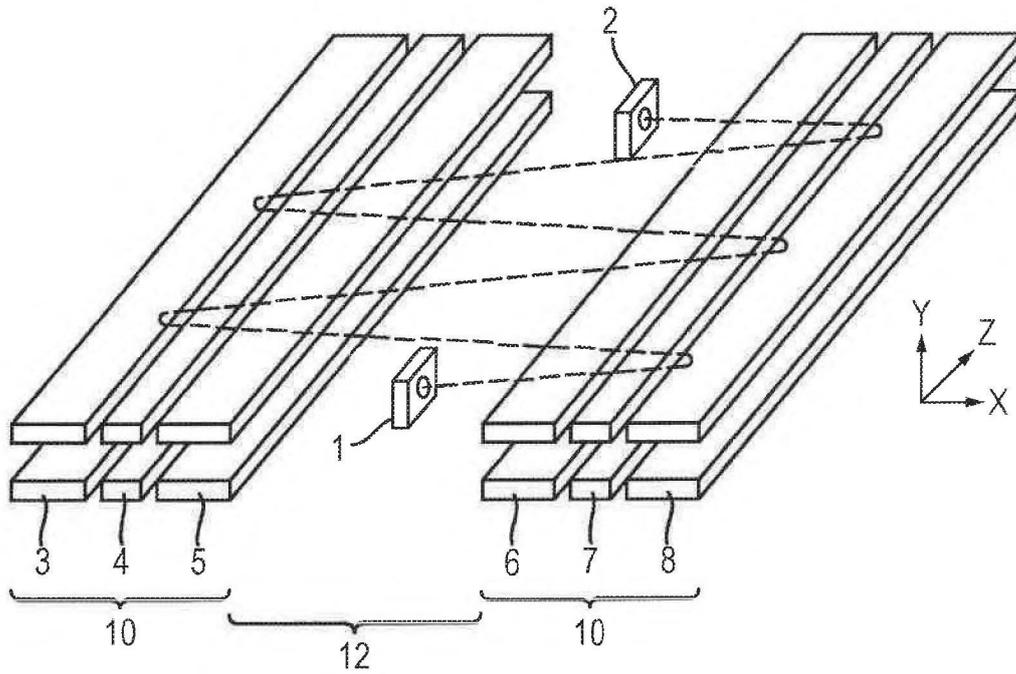


Fig. 2

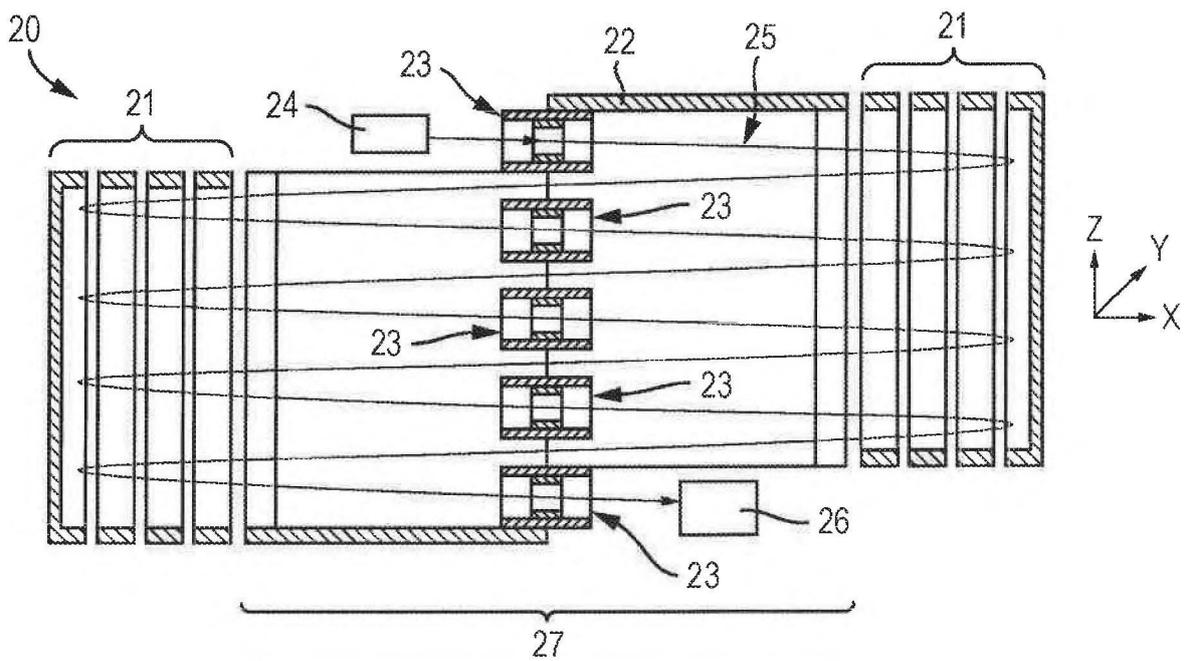


Fig. 3

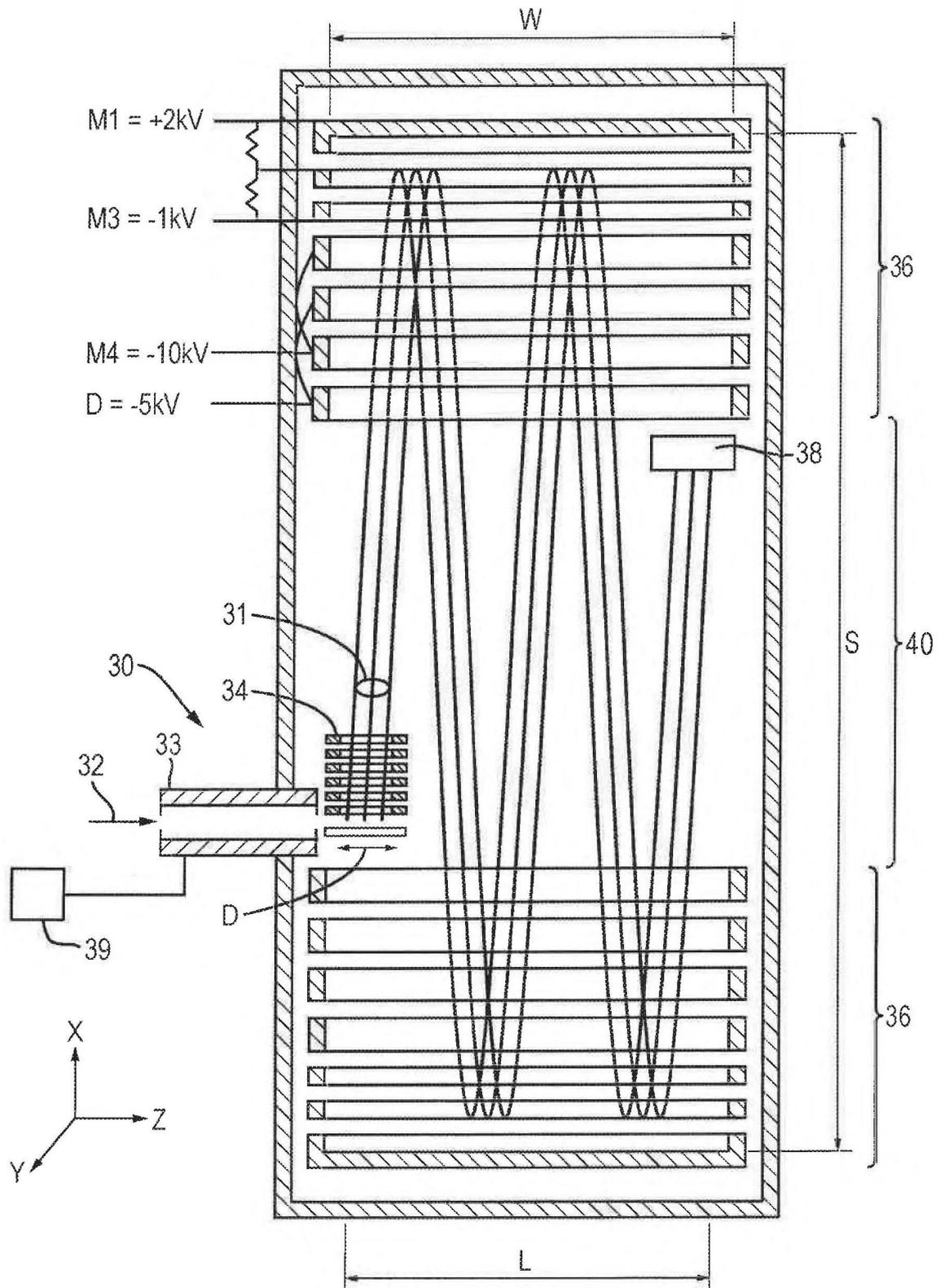


Fig. 4

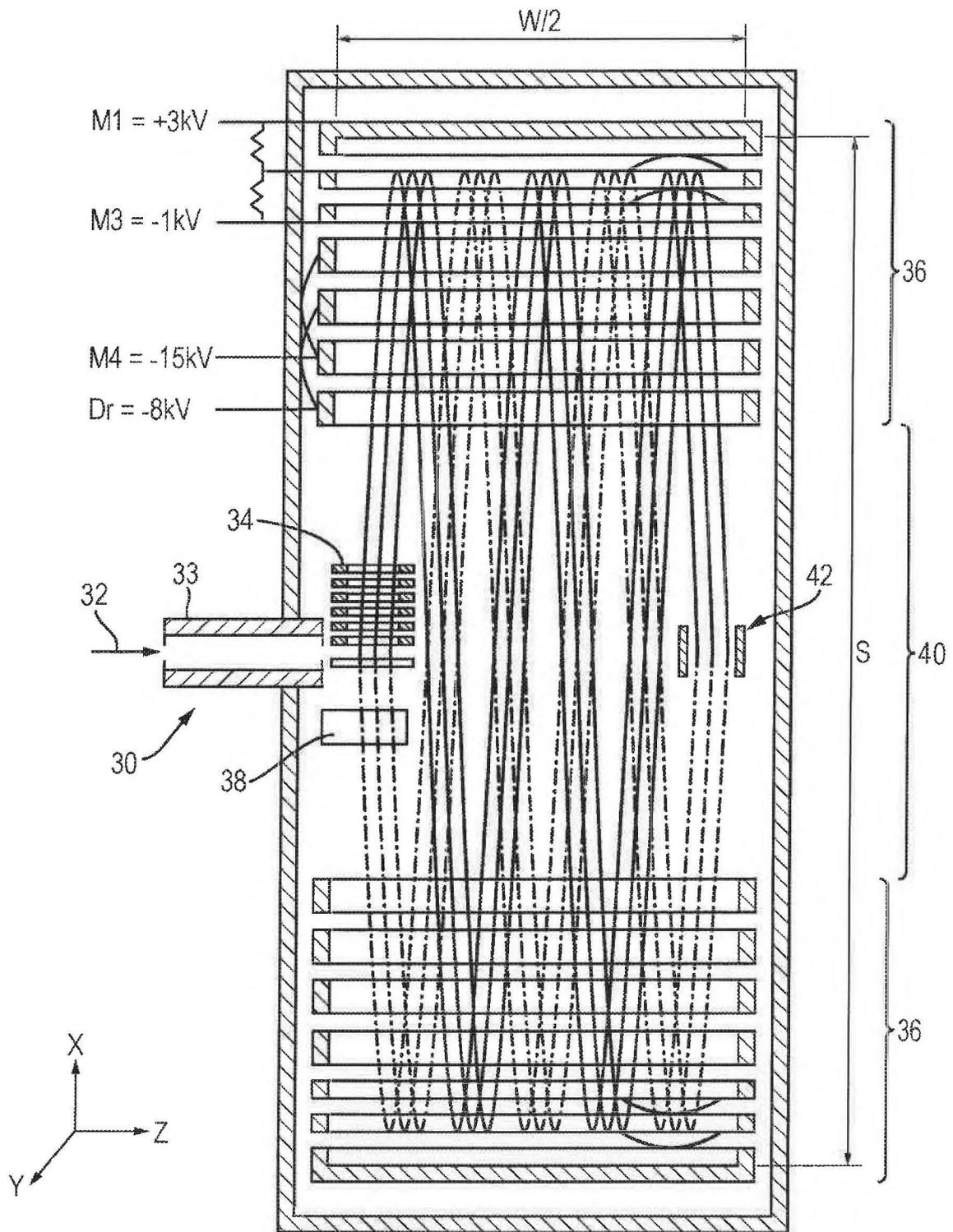


Fig. 5A

(Rk=250K)

Variante Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Systemgröße (mm)		200x500							
Parameter	Auflösung, K	10	14	20	27	10	13	15	
	Tastverhältnis	21,3%	14,9%	9,8%	5,7%	21,3%	16,0%	12,8%	
Größe	Reflexionen	2	3	4	5	2	3	4	
	Länge L, mm	400	400	400	400	400	400	400	
	Breite W, mm	150	150	150	150	200	200	200	
TOF	Energie in TOF, eV	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	
	V tof, mm/us	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	
	Leff, mm	1200	1600	2000	2400	1200	1600	2000	
	TOF, us	28	37	47	56	28	37	47	
Strahl	Z-Energie, eV	100	80	50	30	100	100	100	
	V-Strahl, mm/us	4,47	4,00	3,16	2,45	4,47	4,47	4,47	
Trajektorie	Z-Schritt, mm	42	37	29	23	42	42	42	
	Neigung, mrad	104	93	74	57	104	104	104	
	Neigung, deg	6,1	5,5	4,3	3,4	6,1	6,1	6,1	
	Spiegel-Z-Kante, mm	33	19	16	18	58	37	17	
OA	Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
	Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17	
	OA-Länge	27	22	14	8	27	27	27	
	OA-Zeit, us	5,97	5,58	4,58	3,20	5,97	5,97	5,97	
	Tastverhältnis	0,213	0,149	0,098	0,057	0,213	0,160	0,128	
dK	Beschleunigerfeld, V/mm	600	600	600	600	600	600	580	
	dK, eV	720	720	720	720	720	720	696	
R(6%) 250000	dK/K	7,83%	7,83%	7,83%	7,83%	7,83%	7,83%	7,57%	
	Res(dK)	86371	86371	86371	86371	86371	86371	98914	
	dT(dK)	0,16	0,22	0,27	0,32	0,16	0,22	0,24	
Pakete	Vx, m/s	76,03	68,00	53,76	41,64	76,03	76,03	76,03	
	Bearbeitungszeit, ns	1,27	1,13	0,90	0,69	1,27	1,27	1,31	
	DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
Auflösung	FWHM, ns	1,46	1,35	1,17	1,04	1,46	1,46	1,50	
	Auflösung	9603	13820	19949	26962	9603	12742	15495	
Gitter	Winkel, mrad	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,30	
	Y-Spanne, mm	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,77	
	Leff	1,2	1,6	2	2,4	1,2	1,6	2	
	Quadrat	0,1	0,1	0,1	0,1	0,125	0,125	0,125	
	Auflösung	9603	13820	19949	26962	9603	12742	15495	
	Tastverhältnis	0,213	0,149	0,098	0,057	0,213	0,160	0,128	
	Transm OA	1	1	1	0,6	1	1	1	
	Res*DC*Transm	2050	2066	1960	925,6	2050	2040	1984	

Fig. 5A (Fortsetzung I)

9	10	11	12 #	14	15	16	17	18	20	21	
250x500				250x700							
22	29	35	42	13	20	29	40	49	22	28	
8,9%	6,2%	4,3%	2,2%	28,5%	19,5%	13,4%	8,2%	5,7%	16,3%	13,1%	
5	6	7	8	2	3	4	5	6	4	5	
400	400	400	400	600	600	600	600	600	600	600	
200	200	200	200	200	200	200	200	200	350	350	
9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	
42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	
2400	2800	3200	3600	1600	2200	2800	3400	4000	2800	3400	
56	65	75	84	37	51	65	79	93	65	79	
60	40	30	20	100	70	41	20	15	100	85	
3,46	2,83	2,45	2,00	4,47	3,74	2,86	2,00	1,73	4,47	4,12	
32	26	23	19	63	52	40	28	24	63	58	
81	66	57	47	104	87	67	47	40	104	96	
4,8	3,9	3,4	2,7	6,1	5,1	3,9	2,7	2,4	6,1	5,7	
19	21	20	25	37	21	20	30	27	50	31	
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
17	11	8	4	48	37	25	13	9	48	43	
4,99	4,02	3,20	1,83	10,63	9,98	8,75	6,49	5,33	10,63	10,35	
0,089	0,062	0,043	0,022	0,285	0,195	0,134	0,082	0,057	0,163	0,131	
580	580	580	560	600	600	600	550	530	600	600	
696	696	696	672	720	720	720	660	636	720	720	
7,57%	7,57%	7,57%	7,30%	7,83%	7,83%	7,83%	7,17%	6,91%	7,83%	7,83%	
98914	98914	98914	113820	86371	86371	86371	122327	141863	86371	86371	
0,28	0,33	0,38	0,37	0,22	0,30	0,38	0,32	0,33	0,38	0,46	
58,89	48,08	41,64	34,00	76,03	63,61	48,68	34,00	29,44	76,03	70,09	
1,02	0,83	0,72	0,61	1,27	1,06	0,81	0,62	0,56	1,27	1,17	
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
1,27	1,13	1,07	1,00	1,46	1,30	1,14	0,99	0,95	1,50	1,44	
22110	28779	34818	42078	12742	19656	28724	40093	48966	21815	27577	
6,30	6,30	6,30	6,09	6,52	6,52	6,52	5,98	5,76	6,52	6,52	
1,77	1,77	1,77	1,70	2,74	2,74	2,74	2,51	2,42	2,74	2,74	
2,4	2,8	3,2	3,6	1,6	2,2	2,8	3,4	4	2,8	3,4	
0,125	0,125	0,125	0,125	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,28	0,28	
22110	28779	34818	42078	12742	19656	28724	40093	48966	21815	27577	
0,089	0,062	0,043	0,022	0,285	0,195	0,134	0,082	0,057	0,163	0,131	
1	0,8	0,6	0,4	1	1	0,82	0,4	0,3	1	1	
1974	1418	896,5	366,009	3633	3824	3157	1313	839,2183	3554	3601	

Fig. 5A (Fortsetzung II)

22	23	24	25	26	28	29	30	31	32	33
400x700					400x1000					
35	44	53	61	70	35	48	61	75	90	105
10,4%	8,2%	6,6%	5,4%	4,3%	17,9%	13,5%	10,6%	8,4%	6,6%	5,2%
6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9
600	600	600	600	600	900	900	900	900	900	900
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200
42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90	42,90
4000	4600	5200	5800	6400	4000	4900	5800	6700	7600	8500
93	107	121	135	149	93	114	135	156	177	198
60	42	32	25	20	60	36	25	18	13	10
3,46	2,90	2,53	2,24	2,00	3,46	2,68	2,24	1,90	1,61	1,41
48	41	35	31	28	73	56	47	40	34	30
81	68	59	52	47	81	63	52	44	38	33
4,8	4,0	3,5	3,1	2,7	4,8	3,7	3,1	2,6	2,2	1,9
30	33	33	34	35	30	34	34	36	40	41
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
33	26	20	16	13	58	41	32	25	19	15
9,66	8,81	8,06	7,28	6,49	16,65	15,39	14,27	13,08	11,68	10,37
0,104	0,082	0,066	0,054	0,043	0,179	0,135	0,106	0,084	0,066	0,052
600	540	520	500	440	600	580	500	480	440	420
720	648	624	600	528	720	696	600	576	528	504
7,83%	7,04%	6,78%	6,52%	5,74%	7,83%	7,57%	6,52%	6,26%	5,74%	5,48%
86371	131643	153094	179098	298649	86371	98914	179098	210866	298649	359728
0,54	0,41	0,40	0,38	0,25	0,54	0,58	0,38	0,37	0,30	0,28
58,89	49,27	43,01	38,01	34,00	58,89	45,62	38,01	32,26	27,41	24,04
0,98	0,91	0,83	0,76	0,77	0,98	0,79	0,76	0,67	0,62	0,57
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,32	1,22	1,15	1,10	1,07	1,32	1,20	1,10	1,04	0,98	0,95
35298	43950	52543	61448	69580	35298	47564	61448	75193	90128	104816
6,52	5,87	5,65	5,43	4,78	6,52	6,30	5,43	5,22	4,78	4,57
2,74	2,47	2,37	2,28	2,01	4,11	3,97	3,42	3,29	3,01	2,88
4	4,6	5,2	5,8	6,4	4	4,9	5,8	6,7	7,6	8,5
0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
35298	43950	52543	61448	69580	35298	47564	61448	75193	90128	104816
0,104	0,082	0,066	0,054	0,043	0,179	0,135	0,106	0,084	0,066	0,052
1	0,84	0,64	0,5	0,4	1	0,72	0,5	0,36	0,26	0,2
3656	3034	2235,33	1654,06	1210,2	6303	4614	3243,24	2266,1	1544,638	1097,551

Fig. 5B

(Rk=80K)

Variante Nr.		1	2	3	4	5	6	7
Systemgröße (mm)		200x500						
Parameter	Resn, K	9	13	17	23	9	12	14
	Tastverhältnis	21,3%	14,9%	9,8%	5,7%	21,3%	16,0%	12,8%
Größe	N refl	2	3	4	5	2	3	4
	Länge L, mm	400	400	400	400	400	400	400
	Breite W, mm	150	150	150	150	200	200	200
TOF	K, eV	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200
	V tof, mm/us	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9
	Leff, mm	1200	1600	2000	2400	1200	1600	2000
	TOF, us	27,98	37,3	46,63	55,95	27,98	37,3	46,63
Strahl	Strahl, eV	100	80	50	30	100	100	100
	V-Strahl, mm/us	4,472	4	3,162	2,449	4,472	4,472	4,472
Trajektorie	Z-Schritt, mm	41,7	37,3	29,49	22,84	41,7	41,7	41,7
	Neigung, mrad	104,3	93,25	73,72	57,1	104,3	104,3	104,3
	Neigung, deg	6,133	5,485	4,337	3,359	6,133	6,133	6,133
	Spiegel-Z-Kante, mm	33,3	19,05	16,02	17,9	58,3	37,45	16,59
OA	Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17
	OA-Länge	26,7	22,3	14,49	7,842	26,7	26,7	26,7
	OA-Zeit, us	5,971	5,575	4,582	3,201	5,971	5,971	5,971
	Tastverhältnis	0,213	0,149	0,098	0,057	0,213	0,16	0,128
dK	E, V/mm	600	580	540	460	600	600	580
	dK, eV	720	696	648	552	720	720	696
R(6%)	dK/K	0,078	0,076	0,07	0,06	0,078	0,078	0,076
	80000 Res(dK)	27639	31653	42126	80000	27639	27639	31653
Pakete	dT(dK)	0,506	0,589	0,553	0,35	0,506	0,675	0,737
	Vx, m/s	76,03	68	53,76	41,64	76,03	76,03	76,03
	Bearbeitungszeit, ns	1,267	1,172	0,996	0,905	1,267	1,267	1,311
Auflösung	DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	FWHM, ns	1,534	1,487	1,337	1,197	1,534	1,597	1,659
	Auflösung	9121	12541	17438	23380	9121	11677	14056
Gitter	Winkel, mrad	6,522	6,304	5,87	5	6,522	6,522	6,304
	Y-Spanne, mm	1,826	1,765	1,643	1,4	1,826	1,826	1,765
	Leff	1,2	1,6	2	2,4	1,2	1,6	2
	Quadrat	0,1	0,1	0,1	0,1	0,125	0,125	0,125
	Auflösung	9121	12541	17438	23380	9121	11677	14056
	Tastverhältnis	0,213	0,149	0,098	0,057	0,213	0,16	0,128
	Transm OA	1	1	1	0,6	1	1	1
	Res*DC*Transm	1947	1874	1714	802,6	1947	1869	1800

Fig. 5B (Fortsetzung I)

250x500				250x700								
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
19	25	30	36	12	17	25	34	43	19	23	29	
8,9%	6,2%	4,3%	2,6%	28,5%	19,5%	13,4%	9,0%	6,0%	16,3%	13,2%	10,5%	
5	6	7	8	2	3	4	5	6	4	5	6	
400	400	400	400	600	600	600	600	600	600	600	600	
200	200	200	200	200	200	200	200	200	350	350	350	
9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	
42,9	42,9	42,9	42,8952	42,9	42,9	42,9	42,9	42,89522	42,9	42,9	42,9	
2400	2800	3200	3600	1600	2200	2800	3400	4000	2800	3400	4000	
55,95	65,28	74,6	83,9254	37,3	51,29	65,28	79,26	93,25048	65,28	79,26	93,25	
60	40	30	22	100	70	41	24	16	100	90	65	
3,464	2,828	2,449	2,09762	4,472	3,742	2,864	2,191	1,788854	4,472	4,243	3,606	
32,3	26,38	22,84	19,5604	62,55	52,34	40,05	30,65	25,02173	62,55	59,34	50,43	
80,76	65,94	57,1	48,901	104,3	87,23	66,76	51,08	41,70288	104,3	98,91	84,05	
4,75	3,879	3,359	2,87653	6,133	5,131	3,927	3,004	2,453111	6,133	5,818	4,944	
19,24	20,87	20,05	21,7585	37,45	21,49	19,89	23,39	24,93481	49,89	26,64	23,7	
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
17,3	11,38	7,842	4,56039	47,55	37,34	25,05	15,65	10,02173	47,55	44,34	35,43	
4,995	4,022	3,201	2,17408	10,63	9,979	8,749	7,141	5,602317	10,63	10,45	9,827	
0,089	0,062	0,043	0,0259	0,285	0,195	0,134	0,09	0,060078	0,163	0,132	0,105	
530	480	450	420	600	540	500	450	420	530	510	480	
636	576	540	504	720	648	600	540	504	636	612	576	
0,069	0,063	0,059	0,05478	0,078	0,07	0,065	0,059	0,054783	0,069	0,067	0,063	
45396	67477	87352	115113	27639	42126	57311	87352	115112,9	45396	52947	67477	
0,616	0,484	0,427	0,36454	0,675	0,609	0,569	0,454	0,405039	0,719	0,749	0,691	
58,89	48,08	41,64	35,6595	76,03	63,61	48,68	37,25	30,41052	76,03	72,12	61,29	
1,111	1,002	0,925	0,84904	1,267	1,178	0,974	0,828	0,72406	1,434	1,414	1,277	
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
1,451	1,314	1,236	1,1592	1,597	1,499	1,327	1,175	1,085504	1,751	1,747	1,612	
19285	24832	30169	36199,7	11677	17103	24586	33726	42952,61	18644	22692	28926	
5,761	5,217	4,891	4,56522	6,522	5,87	5,435	4,891	4,565217	5,761	5,543	5,217	
1,613	1,461	1,37	1,27826	2,739	2,465	2,283	2,054	1,917391	2,42	2,328	2,191	
2,4	2,8	3,2	3,6	1,6	2,2	2,8	3,4	4	2,8	3,4	4	
0,125	0,125	0,125	0,125	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,28	0,28	0,28	
19285	24832	30169	36199,7	11677	17103	24586	33726	42952,61	18644	22692	28926	
0,089	0,062	0,043	0,0259	0,285	0,195	0,134	0,09	0,060078	0,163	0,132	0,105	
1	0,8	0,6	0,44	1	1	0,82	0,48	0,32	1	1	1	
1722	1224	776,8	412,609	3329	3328	2702	1458	825,7643	3037	2992	3048	

Fig. 5B (Fortsetzung II)

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
400x700				400x1000					
36	43	51	60	29	40	52	65	78	91
8,5%	6,9%	5,7%	4,6%	18,0%	13,7%	10,7%	8,5%	6,8%	5,5%
7	8	9	10	4	5	6	7	8	9
600	600	600	600	900	900	900	900	900	900
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200
42,9	42,8952	42,8952	42,8952	42,895	42,9	42,8952	42,8952	42,89522	42,89522
4600	5200	5800	6400	4000	4900	5800	6700	7600	8500
107,2	121,226	135,213	149,201	93,25	114,2	135,213	156,195	177,1759	198,1573
48	36	28	22	65	40	27	19	14	11
3,098	2,68328	2,36643	2,09762	3,6056	2,828	2,32379	1,94936	1,67332	1,48324
43,34	37,5326	33,1006	29,3406	75,649	59,34	48,7563	40,9002	35,10853	31,12038
72,23	62,5543	55,1677	48,901	84,055	65,94	54,1736	45,4447	39,00947	34,5782
4,249	3,67967	3,24516	2,87653	4,9444	3,879	3,18668	2,67322	2,294675	2,034012
23,31	24,8696	26,0471	28,2971	23,701	26,64	28,7312	31,8493	34,56589	34,95827
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
28,34	22,5326	18,1006	14,3406	60,649	44,34	33,7563	25,9002	20,10853	16,12038
9,146	8,3974	7,64892	6,8366	16,821	15,68	14,5264	13,2865	12,01714	10,86836
0,085	0,06927	0,05657	0,04582	0,1804	0,137	0,10743	0,08506	0,067826	0,054847
450	430	420	380	480	440	410	380	360	350
540	516	504	456	576	528	492	456	432	420
0,059	0,05609	0,05478	0,04957	0,0626	0,057	0,05348	0,04957	0,046957	0,045652
87352	104773	115113	171786	67477	95568	126761	171786	213260,9	238698,2
0,614	0,57852	0,58731	0,43426	0,691	0,598	0,53334	0,45462	0,415397	0,415079
52,67	45,6158	40,2293	35,6595	61,294	48,08	39,5044	33,1391	28,44644	25,21507
1,171	1,06083	0,95784	0,93841	1,277	1,093	0,96352	0,87208	0,790179	0,720431
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,496	1,39644	1,32378	1,24868	1,6119	1,429	1,30492	1,20715	1,134433	1,086881
35851	43405,2	51070,9	59743,5	28926	39975	51808,8	64695,7	78090,1	91158,65
4,891	4,67391	4,56522	4,13043	5,2174	4,783	4,45652	4,13043	3,913043	3,804348
2,054	1,96304	1,91739	1,73478	3,287	3,013	2,80761	2,60217	2,465217	2,396739
4,6	5,2	5,8	6,4	4	4,9	5,8	6,7	7,6	8,5
0,28	0,28	0,28	0,28	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
35851	43405,2	51070,9	59743,5	28926	39975	51808,8	64695,7	78090,1	91158,65
0,085	0,06927	0,05657	0,04582	0,1804	0,137	0,10743	0,08506	0,067826	0,054847
0,96	0,72	0,56	0,44	1	0,8	0,54	0,38	0,28	0,22
2935	2164,83	1617,87	1204,52	5217,9	4389	3005,63	2091,24	1483,032	1099,954

Fig. 6A

(Rk=250K)

Variante Nr.		1	2	3	4	6	7	8	9
Systemgröße (mm)		200x500				250x500			
Parameter	Resn, K	10	16	22	30	10	13	18	24
	Tastverhältnis	23,7%	14,7%	9,4%	5,6%	23,7%	17,7%	12,5%	9,0%
Größe	Reflexionen	2	3	4	5	2	3	4	5
	Länge L, mm	400	400	400	400	400	400	400	400
	Breite W, mm	150	150	150	150	200	200	200	200
TOF	K, eV	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
	V tof, mm/us	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64
	L _{eff} , mm	1200	1600	2000	2400	1200	1600	2000	2400
	TOF, us	35	46	58	69	35	46	58	69
Strahl	Strahl, eV	100	50	30	19	100	100	60	40
	V-Strahl, mm/us	4,47	3,16	2,45	1,95	4,47	4,47	3,46	2,83
Trajektorie	Z-Schritt, mm	52	37	28	23	52	52	40	33
	Neigung, mrad	129	91	71	56	129	129	100	82
	Neigung, deg	7,6	5,4	4,2	3,3	7,6	7,6	5,9	4,8
	Spiegel-Z-Kante, mm	23	20	18	19	48	23	20	18
OA	Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17	17
	OA-Länge	37	22	13	8	37	37	25	18
	OA-Zeit, us	8,19	6,80	5,42	3,85	8,19	8,19	7,22	6,24
	Tastverhältnis	0,237	0,147	0,094	0,056	0,237	0,177	0,125	0,090
dK	E, V/mm	500	450	420	400	550	500	450	420
	dK, eV	600	540	504	480	660	600	540	504
R(6%) 250000	dK/K	10,0%	9,0%	8,4%	8,0%	11,0%	10,0%	9,0%	8,4%
	Res(dK)	32400	49383	65077	79102	22130	32400	49383	65077
	dT(dK)	0,53	0,47	0,44	0,44	0,78	0,71	0,58	0,53
Pakete	V _x , m/s	76,03	53,76	41,64	33,14	76,03	76,03	58,89	48,08
	Bearbeitungszeit, ns	1,52	1,19	0,99	0,83	1,38	1,52	1,31	1,14
	DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Auflösung	FWHM, ns	1,76	1,46	1,29	1,17	1,74	1,82	1,60	1,44
	Auflösung	9857	15802	22340	29616	9978	12694	18098	23996
Gitter	Winkel, mrad	8,33	7,50	7,00	6,67	9,17	8,33	7,50	7,00
	Y-Spanne, mm	2,33	2,10	1,96	1,87	2,57	2,33	2,10	1,96
	L _{eff}	1,2	1,6	2	2,4	1,2	1,6	2	2,4
	Quadrat	0,1	0,1	0,1	0,1	0,125	0,125	0,125	0,125
	Auflösung	9857	15802	22340	29616	9978	12694	18098	23996
	Tastverhältnis	0,237	0,147	0,094	0,056	0,237	0,177	0,125	0,090
	Transm OA	1	1	0,6	0,38	1	1	1	0,8
Res*DC*Transm	2331	2328	1259	625,7	2360	2252	2262	1730	

Fig. 6A (Fortsetzung I)

10	11	12	14	15	16	17	18	20	21	22
			250x700							
31	38	45	12	21	31	42	54	20	28	36
6,0%	4,2%	2,8%	30,2%	19,4%	13,1%	9,1%	5,8%	17,3%	13,3%	10,5%
6	7	8	2	3	4	5	6	4	5	6
400	400	400	600	600	600	600	600	600	600	600
200	200	200	200	200	200	200	200	350	350	350
6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64
2800	3200	3600	1600	2200	2800	3400	4000	2800	3400	4000
81	92	104	46	64	81	98	115	81	98	115
25	19	15	100	45	25	16	10	100	62	42
2,24	1,95	1,73	4,47	3,00	2,24	1,79	1,41	4,47	3,52	2,90
26	23	20	77	52	39	31	24	77	61	50
65	56	50	129	87	65	52	41	129	102	84
3,8	3,3	2,9	7,6	5,1	3,8	3,0	2,4	7,6	6,0	4,9
23	21	20	23	22	23	23	27	20	23	24
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
11	8	5	62	37	24	16	9	62	46	35
4,84	3,85	2,89	13,97	12,32	10,61	8,94	6,71	13,97	13,06	12,15
0,060	0,042	0,028	0,302	0,194	0,131	0,091	0,058	0,173	0,133	0,105
420	380	360	460	420	380	350	310	430	410	390
504	456	432	552	504	456	420	372	516	492	468
8,4%	7,6%	7,2%	9,2%	8,4%	7,6%	7,0%	6,2%	8,6%	8,2%	7,8%
65077	97116	120563	45227	65077	97116	134944	219270	59231	71662	87532
0,62	0,48	0,43	0,51	0,49	0,42	0,36	0,26	0,68	0,68	0,66
38,01	33,14	29,44	76,03	51,00	38,01	30,41	24,04	76,03	59,86	49,27
0,91	0,87	0,82	1,65	1,21	1,00	0,87	0,78	1,77	1,46	1,26
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,30	1,22	1,16	1,87	1,48	1,29	1,17	1,08	2,02	1,76	1,59
31044	38008	44809	12376	21396	31331	41818	53587	20004	27914	36362
7,00	6,33	6,00	7,67	7,00	6,33	5,83	5,17	7,17	6,83	6,50
1,96	1,77	1,68	3,22	2,94	2,66	2,45	2,17	3,01	2,87	2,73
2,8	3,2	3,6	1,6	2,2	2,8	3,4	4	2,8	3,4	4
0,125	0,125	0,125	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,28	0,28	0,28
31044	38008	44809	12376	21396	31331	41818	53587	20004	27914	36362
0,060	0,042	0,028	0,302	0,194	0,131	0,091	0,058	0,173	0,133	0,105
0,5	0,38	0,3	1	0,9	0,5	0,32	0,2	1	1	0,84
929,2	602,3	373,4	3742	3736	2057	1218	623,2	3457	3715	3213

Fig. 6A (Fortsetzung II)

23	24	25	26	28	29	30	31	32	33
400x700				400x1000					
45	55	64	75	36	51	66	82	96	113
8,4%	6,9%	5,6%	4,5%	18,0%	13,6%	10,7%	8,4%	6,9%	5,6%
7	8	9	10	4	5	6	7	8	9
600	600	600	600	900	900	900	900	900	900
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64
4600	5200	5800	6400	4000	4900	5800	6700	7600	8500
133	150	167	185	115	141	167	193	219	245
30	23	18	14	42	25	17	12	9,5	7,5
2,45	2,14	1,90	1,67	2,90	2,24	1,84	1,55	1,38	1,22
42	37	33	29	75	58	48	40	36	32
71	62	55	48	84	65	53	45	40	35
4,2	3,6	3,2	2,8	4,9	3,8	3,1	2,6	2,3	2,1
27	26	27	30	24	30	31	34	32	32
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
27	22	18	14	60	43	33	25	21	17
11,20	10,33	9,41	8,36	20,81	19,27	17,85	16,30	15,10	13,73
0,084	0,069	0,056	0,045	0,180	0,136	0,107	0,084	0,069	0,056
370	350	330	310	390	360	330	310	300	270
444	420	396	372	468	432	396	372	360	324
7,4%	7,0%	6,6%	6,2%	7,8%	7,2%	6,6%	6,2%	6,0%	5,4%
108048	134944	170753	219270	87532	120563	170753	219270	250000	381039
0,61	0,56	0,49	0,42	0,66	0,59	0,49	0,44	0,44	0,32
41,64	36,46	32,26	28,45	49,27	38,01	31,35	26,34	23,43	20,82
1,13	1,04	0,98	0,92	1,26	1,06	0,95	0,85	0,78	0,77
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,46	1,37	1,30	1,23	1,59	1,40	1,28	1,19	1,14	1,09
45448	54673	64478	75186	36362	50659	65518	81549	96484	112546
6,17	5,83	5,50	5,17	6,50	6,00	5,50	5,17	5,00	4,50
2,59	2,45	2,31	2,17	4,10	3,78	3,47	3,26	3,15	2,84
4,6	5,2	5,8	6,4	4	4,9	5,8	6,7	7,6	8,5
0,28	0,28	0,28	0,28	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
45448	54673	64478	75186	36362	50659	65518	81549	96484	112546
0,084	0,069	0,056	0,045	0,180	0,136	0,107	0,084	0,069	0,056
0,6	0,46	0,36	0,28	0,84	0,5	0,34	0,24	0,19	0,15
2299	1730	1305	952,2	5503	3451	2374	1649	1262	944,9

Fig. 6B

(Rk=80K)

Variante Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Systemgröße (mm)		200x500				250x500			
Parameter	Resn, K	8	13	19	25	8	10	15	20
	Tastverhältnis	23,7%	14,7%	9,4%	5,6%	23,7%	17,7%	12,5%	9,0%
Größe	Reflexionen	2	3	4	5	2	3	4	5
	Länge L, mm	400	400	400	400	400	400	400	400
	Breite W, mm	150	150	150	150	200	200	200	200
TOF	K, eV	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
	V tof, mm/us	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64
	Leff, mm	1200	1600	2000	2400	1200	1600	2000	2400
	TOF, us	35	46	58	69	35	46	58	69
Strahl	Strahl, eV	100	50	30	19	100	100	60	40
	V-Strahl, mm/us	4,47	3,16	2,45	1,95	4,47	4,47	3,46	2,83
Trajektorie	Z-Schritt, mm	52	37	28	23	52	52	40	33
	Neigung, mrad	129	91	71	56	129	129	100	82
	Neigung, deg	7,6	5,4	4,2	3,3	7,6	7,6	5,9	4,8
	Spiegel-Z-Kante, mm	23	20	18	19	48	23	20	18
OA	Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17	17
	OA-Länge	37	22	13	8	37	37	25	18
	OA-Zeit, us	8,19	6,80	5,42	3,85	8,19	8,19	7,22	6,24
	Tastverhältnis	0,237	0,147	0,094	0,056	0,237	0,177	0,125	0,090
dK	E, V/mm	420	410	340	310	430	410	370	340
	dK, eV	504	492	408	372	516	492	444	408
R(6%) 80000	dK/K	8,40%	8,20%	6,80%	6,20%	8,60%	8,20%	7,40%	6,80%
	Res(dK)	20825	22932	48491	70166	18954	22932	34575	48491
	dT(dK)	0,83	1,01	0,60	0,49	0,91	1,01	0,83	0,71
Pakete	Vx, m/s	76,03	53,76	41,64	33,14	76,03	76,03	58,89	48,08
	Bearbeitungszeit, ns	1,81	1,31	1,22	1,07	1,77	1,85	1,59	1,41
	DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Auflösung	FWHM, ns	2,11	1,80	1,53	1,37	2,11	2,22	1,93	1,73
	Auflösung	8203	12863	18854	25288	8210	10388	14966	19999
Gitter	Winkel, mrad	7,00	6,83	5,67	5,17	7,17	6,83	6,17	5,67
	Y-Spanne, mm	1,96	1,91	1,59	1,45	2,01	1,91	1,73	1,59
	Leff	1,2	1,6	2	2,4	1,2	1,6	2	2,4
	Quadrat	0,1	0,1	0,1	0,1	0,125	0,125	0,125	0,125
	Auflösung	8203	12863	18854	25288	8210	10388	14966	19999
	Tastverhältnis	0,237	0,147	0,094	0,056	0,237	0,177	0,125	0,090
Transm OA	1	1	0,6	0,38	1	1	1	0,8	
Res*DC*Transm	1940	1895	1063	534,3	1942	1843	1871	1442	

Fig. 6B (Fortsetzung I)

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
250x700										
27	32	38	10	18	27	36	47	16	23	30
6,0%	4,2%	2,8%	30,2%	19,4%	13,1%	9,1%	5,8%	17,3%	13,3%	10,5%
6	7	8	2	3	4	5	6	4	5	6
400	400	400	600	600	600	600	600	600	600	600
200	200	200	200	200	200	200	200	350	350	350
6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64
2800	3200	3600	1600	2200	2800	3400	4000	2800	3400	4000
81	92	104	46	64	81	98	115	81	98	115
25	19	15	100	45	25	16	10	100	62	42
2,24	1,95	1,73	4,47	3,00	2,24	1,79	1,41	4,47	3,52	2,90
26	23	20	77	52	39	31	24	77	61	50
65	56	50	129	87	65	52	41	129	102	84
3,8	3,3	2,9	7,6	5,1	3,8	3,0	2,4	7,6	6,0	4,9
23	21	20	23	22	23	23	27	20	23	24
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
11	8	5	62	37	24	16	9	62	46	35
4,84	3,85	2,89	13,97	12,32	10,61	8,94	6,71	13,97	13,06	12,15
0,060	0,042	0,028	0,302	0,194	0,131	0,091	0,058	0,173	0,133	0,105
310	290	280	400	330	310	280	260	330	310	290
372	348	336	480	396	372	336	312	396	372	348
6,20%	5,80%	5,60%	8,00%	6,60%	6,20%	5,60%	5,20%	6,60%	6,20%	5,80%
70166	91618	105425	25313	54641	70166	105425	141802	54641	70166	91618
0,58	0,50	0,49	0,91	0,58	0,58	0,47	0,41	0,74	0,70	0,63
38,01	33,14	29,44	76,03	51,00	38,01	30,41	24,04	76,03	59,86	49,27
1,23	1,14	1,05	1,90	1,55	1,23	1,09	0,92	2,30	1,93	1,70
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,52	1,43	1,36	2,22	1,79	1,52	1,37	1,23	2,52	2,17	1,94
26503	32259	38319	10396	17707	26503	35732	46972	16045	22617	29721
5,17	4,83	4,67	6,67	5,50	5,17	4,67	4,33	5,50	5,17	4,83
1,45	1,35	1,31	2,80	2,31	2,17	1,96	1,82	2,31	2,17	2,03
2,8	3,2	3,6	1,6	2,2	2,8	3,4	4	2,8	3,4	4
0,125	0,125	0,125	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,28	0,28	0,28
26503	32259	38319	10396	17707	26503	35732	46972	16045	22617	29721
0,060	0,042	0,028	0,302	0,194	0,131	0,091	0,058	0,173	0,133	0,105
0,5	0,38	0,3	1	0,9	0,5	0,32	0,2	1	1	0,84
793,3	511,2	319,3	3144	3092	1740	1041	546,2	2772	3010	2626

Fig. 6B (Fortsetzung II)

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
400x700				400x1000					
38	46	54	64	30	42	54	69	83	98
8,4%	6,9%	5,6%	4,5%	18,0%	13,6%	10,7%	8,4%	6,9%	5,6%
7	8	9	10	4	5	6	7	8	9
600	600	600	600	900	900	900	900	900	900
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64
4600	5200	5800	6400	4000	4900	5800	6700	7600	8500
133	150	167	185	115	141	167	193	219	245
30	23	18	14	42	25	17	12	9,5	7,5
2,45	2,14	1,90	1,67	2,90	2,24	1,84	1,55	1,38	1,22
42	37	33	29	75	58	48	40	36	32
71	62	55	48	84	65	53	45	40	35
4,2	3,6	3,2	2,8	4,9	3,8	3,1	2,6	2,3	2,1
27	26	27	30	24	30	31	34	32	32
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
27	22	18	14	60	43	33	25	21	17
11,20	10,33	9,41	8,36	20,81	19,27	17,85	16,30	15,10	13,73
0,084	0,069	0,056	0,045	0,180	0,136	0,107	0,084	0,069	0,056
280	270	260	250	300	290	280	250	240	220
336	324	312	300	360	348	336	300	288	264
5,60%	5,40%	5,20%	5,00%	6,00%	5,80%	5,60%	5,00%	4,80%	4,40%
105425	121933	141802	165888	80000	91618	105425	165888	195313	276620
0,63	0,62	0,59	0,56	0,72	0,77	0,79	0,58	0,56	0,44
41,64	36,46	32,26	28,45	49,27	38,01	31,35	26,34	23,43	20,82
1,49	1,35	1,24	1,14	1,64	1,31	1,12	1,05	0,98	0,95
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,76	1,64	1,54	1,45	1,93	1,67	1,54	1,39	1,33	1,26
37720	45741	54292	63824	29982	42236	54335	69438	82716	97531
4,67	4,50	4,33	4,17	5,00	4,83	4,67	4,17	4,00	3,67
1,96	1,89	1,82	1,75	3,15	3,05	2,94	2,63	2,52	2,31
4,6	5,2	5,8	6,4	4	4,9	5,8	6,7	7,6	8,5
0,28	0,28	0,28	0,28	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
37720	45741	54292	63824	29982	42236	54335	69438	82716	97531
0,084	0,069	0,056	0,045	0,180	0,136	0,107	0,084	0,069	0,056
0,6	0,46	0,36	0,28	0,84	0,5	0,34	0,24	0,19	0,15
1908	1447	1099	808,3	4538	2877	1969	1404	1082	818,8

Fig. 7

Rk=100K, K=5keV

Variante Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Systemgröße (mm)		150x300				200x300					
Parameter	Resn, K	4	7	11	15	4	6	8	12	15	7
	Tastverhältnis	26,9%	14,4%	7,3%	2,8%	24,8%	17,7%	12,1%	7,5%	4,4%	26,0%
Größe	Reflexionen	2	3	4	5	2	3	4	5	6	2
	Länge L, mm	250	250	250	250	250	250	250	250	250	350
	Breite W, mm	110	110	110	110	160	160	160	160	160	110
TOF	K, eV	3000	3000	3000	3000	4000	4000	4000	4000	4000	5000
	V tof, mm/us	24,49	24,49	24,49	24,49	28,28	28,28	28,28	28,28	28,28	31,62
	Leff, mm	625	875	1125	1375	625	875	1125	1375	1625	875
	TOF, us	28	36	46	56	22	31	40	49	57	28
Strahl	Strahl, eV	100	44	24	15	100	100	70	42	28	75
	V-Strahl, mm/us	4,47	2,97	2,19	1,73	4,47	4,47	3,74	2,90	2,37	3,87
Trajektorie	Z-Schritt, mm	46	30	22	18	40	40	33	26	21	43
	Neigung, mrad	183	121	89	71	158	158	132	102	84	122
	Neigung, deg	10,7	7,1	5,3	4,2	9,3	9,3	7,8	6,0	4,9	7,2
	Spiegel-Z-Kante, mm	9	10	10	11	40	21	14	16	17	12
OA	Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	OA-Länge	31	15	7	3	25	25	18	11	6	28
	OA-Zeit, us	6,85	5,15	3,36	1,55	5,48	5,48	4,83	3,66	2,50	7,19
	Tastverhältnis	0,269	0,144	0,073	0,028	0,248	0,177	0,121	0,075	0,044	0,260
dK	E, V/mm	280	230	210	190	360	330	300	280	260	380
	dK, eV	336	276	252	228	432	396	360	336	312	456
R(6%) 100000	dK/K	11,2%	9,2%	8,4%	7,6%	10,8%	9,9%	9,0%	8,4%	7,8%	9,1%
	Res(dK)	8236	18091	26031	38846	9526	13492	19753	26031	35013	18734
	dT(dK)	1,55	0,99	0,88	0,72	1,16	1,15	1,01	0,93	0,82	0,74
Pakete	Vx, m/s	76,03	50,43	37,25	29,44	76,03	76,03	63,61	49,27	40,23	65,84
	Bearbeitungszeit, ns	2,72	2,19	1,77	1,55	2,11	2,30	2,12	1,76	1,55	1,73
	DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Auflösung	FWHM, ns	3,20	2,50	2,10	1,85	2,51	2,67	2,45	2,11	1,89	2,01
	Auflösung	3983	7132	10930	15191	4404	5800	8120	11512	15231	6885
Gitter	Winkel, mrad	9,33	7,67	7,00	6,33	9,00	8,25	7,50	7,00	6,50	7,60
	Y-Spanne, mm	1,63	1,34	1,23	1,11	1,58	1,44	1,31	1,23	1,14	1,86
	Leff	0,625	0,875	1,125	1,375	0,625	0,875	1,125	1,375	1,625	0,875
	Quadrat	0,045	0,045	0,045	0,045	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	Auflösung	3983	7132	10930	15191	4404	5800	8120	11512	15231	6885
	Tastverhältnis	0,269	0,144	0,073	0,028	0,248	0,177	0,121	0,075	0,044	0,260
	Transm OA	2	0,88	0,48	0,3	2	2	1,4	0,84	0,56	1,5
	Res*DC*Transm	2139	904,7	383,8	125,5	2186	2057	1380	728,7	371,2	2686

Fig. 7 (Fortsetzung I)

11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
150x400			200x400					250x400					
12	18	24	6	9	14	19	24	6	8	11	15	19	25
13,9%	6,8%	2,3%	27,9%	18,9%	12,1%	7,8%	5,0%	27,9%	19,9%	14,9%	10,7%	7,7%	5,4%
3	4	5	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
110	110	110	160	160	160	160	160	210	210	210	210	210	210
5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62
1225	1575	1925	875	1225	1575	1925	2275	875	1225	1575	1925	2275	2625
39	50	61	28	39	50	61	72	28	39	50	61	72	83
35	19	12	100	80	44	28	20	100	100	85	54	37	26
2,65	1,95	1,55	4,47	4,00	2,97	2,37	2,00	4,47	4,47	4,12	3,29	2,72	2,28
29	22	17	49	44	33	26	22	49	49	46	36	30	25
84	62	49	141	126	94	75	63	141	141	130	104	86	72
4,9	3,6	2,9	8,3	7,4	5,5	4,4	3,7	8,3	8,3	7,7	6,1	5,1	4,2
11	12	12	31	14	14	15	14	56	31	14	14	15	17
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
14	7	2	34	29	18	11	7	34	34	31	21	15	10
5,40	3,37	1,39	7,71	7,32	6,01	4,73	3,57	7,71	7,71	7,43	6,50	5,55	4,49
0,139	0,068	0,023	0,279	0,189	0,121	0,078	0,050	0,279	0,199	0,149	0,107	0,077	0,054
340	300	280	390	370	330	300	280	410	400	350	330	300	280
408	360	336	468	444	396	360	336	492	480	420	396	360	336
8,2%	7,2%	6,7%	9,4%	8,9%	7,9%	7,2%	6,7%	9,8%	9,6%	8,4%	7,9%	7,2%	6,7%
29231	48225	63552	16885	20843	32939	48225	63552	13824	15259	26031	32939	48225	63552
0,66	0,52	0,48	0,82	0,93	0,76	0,63	0,57	1,00	1,27	0,96	0,92	0,75	0,65
44,98	33,14	26,34	76,03	68,00	50,43	40,23	34,00	76,03	76,03	70,09	55,87	46,24	38,77
1,32	1,10	0,94	1,95	1,84	1,53	1,34	1,21	1,85	1,90	2,00	1,69	1,54	1,38
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,64	1,41	1,27	2,23	2,18	1,84	1,64	1,51	2,22	2,39	2,33	2,05	1,85	1,68
11834	17712	24032	6211	8905	13512	18570	23797	6231	8103	10701	14834	19444	24657
6,80	6,00	5,60	7,80	7,40	6,60	6,00	5,60	8,20	8,00	7,00	6,60	6,00	5,60
1,67	1,47	1,37	1,91	1,81	1,62	1,47	1,37	2,01	1,96	1,72	1,62	1,47	1,37
1,225	1,575	1,925	0,875	1,225	1,575	1,925	2,275	0,875	1,225	1,575	1,925	2,275	2,625
0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
11834	17712	24032	6211	8905	13512	18570	23797	6231	8103	10701	14834	19444	24657
0,139	0,068	0,023	0,279	0,189	0,121	0,078	0,050	0,279	0,199	0,149	0,107	0,077	0,054
0,7	0,38	0,24	2	1,6	0,88	0,56	0,4	2	2	1,7	1,08	0,74	0,52
1154	455,8	131,3	3463	2691	1435	807,9	472,1	3474	3227	2714	1712	1111	693,5

Fig. 7 (Fortsetzung II)

26	27	28	29	30	31	34	35	36	37	38	39	40
	200x500					250x500						
30	8	13	19	26	34	8	10	15	21	27	35	43
3,6%	30,6%	19,0%	12,3%	8,1%	5,3%	30,6%	21,5%	14,8%	11,0%	8,1%	5,7%	3,8%
8	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7	8
350	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
210	160	160	160	160	160	210	210	210	210	210	210	210
5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62
2975	1125	1575	2025	2475	2925	1125	1575	2025	2475	2925	3375	3825
94	36	50	64	78	92	36	50	64	78	92	107	121
19	100	50	28	18	13	100	90	50	36	25	17	12
1,95	4,47	3,16	2,37	1,90	1,61	4,47	4,24	3,16	2,68	2,24	1,84	1,55
22	64	45	34	27	23	64	60	45	38	32	26	22
62	141	100	75	60	51	141	134	100	85	71	58	49
3,6	8,3	5,9	4,4	3,5	3,0	8,3	7,9	5,9	5,0	4,2	3,4	2,9
19	16	13	13	13	11	41	14	15	10	10	13	17
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
7	49	30	19	12	8	49	45	30	23	17	11	7
3,37	10,88	9,49	7,89	6,32	4,93	10,88	10,69	9,49	8,64	7,52	6,10	4,55
0,036	0,306	0,190	0,123	0,081	0,053	0,306	0,215	0,148	0,110	0,081	0,057	0,038
260	380	330	300	270	260	400	380	350	290	260	250	240
312	456	396	360	324	312	480	456	420	348	312	300	288
6,2%	9,1%	7,9%	7,2%	6,5%	6,2%	9,6%	9,1%	8,4%	7,0%	6,2%	6,0%	5,8%
85480	18734	32939	48225	73503	85480	15259	18734	26031	55229	85480	100000	117738
0,55	0,95	0,76	0,66	0,53	0,54	1,17	1,33	1,23	0,71	0,54	0,53	0,51
33,14	76,03	53,76	40,23	32,26	27,41	76,03	72,12	53,76	45,62	38,01	31,35	26,34
1,27	2,00	1,63	1,34	1,19	1,05	1,90	1,90	1,54	1,57	1,46	1,25	1,10
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,55	2,32	1,93	1,65	1,48	1,38	2,34	2,42	2,09	1,86	1,71	1,53	1,40
30254	7659	12920	19382	26380	33603	7611	10288	15330	21019	27063	34833	43221
5,20	7,60	6,60	6,00	5,40	5,20	8,00	7,60	7,00	5,80	5,20	5,00	4,80
1,27	2,39	2,08	1,89	1,70	1,64	2,52	2,39	2,21	1,83	1,64	1,58	1,51
2,975	1,125	1,575	2,025	2,475	2,925	1,125	1,575	2,025	2,475	2,925	3,375	3,825
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
30254	7659	12920	19382	26380	33603	7611	10288	15330	21019	27063	34833	43221
0,036	0,306	0,190	0,123	0,081	0,053	0,306	0,215	0,148	0,110	0,081	0,057	0,038
0,38	2	1	0,56	0,36	0,26	2	1,8	1	0,72	0,5	0,34	0,24
412,2	4683	2461	1338	767,4	465,4	4654	3976	2271	1671	1100	676,4	390

Fig. 8

200x500, N=5 Reflexionen, Optimierung DC

Variante Nr.	27	28	29	30	31	30	31
Systemgröße (mm)	200x500						
Parameter							
Resn, K	31	30	29	28	28	27	26
Tastverhältnis	7,7%	7,8%	7,7%	7,8%	7,7%	7,7%	7,6%
Größe							
Reflexionen	5	5	5	5	5	5	5
Länge L, mm	450	450	450	450	450	450	450
Breite W, mm	160	160	160	160	160	160	160
TOF							
K, eV	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
V tof, mm/us	28,28	31,62	34,64	37,42	40,00	42,43	44,72
Leff, mm	2475	2475	2475	2475	2475	2475	2475
TOF, us	88	78	71	66	62	58	55
Strahl							
Strahl, eV	13,5	17	20	24	27	30	33
V-Strahl, mm/us	1,64	1,84	2,00	2,19	2,32	2,45	2,57
Trajektorie							
Z-Schritt, mm	26	26	26	26	26	26	26
Neigung, mrad	58	58	58	59	58	58	57
Neigung, deg	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Spiegel-Z-Kante, mm	15	14	15	14	15	15	15
OA							
Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17
OA-Länge	11	11	11	11	11	11	11
OA-Zeit, us	6,78	6,10	5,49	5,18	4,80	4,48	4,22
Tastverhältnis	0,077	0,078	0,077	0,078	0,077	0,077	0,076
dK							
E, V/mm	260	320	380	450	520	570	640
dK, eV	312	384	456	540	624	684	768
R(6%)							
dK/K	7,8%	7,7%	7,6%	7,7%	7,8%	7,6%	7,7%
200000							
Res(dK)	70026	74506	77693	73190	70026	77693	74506
dT(dK)	0,62	0,53	0,46	0,45	0,44	0,38	0,37
Pakete							
Vx, m/s	27,93	31,35	34,00	37,25	39,50	41,64	43,67
Bearbeitungszeit, ns	1,07	0,98	0,89	0,83	0,76	0,73	0,68
DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Auflösung							
FWHM, ns	1,43	1,31	1,23	1,17	1,12	1,08	1,05
Auflösung	30673	29792	29149	28162	27536	27028	26461
Gitter							
Winkel, mrad	6,50	6,40	6,33	6,43	6,50	6,33	6,40
Y-Spanne, mm	2,05	2,02	2,00	2,03	2,05	2,00	2,02
Leff	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475
Quadrat	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Auflösung	30673	29792	29149	28162	27536	27028	26461
Tastverhältnis	0,077	0,078	0,077	0,078	0,077	0,077	0,076
Transm OA	0,27	0,34	0,4	0,48	0,54	0,6	0,66
Res*DC*Transm	641,79	788,86	895,99	1058,6	1152,3	1246,2	1332,8

Fig. 8 (Fortsetzung)

34	35	36	37	38	39	40
250x500						
25	24	24	23	23	23	22
10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%
5	5	5	5	5	5	5
450	450	450	450	450	450	450
210	210	210	210	210	210	210
4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
28,28	31,62	34,64	37,42	40,00	42,43	44,72
2475	2475	2475	2475	2475	2475	2475
88	78	71	66	62	58	55
26	33	39	46	52	59	65
2,28	2,57	2,79	3,03	3,22	3,44	3,61
36	37	36	36	36	36	36
81	81	81	81	81	81	81
4,7	4,8	4,7	4,8	4,7	4,8	4,7
14	14	14	14	14	14	14
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17
21	22	21	21	21	21	21
9,33	8,39	7,62	7,08	6,60	6,24	5,90
0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107
270	350	410	460	520	600	650
324	420	492	552	624	720	780
8,1%	8,4%	8,2%	7,9%	7,8%	8,0%	7,8%
60214	52062	57330	67030	70026	63281	70026
0,73	0,75	0,62	0,49	0,44	0,46	0,40
38,77	43,67	47,48	51,56	54,82	58,40	61,29
1,44	1,25	1,16	1,12	1,05	0,97	0,94
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,75	1,62	1,49	1,41	1,34	1,28	1,24
24932	24213	23980	23445	23080	22709	22332
6,75	7,00	6,83	6,57	6,50	6,67	6,50
2,13	2,21	2,15	2,07	2,05	2,10	2,05
2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475
0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
24932	24213	23980	23445	23080	22709	22332
0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107
0,52	0,66	0,78	0,92	1,04	1,18	1,3
1382,6	1713,4	1994,7	2309,2	2559,9	2866,3	3096,1

Fig. 9

200x500, N=6 Reflexionen, Optimierung DC

Optimal für R=20K

Punkt		27	28	29	30	31	30	31
System		200x500						
Parameter	Resn, K	39	38	37	36	35	34	33
	Tastverhältnis	4,9%	4,9%	4,8%	4,7%	4,9%	4,8%	4,7%
Größe	Reflexionen	6	6	6	6	6	6	6
	Länge L, mm	450	450	450	450	450	450	450
	Breite W, mm	160	160	160	160	160	160	160
TOF	K, eV	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
	V tof, mm/us	28,28	31,62	34,64	37,42	40,00	42,43	44,72
	Leff, mm	2925	2925	2925	2925	2925	2925	2925
	TOF, us	103	92	84	78	73	69	65
Strahl	Strahl, eV	9,5	12	14	16	19	21	23
	V-Strahl, mm/us	1,38	1,55	1,67	1,79	1,95	2,05	2,14
Trajektorie	Z-Schritt, mm	22	22	22	22	22	22	22
	Neigung, mrad	49	49	48	48	49	48	48
	Neigung, deg	2,9	2,9	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8
	Spiegel-Z-Kante, mm	14	14	15	15	14	15	15
OA	Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17
	OA-Länge	7	7	7	7	7	7	7
	OA-Zeit, us	5,03	4,55	4,03	3,64	3,56	3,29	3,07
	Tastverhältnis	0,049	0,049	0,048	0,047	0,049	0,048	0,047
dK	E, V/mm	240	280	340	410	490	540	590
	dK, eV	288	336	408	492	588	648	708
R(6%)	dK/K	7,2%	6,7%	6,8%	7,0%	7,4%	7,2%	7,1%
200000	Res(dK)	96451	127104	121227	106210	88815	96451	103158
	dT(dK)	0,54	0,36	0,35	0,37	0,41	0,36	0,32
Pakete	Vx, m/s	23,43	26,34	28,45	30,41	33,14	34,84	36,46
	Bearbeitungszeit, ns	0,98	0,94	0,84	0,74	0,68	0,65	0,62
	DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Auflösung	FWHM, ns	1,32	1,23	1,15	1,08	1,06	1,02	0,99
	Auflösung	39304	37673	36869	36050	34597	33900	33163
Gitter	Winkel, mrad	6,00	5,60	5,67	5,86	6,13	6,00	5,90
	Y-Spanne, mm	1,89	1,76	1,79	1,85	1,93	1,89	1,86
	Leff	2,925	2,925	2,925	2,925	2,925	2,925	2,925
	Quadrat	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Auflösung	39304	37673	36869	36050	34597	33900	33163
	Tastverhältnis	0,049	0,049	0,048	0,047	0,049	0,048	0,047
	Transm OA	0,19	0,24	0,28	0,32	0,38	0,42	0,46
	Res*DC*Transm	363,07	444,54	492,23	537,37	639,16	678,9	715,71

Fig. 9 (Fortsetzung)

34	35	36	37	38	39	40
250x500						
32	31	31	30	29	29	29
7,7%	7,7%	7,7%	7,8%	7,7%	7,7%	7,7%
6	6	6	6	6	6	6
450	450	450	450	450	450	450
210	210	210	210	210	210	210
4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
28,28	31,62	34,64	37,42	40,00	42,43	44,72
2925	2925	2925	2925	2925	2925	2925
103	92	84	78	73	69	65
18	22	27	32	36	40	44
1,90	2,10	2,32	2,53	2,68	2,83	2,97
30	30	30	30	30	30	30
67	66	67	68	67	67	66
3,9	3,9	3,9	4,0	3,9	3,9	3,9
14	15	14	14	14	15	15
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17	17	17
15	15	15	15	15	15	15
8,00	7,08	6,54	6,10	5,66	5,30	5,01
0,077	0,077	0,077	0,078	0,077	0,077	0,077
260	340	380	420	480	560	630
312	408	456	504	576	672	756
7,8%	8,2%	7,6%	7,2%	7,2%	7,5%	7,6%
70026	58462	77693	96451	96451	83393	79350
0,74	0,79	0,54	0,41	0,38	0,41	0,41
32,26	35,66	39,50	43,01	45,62	48,08	50,43
1,24	1,05	1,04	1,02	0,95	0,86	0,80
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,60	1,49	1,37	1,30	1,24	1,18	1,14
32227	31069	30906	29954	29493	29153	28675
6,50	6,80	6,33	6,00	6,00	6,22	6,30
2,05	2,14	2,00	1,89	1,89	1,96	1,98
2,925	2,925	2,925	2,925	2,925	2,925	2,925
0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
32227	31069	30906	29954	29493	29153	28675
0,077	0,077	0,077	0,078	0,077	0,077	0,077
0,36	0,44	0,54	0,64	0,72	0,8	0,88
897,97	1046,3	1291,7	1495,3	1643,6	1794,1	1931,3

Fig. 10

DC=10%

	Variante	1	2	3	4	5	6	7
Parameter	Resn, K	9	9	13	14	15	17	23
	Tastverhältnis	9,8%	11,9%	7,7%	12,8%	12,0%	10,7%	10,4%
Größe	Reflexionen	3	4	5	3	4	5	4
	Länge L, mm	250	250	250	350	350	350	450
	Breite W, mm	110	160	160	110	160	210	150
TOF	K, eV	6000	6000	6000	6000	6000	6000	9200
	V tof, mm/us	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	42,90
	Leff, mm	875	1125	1375	1225	1575	1925	2200
	TOF, us	25	32	40	35	45	56	51
Strahl	Strahl, eV	50	100	65	36	52	65	42
	V-Strahl, mm/us	3,16	4,47	3,61	2,68	3,22	3,61	2,90
Trajektorie	Z-Schritt, mm	23	32	26	27	33	36	30
	Neigung, mrad	91	129	104	77	93	104	68
	Neigung, deg	5,4	7,6	6,1	4,6	5,5	6,1	4,0
	Spiegel-Z-Kante, mm	21	15	15	14	15	14	14
OA	Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17
	OA-Länge	8	17	11	12	18	21	15
	OA-Zeit, us	2,47	3,86	3,06	4,51	5,45	5,94	5,32
	Tastverhältnis	0,098	0,119	0,077	0,128	0,120	0,107	0,104
dK	E, V/mm	500	540	500	470	460	470	660
	dK, eV	600	648	600	564	552	564	792
R(6%) 250000	dK/K	10,0%	10,8%	10,0%	9,4%	9,2%	9,4%	8,6%
	Res(dK)	32400	23815	32400	41499	45227	41499	58992
	dT(dK)	0,39	0,68	0,61	0,43	0,50	0,67	0,43
Pakete	Vx, m/s	53,76	76,03	61,29	45,62	54,82	61,29	49,27
	Bearbeitungszeit, ns	1,08	1,41	1,23	0,97	1,19	1,30	0,75
	DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Auflösung	FWHM, ns	1,34	1,71	1,54	1,27	1,47	1,62	1,11
	Auflösung	9419	9475	12897	13920	15457	17104	23064
Gitter	Winkel, mrad	8,33	9,00	8,33	7,83	7,67	7,83	7,17
	Y-Spanne, mm	1,46	1,58	1,46	1,92	1,88	1,92	2,26
	Leff	0,875	1,125	1,375	1,225	1,575	1,925	2,2
	Quadrat	0,045	0,06	0,06	0,06	0,08	0,1	0,1
	Auflösung	9419	9475	12897	13920	15457	17104	23064
	Tastverhältnis	0,098	0,119	0,077	0,128	0,120	0,107	0,104
	Transm OA	1	2	1,3	0,72	1,04	1,3	0,84
Res*DC*Transm	922,3	2254	1291	1279	1928	2378	2008	

Fig. 10 (Fortsetzung)

8	9	10	11	12
26	31	38	51	64
9,3%	13,9%	10,8%	13,8%	10,9%
5	4	6	5	6
450	650	650	950	950
200	200	350	350	350
9200	9200	9200	9200	9200
42,90	42,90	42,90	42,90	42,90
2650	3000	4300	5150	6100
62	70	100	120	142
50	38	60	36	25
3,16	2,76	3,46	2,68	2,24
33	42	52	59	50
74	64	81	63	52
4,3	3,8	4,8	3,7	3,1
17	16	18	26	26
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17
18	27	37	44	35
5,75	9,71	10,82	16,56	15,44
0,093	0,139	0,108	0,138	0,109
640	600	580	530	510
768	720	696	636	612
8,3%	7,8%	7,6%	6,9%	6,7%
66719	86371	98914	141863	165459
0,46	0,40	0,51	0,42	0,43
53,76	46,87	58,89	45,62	38,01
0,84	0,78	1,02	0,86	0,75
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,19	1,12	1,33	1,19	1,11
26014	31103	37593	50558	64106
6,96	6,52	6,30	5,76	5,54
2,19	2,97	2,87	3,83	3,69
2,65	3	4,3	5,15	6,1
0,125	0,175	0,28	0,4	0,4
26014	31103	37593	50558	64106
0,093	0,139	0,108	0,138	0,109
1	0,76	1	0,72	0,5
2420	3283	4059	5020	3480

Fig. 11

250x700mm

	Variante	1	2	3	4	5	6	7
Parameter	Resn, K	33	32	30	29	45	44	42
	Tastverhältnis	14,9%	14,9%	14,9%	14,8%	10,7%	10,6%	10,4%
Größe	Reflexionen	4	4	4	4	5	5	5
	Länge L, mm	650	650	650	650	650	650	650
	Breite W, mm	210	210	210	210	210	210	210
Acc	Beschleunigung, V	3000	4000	6000	8000	3000	4000	6000
	Stoß							
TOF	Stoßamplitude	1400	1400	2400	2400	1400	1400	2400
	K, eV	3700	4700	7200	9200	3700	4700	7200
	V tof, mm/us	27,20	30,66	37,95	42,90	27,20	30,66	37,95
	Leff, mm	2925	2925	2925	2925	3575	3575	3650
	TOF, us	108	95	77	68	131	117	96
Strahl	Strahl, eV	18	23	35	44	11,5	14,5	22
	V-Strahl, mm/us	1,90	2,14	2,65	2,97	1,52	1,70	2,10
Trajektorie	Z-Schritt, mm	45	45	45	45	36	36	36
	Neigung, mrad	70	70	70	69	56	56	55
	Neigung, deg	4,1	4,1	4,1	4,1	3,3	3,3	3,3
	Spiegel-Z-Kante, mm	14	14	14	15	14	15	15
OA	Strahl d, mm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	Strahl ang, mrad	17	17	17	17	17	17	17
	OA-Länge	30	30	30	30	21	21	21
	OA-Zeit, us	15,99	14,21	11,46	10,10	14,00	12,39	9,98
	Tastverhältnis	0,149	0,149	0,149	0,148	0,107	0,106	0,104
dK	E, V/mm	230	330	460	600	230	290	440
	dK, eV	276	396	552	720	276	348	528
R(6%) 250000	dK/K	7,5%	8,4%	7,7%	7,8%	7,5%	7,4%	7,3%
	Res(dK)	104644	64292	93782	86371	104644	107800	112031
	dT(dK)	0,51	0,74	0,41	0,39	0,63	0,54	0,43
Pakete	Vx, m/s	32,26	36,46	44,98	50,43	25,78	28,95	35,66
	Bearbeitungszeit, ns	1,40	1,10	0,98	0,84	1,12	1,00	0,81
	DAS und Det, ns	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Auflösung	FWHM, ns	1,65	1,50	1,27	1,16	1,46	1,33	1,15
	Auflösung	32594	31722	30328	29319	44910	43711	41685
Gitter	Winkel, mrad	6,22	7,02	6,39	6,52	6,22	6,17	6,11
	Y-Spanne, mm	2,83	3,19	2,91	2,97	2,83	2,81	2,78
	Leff	2,925	2,925	2,925	2,925	3,575	3,575	3,65
	Quadrat	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
	Auflösung	32594	31722	30328	29319	44910	43711	41685
	Tastverhältnis	0,149	0,149	0,149	0,148	0,107	0,106	0,104
	Transm OA	0,36	0,46	0,7	0,88	0,23	0,29	0,44
	Res*DC*Transm	1745	2173	3156	3820	1101	1347	1903
	OA-Länge	13,04	12,12	13,04	13,33	13,04	13,79	13,64
	OA-Abstand	6,087	4,242	5,217	4	6,087	4,828	5,455

Fig. 11 (Fortsetzung)

8	9	10	11	12
40	59	57	52	50
10,4%	7,6%	7,6%	7,6%	7,6%
5	6	6	6	6
650	650	650	650	650
210	210	210	210	210
8000	3000	4000	6000	8000
2400	1400	1400	2400	2400
9200	3700	4700	7200	9200
42,90	27,20	30,66	37,95	42,90
3650	4300	4300	4300	4300
85	158	140	113	100
28	8	10	15,5	20
2,37	1,26	1,41	1,76	2,00
36	30	30	30	30
55	46	46	46	47
3,2	2,7	2,7	2,7	2,7
15	14	15	15	14
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
17	17	17	17	17
21	15	15	15	15
8,81	12,04	10,59	8,61	7,65
0,104	0,076	0,076	0,076	0,076
560	210	270	420	520
672	252	324	504	624
7,3%	6,8%	6,9%	7,0%	6,8%
113820	150574	143468	134944	153094
0,37	0,52	0,49	0,42	0,33
40,23	21,50	24,04	29,93	34,00
0,72	1,02	0,89	0,71	0,65
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
1,07	1,35	1,23	1,08	1,01
39747	58681	56846	52287	49514
6,09	5,68	5,74	5,83	5,65
2,77	2,58	2,61	2,65	2,57
3,65	4,3	4,3	4,3	4,3
0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
39747	58681	56846	52287	49514
0,104	0,076	0,076	0,076	0,076
1	0,16	1	0,31	0,4
4117	714,9	4294	1232	1512
14,29	14,29	14,81	14,29	15,38
4,286	6,667	5,185	5,714	4,615