

(19)



(11)

EP 2 903 016 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.08.2015 Patentblatt 2015/32

(51) Int Cl.:
H01J 33/02 ^(2006.01) **G21K 5/00** ^(2006.01)
G21K 5/10 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15000241.8**

(22) Anmeldetag: **27.01.2015**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Bengt, Laurell**
SE-30594 Halmstad (SE)
• **Föll, Eberhard**
72147 Nehren (DE)

(30) Priorität: **02.02.2014 DE 102014001344**

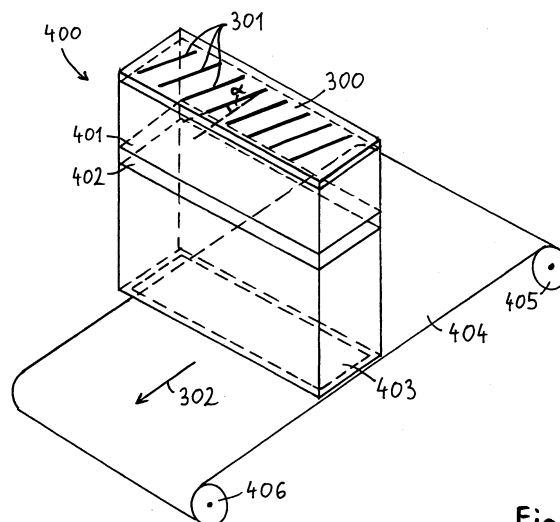
(74) Vertreter: **Lehmann, Horst Michael**
Giselastrasse 28
80802 München (DE)

(71) Anmelder: **Crosslinking AB**
3244 Halmstad (SE)

(54) **Elektronenstrahleinheit mit schräg zur Transportrichtung ausgerichteten Heizkathodendrähten**

(57) Es wird eine Elektronenstrahleinheit beschrieben, die dazu ausgelegt ist, ein flächig ausgedehntes Bestrahlungsfeld zur Elektronenbestrahlung von Bestrahlungsgut zu erzeugen. Das Bestrahlungsgut ist in einer vorgegebenen Transportrichtung durch das Bestrahlungsfeld führbar, und das Bestrahlungsfeld erstreckt sich über eine Bestrahlungsbreite quer zur Transportrichtung. Die Elektronenstrahleinheit umfasst eine Mehrzahl von Heizkathodendrähten zur Erzeugung von Elektronen, wobei die Heizkathodendrähte oberhalb des Bestrahlungsguts entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit angeordnet sind und wobei die

Heizkathodendrähte parallel zueinander ausgerichtet sind. Die Elektronenstrahleinheit umfasst außerdem mindestens ein Gitterelement, das dazu vorgesehen ist, die Elektronen von den Heizkathodendrähten abziehen, zu verteilen und zu beschleunigen, sowie ein Elektronenaustrittsfenster, aus dem die Elektronen nach der Beschleunigung austreten. Die Heizkathodendrähte sind relativ zur Transportrichtung um einen vorgegebenen Winkel verdreht ausgerichtet sind, wodurch sich ein schräger Verlauf der Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung ergibt.

**Fig. 4****EP 2 903 016 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Elektronenstrahleinheit, die dazu ausgelegt ist, ein flächig ausgedehntes Bestrahlungsfeld zur Elektronenbestrahlung von Bestrahlungsgut zu erzeugen. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Bestrahlung von Bestrahlungsgut mit Elektronen.

[0002] Elektronenstrahleinheiten sind dazu ausgelegt, Elektronen zu beschleunigen und ein Bestrahlungsfeld von beschleunigten Elektronen zur Verfügung zu stellen. Die Bestrahlung mit Elektronen kann für eine Vielzahl von unterschiedlichen Einsatzzwecken verwendet werden. Beispielsweise können die beschleunigten Elektronen zur Elektronenstrahlhärtung (ESH) von Druckfarben, Lacken und anderen Beschichtungen eingesetzt werden. Darüber hinaus können die hochenergetischen Elektronen zur Sterilisation von Oberflächen eingesetzt werden.

[0003] Für derartige Anwendungen ist es von Bedeutung, dass das Bestrahlungsgut während der Elektronenbestrahlung möglichst exakt mit einer vorher festgelegten Bestrahlungsdosis beaufschlagt wird. Allerdings erzeugen viele Elektronenstrahleinheiten des Stands der Technik eine Dosisverteilung, die entlang der Bestrahlungsbreite deutliche Schwankungen aufweist.

[0004] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Elektronenstrahleinheit zur Verfügung zu stellen, welche entlang der Bestrahlungsbreite eine Elektronenstrahlung von verbesserter Homogenität zur Verfügung stellt.

[0005] Diese Aufgabe der Erfindung wird durch eine Elektronenstrahleinheit nach Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren zur Bestrahlung von Bestrahlungsgut mit Elektronen nach Anspruch 17 gelöst.

[0006] Eine Elektronenstrahleinheit entsprechend den Ausführungsformen der Erfindung ist dazu ausgelegt, ein flächig ausgedehntes Bestrahlungsfeld zur Elektronenbestrahlung von Bestrahlungsgut zu erzeugen. Das Bestrahlungsgut ist in einer vorgegebenen Transportrichtung durch das Bestrahlungsfeld führbar, und das Bestrahlungsfeld erstreckt sich über eine Bestrahlungsbreite quer zur Transportrichtung. Die Elektronenstrahleinheit umfasst eine Mehrzahl von Heizkathodendrähten zur Erzeugung von Elektronen, wobei die Heizkathodendrähte oberhalb des Bestrahlungsguts entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit angeordnet sind und wobei die Heizkathodendrähte parallel zueinander ausgerichtet sind. Die Elektronenstrahleinheit umfasst außerdem mindestens ein Gitterelement, das dazu vorgesehen ist, die Elektronen von den Heizkathodendrähten abzuziehen, zu verteilen und zu beschleunigen, sowie ein Elektronenaustrittsfenster, aus dem die Elektronen nach der Beschleunigung austreten. Die Heizkathodendrähte sind relativ zur Transportrichtung um einen vorgegebenen Winkel verdreht ausgerichtet, wodurch sich ein schräger Verlauf der Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung ergibt.

[0007] Bedingt durch Unterschiede in Dicke und Struk-

tur der Heizkathodendrähte weisen die Heizkathodendrähte gewisse Unterschiede in ihrem Emissionsverhalten auf. Diese Unterschiede im Emissionsverhalten machen sich bei einem Flächenstrahler dadurch bemerkbar, dass die entlang der Bestrahlungsbreite gemessene Intensitätsverteilung Schwankungen aufweist.

[0008] Um diese Schwankungen zu reduzieren, wird vorgeschlagen, die Heizkathodendrähte relativ zu der Transportrichtung, in der das Bestrahlungsgut durch die Elektronenstrahleinheit geführt wird, um einen gewissen Winkel verdreht anzuordnen. Wenn das Bestrahlungsgut in der Transportrichtung am Elektronenaustrittsfenster der Elektronenstrahleinheit vorbeibewegt wird, verschiebt sich die von den Heizkathodendrähten erzeugte Intensitätsverteilung entsprechend dem schrägen Verlauf der Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung. Dadurch wirkt auf das Bestrahlungsgut eine gemittelte Intensitätsverteilung ein, die deutlich weniger Schwankungen aufweist als die ursprünglich von den Heizkathodendrähten erzeugte Intensitätsverteilung. Die Homogenität der aufgebrachten Bestrahlungsdosis wird dadurch verbessert. Dies ermöglicht es, eine gewünschte Bestrahlungsdosis mit wesentlich höherer Genauigkeit als bisher aufzubringen.

[0009] Nachfolgend wird die Erfindung anhand mehrerer in der Zeichnung dargestellter Ausführungsbeispiele weiter beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Elektronenstrahleinheit zur flächigen Bestrahlung mit Elektronen entsprechend dem Stand der Technik;

Fig. 2A eine Draufsicht auf eine Kathodenanordnung entsprechend dem Stand der Technik;

Fig. 2B die von der Kathodenanordnung in Fig. 3A erzeugte Dosisverteilung;

Fig. 3A eine Draufsicht auf eine Kathodenanordnung entsprechend von Ausführungsformen gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3B unterschiedliche Dosisverteilungen, die beim Durchlaufen einer Elektronenstrahleinheit mit der in Fig. 3A gezeigten Kathodenanordnung nacheinander erhalten werden;

Fig. 4 eine Elektronenstrahleinheit entsprechend von Ausführungsformen gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 einen Überblick über die zur Beschleunigung der Elektronen benötigten Spannungen;

Fig. 6A-6C verschiedene Ausführungsformen von Kathodenanordnungen;

Fig. 7A ein Elektronenaustrittsfenster mit einer

Stützkonstruktion und einer auf der Stützkonstruktion aufliegenden Metallfolie;

Fig. 7B eine Stützkonstruktion entsprechend dem Stand der Technik, bei der die Kühlkanäle in der Transportrichtung ausgerichtet sind;

Fig. 7C die entlang der Bestrahlungsbreite ermittelte Dosisverteilung für die in Fig. 7B gezeigte Stützkonstruktion;

Fig. 8 eine Stützkonstruktion, bei der die Kühlkanäle relativ zur Transportrichtung schräg angeordnet sind;

Fig. 9 einen Überblick über die zur Beschleunigung der Elektronen benötigten Spannungen; und

Fig. 10A-10C verschiedene Ausführungsformen von Stützkonstruktionen.

[0010] Fig. 1 zeigt eine Elektronenstrahleinheit 100 entsprechend dem Stand der Technik. Die Elektronenstrahleinheit 100 ist dazu ausgelegt, Bestrahlungsgut mit hoher Dosisleistung flächig zu bestrahlen. Wie in Fig. 1 gezeigt ist, kann es sich bei dem Bestrahlungsgut beispielsweise um eine Materialbahn 101 handeln, die an der Elektronenstrahleinheit 100 in einer Transportrichtung 102 vorbeigeführt wird. Die Elektronenstrahleinheit 100 kann aber auch zur Bestrahlung von anderem Bestrahlungsgut eingesetzt werden, das mit einer gewissen Geschwindigkeit unter der Elektronenstrahleinheit 100 hindurchgeführt wird.

[0011] Zur Erzielung hoher Strahlströme umfasst die Elektronenstrahleinheit 100 eine leistungsfähige Kathodenanordnung 103, die dazu ausgebildet ist, eine ausreichende Anzahl von freien Elektronen für eine flächig ausgedehnte Bestrahlung des Bestrahlungsguts zur Verfügung zu stellen. Die Kathodenanordnung 103 umfasst eine Vielzahl von Heizkathodendrähten 104, die in einer Ebene oberhalb der zu bestrahlenden Bahn angeordnet sind. Die Heizkathodendrähte 104 bestehen vorzugsweise aus Wolfram. Die Heizkathodendrähte 104 sind entlang der Bestrahlungsbreite 105 der Elektronenstrahleinheit 100 parallel zueinander in regelmäßigen Abständen angeordnet, beispielsweise in Abständen von 6-10 cm. Die Bestrahlungsbreite 105 der Elektronenstrahleinheit 100 liegt üblicherweise im Bereich zwischen ca. 30 cm und 3,5 m, abhängig von der Breite des zu bestrahlenden Materials. Bei der in Fig. 1 gezeigten Elektronenstrahleinheit 100 sind alle Heizkathodendrähte 104 parallel zueinander in der Transportrichtung 102 orientiert.

[0012] An die Heizkathodendrähte 104 wird eine konstante Spannung angelegt, so dass durch jeden der Heizkathodendrähte 104 ein Strom von mehreren Ampere zu fließen beginnt. Jeder der Heizkathodendrähte 104 wird auf diese Weise mit einer Heizleistung von z.B. 150 W pro Draht aufgeheizt. Infolge dieser Aufheizung werden

aus den Heizkathodendrähten 104 Elektronen in großer Zahl freigesetzt, und im Bereich der aufgeheizten Heizkathodendrähte 104 bildet sich eine Elektronenwolke aus.

[0013] Die Elektronenstrahleinheit 100 umfasst darüber hinaus ein oder mehrere Gitterelemente, die unterhalb der Kathodenanordnung 103 angeordnet sind. Die Gitterelemente sind dazu vorgesehen, die Elektronen von der Kathodenanordnung 103 abziehen und zu verteilen.

[0014] Die in Fig. 1 gezeigte Elektronenstrahleinheit 100 umfasst zwei Gitterelemente 106 und 107. Zwischen der Kathodenanordnung 103 und den Gitterelementen 106, 107 wird eine Gitterspannung angelegt. Dadurch werden die Gitterelemente 106, 107 relativ zur Kathodenanordnung 103 auf ein positives Potential gesetzt, um die Elektronen von der Kathodenanordnung 103 abziehen und zu verteilen.

[0015] Die eigentliche Beschleunigung der Elektronen erfolgt jedoch zwischen den Gitterelementen 106, 107 und dem Elektronenaustrittsfenster 108. Hierzu wird eine Beschleunigungsspannung in der Größenordnung von einigen 100 kV zwischen den Gitterelementen 106, 107 und dem Elektronenaustrittsfenster 108 angelegt. Die Elektronen werden durch diese Beschleunigungsspannung auf eine Energie von einigen 100 keV beschleunigt, treten dann durch das Elektronenaustrittsfenster 108 hindurch ins Freie und beaufschlagen die zu bestrahlende Materialbahn 101.

[0016] Wie in Fig. 1 zu erkennen ist, erstreckt sich das Elektronenaustrittsfenster 108 der Elektronenstrahleinheit 100 quer zur Transportrichtung 102 über die gesamte Breite der zu bestrahlenden Bahn 101 hinweg. Die Breite des Elektronenaustrittsfensters 108 legt die Bestrahlungsbreite 105 der Elektronenstrahleinheit 100 fest. Dagegen liegt die Länge 109 des Elektronenaustrittsfensters 108 beispielsweise im Bereich von 5-30 cm.

[0017] Das Elektronenaustrittsfenster 108 umfasst eine dünne Folie sowie eine Stützkonstruktion, auf der die Folie aufliegt. Die Folie muss einerseits hinreichend dünn sein, damit die beschleunigten Elektronen ohne deutliche Energieverluste hindurchtreten können. Zum anderen muss die Folie hinreichend stabil sein, damit sie dem Druckunterschied zwischen dem Vakuum im Inneren der Elektronenstrahleinheit 100 und dem Umgebungsdruck außerhalb standhalten kann. Vorzugsweise wird eine dünne Metallfolie verwendet, beispielsweise eine Titanfolie mit einer Dicke im Bereich zwischen 5 µm und 30 µm. Zur Halterung und Stabilisierung der Metallfolie liegt die Metallfolie auf einem Stützblech auf, das eine Vielzahl von Aussparungen aufweist, durch die die beschleunigten Elektronen hindurchtreten können.

[0018] Die zu bestrahlende Materialbahn 101 wird von einer Abwicklung 110 entsprechend dem Pfeil 111 abgewickelt und in der Transportrichtung 102 mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit am Elektronenaustrittsfenster 108 vorbeigeführt. Die bestrahlte Materialbahn 101 wird auf der Aufwicklung 112 in Richtung des Pfeils

113 aufgewickelt. Bei der Materialbahn 101 kann es sich beispielsweise um eine Bahn aus Papier, Kunststoff oder Textilmaterial handeln. Die Elektronenbestrahlung kann beispielsweise dazu dienen, auf die Materialbahn 101 aufgebrachte Druckfarbe, Lackschichten oder andere Veredelungsschichten zu härten. Dabei hängt die Dosisleistung, mit der die Materialbahn 101 bestrahlt wird, zum einen von Anzahl und Energie der beschleunigten Elektronen und zum anderen von der Geschwindigkeit ab, mit der die Materialbahn 101 unter der Elektronenstrahleinheit 100 hindurchbewegt wird. Die Bestrahlungsdosis wird üblicherweise in Gy (Gray) angegeben, wobei ein $Gy = 1 \text{ J/kg}$. Zur Härtung von Lackschichten ist beispielsweise eine Dosis im Bereich von 20-60 kGy erforderlich.

[0019] Alternativ zu der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform, bei der eine Materialbahn 101 mit Elektronen bestrahlt wird, ist es auch möglich, starre Platten unter der Elektronenstrahleinheit 100 hindurchzubewegen und mit Elektronen zu bestrahlen. Dabei werden die zu bestrahlenden Platten mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit in einer Transportrichtung am Elektronenaustrittsfenster 108 vorbeibewegt. Auf diese Weise ist es möglich, auf die Platten aufgebrachte Farbschichten, Lackschichten und sonstige Veredelungsschichten zu härten. Bei den Platten kann es sich beispielsweise um Holzplatten oder Laminatplatten handeln, welche beispielsweise im Bereich der Möbelfertigung benötigt werden.

[0020] In Fig. 2A ist die Kathodenanordnung 103 der in Fig. 1 gezeigten Elektronenstrahleinheit 100 in Draufsicht dargestellt. Zu erkennen sind die entlang der Bestrahlungsbreite 105 parallel nebeneinander in regelmäßigen Abständen angeordneten Heizkathodendrähte 104, welche die benötigten freien Elektronen zur Verfügung stellen. Typischerweise sind die Heizkathodendrähte 104 entlang der gesamten Bestrahlungsbreite 105 der Elektronenstrahleinheit in regelmäßigen Abständen von ca. 6-10 cm angeordnet. In Fig. 2A sind die Heizkathodendrähte 104 in der Transportrichtung 102 ausgerichtet.

[0021] Als Heizkathodendrähte werden üblicherweise Wolfram-Drähte mit einem Durchmesser von ca. 0,3 mm eingesetzt. Die verschiedenen Heizkathodendrähte 104 der Kathodenanordnung 103 weisen typischerweise kleine Unterschiede in ihrer Dicke und Struktur auf, welche zu Emissionsunterschieden im Hinblick auf die freigesetzten Elektronen führen. Beispielsweise können die Heizkathodendrähte 104 geringfügig unterschiedliche Dicken aufweisen.

[0022] Darüber hinaus können die Heizkathodendrähte 104 Riefen oder Spitzen aufweisen, so dass der sogenannte Spitzeneffekt auftritt. Außerdem neigt das Material Wolfram zu einem Auskristallisieren in Teilbereichen, wobei die auskristallisierten Bereiche dann ebenfalls einen Einfluss auf das Emissionsverhalten haben. Infolge dieser Effekte ist die Elektronenemission über die Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit hinweg nicht konstant, sondern weist vielmehr Schwankungen

auf, die durch die genannten Unterschiede in Dicke und Struktur der Heizkathodendrähte 104 hervorgerufen werden.

[0023] In Fig. 2B ist die zur Kathodenanordnung 103 gehörige Dosisverteilung entlang der Bestrahlungsbreite 105 der Elektronenstrahleinheit aufgetragen. Auf der Hochachse ist die Dosis in kGy aufgetragen, und auf der Rechtsachse ist die Position entlang der Bestrahlungsbreite 105 aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Unterschiede in Dicke und Struktur der Heizkathodendrähte 104 zu einer inhomogenen Dosisverteilung entlang der Bestrahlungsbreite 105 führen. Die Dosisverteilung kann Einbrüche und Erhebungen aufweisen, so dass sich meist kein gleichmäßiges Wellenbild ergibt. Daraus resultiert eine ungleichmäßige Bestrahlung des zu bestrahlenden Guts.

[0024] Wenn entlang der Bestrahlungsbreite beispielsweise Inhomogenitäten des Strahlstroms in der Größenordnung von $\pm 20 \text{ mA}$ auftreten, dann würde sich bezogen auf einen Gesamtstrahlstrom von 1.000 mA eine relative Schwankung von $\pm 2\%$ ergeben. In der Praxis muss jedoch eher von etwa 7%-12% Inhomogenität ausgegangen werden.

[0025] Es gibt jedoch auch Produkte, die mit kleineren Dosen bestrahlt werden müssen, und bei denen der Gesamtstrahlstrom der Elektronenstrahleinheit dann entsprechend heruntergeregelt werden muss. Bei heruntergeregeltem Gesamtstrahlstrom fallen dann die Schwankungen des Strahlstroms umso störender ins Gewicht. Wenn man Strahlstromschwankungen in der Größenordnung von 20 mA in Bezug setzt zu einem heruntergeregelten Gesamtstrahlstrom von beispielsweise 100 mA, dann ergeben sich Schwankungen in der Größenordnung von $\pm 20\%$, die entsprechende Dosischwankungen entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit zur Folge haben.

[0026] Erster Aspekt: Schräg zur Transportrichtung angeordnete Heizkathodendrähte

[0027] Zur Verbesserung der Dosishomogenität wird entsprechend einem ersten Aspekt vorgeschlagen, die Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung um einen vorgegebenen Winkel verdreht anzuordnen, so dass sich ein schräger Verlauf der Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung ergibt.

[0028] In Fig. 3A ist eine entsprechend ausgebildete Kathodenanordnung 300 gezeigt, die eine Mehrzahl von entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit nebeneinander angeordneten Heizkathodendrähten 301 umfasst. Die Heizkathodendrähte 301 sind in einer Ebene oberhalb der zu bestrahlenden Bahn angeordnet. Die Heizkathodendrähte 301 sind im regelmäßigen Abstand voneinander entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit angeordnet. Sämtliche Heizkathodendrähte 301 verlaufen parallel zueinander und sind in dieselbe Richtung orientiert. Allerdings sind im Unterschied zu Fig. 2A sämtliche Heizkathodendrähte 301 relativ zur Transportrichtung 302 um einen vorgegebenen Winkel α verdreht angeordnet. Der Winkel α liegt bei

spielsweise im Bereich zwischen ca. 2° und 60°. Insbesondere bevorzugt ist ein Bereich für den Winkel α zwischen 5° und 30°.

[0029] Dadurch, dass die Heizkathodendrähte 301 relativ zur Transportrichtung 302 verdreht sind, ergibt sich in Transportrichtung 302 gesehen ein schräger Verlauf der Heizkathodendrähte 301. Auch in Fig. 3A führen die Unterschiede in Dicke und Struktur der Heizkathodendrähte 301 zu entsprechenden Unterschieden in der Elektronenemission, die dann über die Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit hinweg entsprechende Schwankungen der Bestrahlungsdosis hervorruft.

[0030] Wenn ein zu bestrahlendes Gut in der Transportrichtung 302 unter der Elektronenstrahleinheit hindurchbewegt wird, verschiebt sich wegen des schrägen Verlaufs der Heizkathodendrähte 301 die auf das Bestrahlungsgut einwirkende Dosisverteilung von links nach rechts. Zwar ergibt sich bezogen auf die Heizkathodendrähte 301 dieselbe Dosisverteilung wie in Fig. 2A, allerdings verschiebt sich die auf das Bestrahlungsgut einwirkende Dosisverteilung entsprechend dem schrägen Verlauf der Heizkathodendrähte 301 während der Bestrahlung von links nach rechts.

[0031] Wegen des schrägen Verlaufs der Heizkathodendrähte 301 kommt es daher zu einem Mittelungsprozess in Bezug auf die Dosisverteilung. Auf das zu bestrahlende Gut wirkt eine gemittelte Dosisverteilung ein. Im Vergleich zu der in Fig. 2B gezeigten Dosisverteilung sind die Schwankungen bei der gemittelten Dosisverteilung deutlich geringer ausgeprägt, so dass sich durch die schräge Anordnung der Heizkathodendrähte 301 insgesamt eine deutlich homogenere Bestrahlung ergibt als bei den Ausführungsformen des Stands der Technik, bei denen die Heizkathodendrähte in der Transportrichtung orientiert waren.

[0032] Diese dem schrägen Verlauf der Heizkathodendrähte 302 folgende Verschiebung der Dosisverteilung von links nach rechts soll im Folgenden anhand eines Beispiels beschrieben werden. Hierzu wird ein vorgegebener Punkt auf einer zu bestrahlenden Materialbahn betrachtet, die in der Transportrichtung 302 unter der Kathodenanordnung 300 hindurchbewegt wird. Zuerst erreicht der vorgegebene Punkt die Position 303A. Etwas später erreicht der Punkt die Position 303B, und noch etwas später die Position 303C.

[0033] Die an den Positionen 303A, 303B, 303C auf das zu bestrahlende Gut einwirkenden Dosisverteilungen sind in Fig. 3B dargestellt. Entlang der Hochachse ist die Bestrahlungsdosis in kGy aufgetragen, und entlang der Rechtsachse ist die Position entlang der Bestrahlungsbreite des Elektronenstrahlers aufgetragen.

[0034] Wenn sich der vorgegebene Punkt der Materialbahn bei der Position 303A befindet, wirkt die Dosisverteilung 304A auf die Materialbahn ein. Wenn sich der vorgegebene Punkt zur Position 303B weiterbewegt hat, wirkt an dieser Position 303B die nach rechts verschobene Dosisverteilung 304B auf die Materialbahn ein. Wegen des schrägen Verlaufs der Heizkathodendrähte 301

hat sich die Dosisverteilung 304B relativ zur Dosisverteilung 304A etwas nach rechts verschoben. Wenn sich der vorgegebene Punkt zur Position 303C weiterbewegt hat, wirkt an dieser Position 303C die noch weiter nach rechts verschobene Dosisverteilung 304C auf die Materialbahn ein. Beim Durchlaufen der Elektronenstrahleinheit ist der vorgegebene Punkt auf der Materialbahn einer sich von links nach rechts verschiebenden Dosisverteilung ausgesetzt. Im Mittel wirkt daher beim Durchlaufen der Elektronenstrahleinheit auf jeden Punkt der Materialbahn eine gemittelte Dosisverteilung 305 ein, die in Fig. 3B als gestrichelte Linie eingezeichnet ist.

[0035] Anhand von Fig. 3B ist zu erkennen, dass die Dosischwankungen der gemittelten Dosisverteilung 305 deutlich geringer sind als die Dosischwankungen der ursprünglichen Dosisverteilungen 304A, 304B, 304C. Die durch den schrägen Verlauf der Heizkathodendrähte 301 bewirkte Mittelung der Dosisverteilungen 304A, 304B, 304C bewirkt eine Verringerung der Dosischwankungen entlang der Bestrahlungsbreite, so dass die Homogenität der Elektronenbestrahlung deutlich verbessert werden kann. Während sich die Dosischwankungen der ursprünglichen Dosisverteilungen 304A, 304B und 304C im Bereich von ca. 5,1-5,5% bewegen, weist die gemittelte Dosisverteilung 305 bei dem gezeigten Fallbeispiel nur mehr eine Dosischwankung von 3,7% auf. Insbesondere bei heruntergeregeltem Gesamtstrahlstrom und bei geringen Strahlungsdosen wird daher durch die schräge Anordnung der Heizkathodendrähte die Genauigkeit, mit der eine gewünschte Bestrahlungsdosis appliziert werden kann, deutlich verbessert.

[0036] Fig. 4 zeigt eine Elektronenstrahleinheit 400, die mit einer entsprechend Fig. 3A ausgebildeten Kathodenanordnung 300 ausgestattet ist. Wie bereit anhand von Fig. 3A beschrieben worden ist, umfasst die Kathodenanordnung 300 eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Heizkathodendrähten 301, welche relativ zur Transportrichtung 302 jeweils um einen vorgegebenen Winkel α verdreht angeordnet sind. Die Elektronenstrahleinheit 400 umfasst darüber hinaus ein erstes Gitterelement 401 sowie ein zweites Gitterelement 402, welche dazu ausgebildet sind, die von den Heizkathodendrähten 301 erzeugten freien Elektronen abzuführen und zu verteilen. Die Elektronen werden zwischen dem zweiten Gitterelement 402 und dem Elektronenaustrittsfenster 403 einer starken Beschleunigung unterworfen. Die hochenergetischen Elektronen treten dann durch das Elektronenaustrittsfenster 403 hindurch. Die Materialbahn 404 wird von der Abwicklung 405 abgewickelt und in der Transportrichtung 302 unter dem Elektronenaustrittsfenster 403 vorbeigeführt. Dort wird die Materialbahn 404 mit hochenergetischen Elektronen beaufschlagt. Die bestrahlte Materialbahn 404 wird anschließend auf der Abwicklung 406 aufgewickelt.

[0037] Durch die schräge Orientierung der Heizkathodendrähte 301 relativ zur Transportrichtung 302 wird erreicht, dass die Materialbahn 404 beim Passieren des

Elektronenaustrittsfensters 403 mit einer gemittelten Dosisverteilung beaufschlagt wird. Dadurch wird die Homogenität der Elektronenbestrahlung verbessert.

[0038] Anstatt zur Bestrahlung von Materialbahnen kann die Elektronenstrahleinheit 400 auch zur Bestrahlung von anderen Werkstücken verwendet werden, die mit einer vorgegebenen Transportgeschwindigkeit in einer bestimmten Transportrichtung unter der Elektronenstrahleinheit 400 hindurchbewegt werden. Beispielsweise kann die Elektronenstrahleinheit zur Bestrahlung von Platten eingesetzt werden, die in einer bestimmten Transportrichtung unter der Elektronenstrahleinheit vorbeigeführt werden.

[0039] In Fig. 5 sind die zur Beschleunigung der Elektronen benötigten Spannungen im Überblick dargestellt. Die Heizkathodendrähte 301 der Kathodenanordnung 300 sind in einer Ebene oberhalb der zu bestrahlenden Bahn angeordnet. Sämtliche Heizkathodendrähte 301 der Kathodenanordnung 300 verlaufen parallel zueinander und sind in dieselbe Richtung orientiert. Relativ zur Transportrichtung 302 sind die Heizkathodendrähte 301 um den vorgegebenen Winkel α verdreht angeordnet, so dass sich in Transportrichtung 302 gesehen ein schräger Verlauf der Heizkathodendrähte 301 ergibt.

[0040] Wenn durch die Heizkathodendrähte 301 ein Strom in der Größenordnung von einigen Ampere fließt, heizen sich die Heizkathodendrähte 301 stark auf, und es bildet sich rund um die Heizkathodendrähte 301 eine Wolke von freien Elektronen. Zwischen den Heizkathodendrähten 301 und den Gitterelementen 401 und 402 wird eine Gitterspannung U_G in der Größenordnung von einigen hundert Volt angelegt. Die Gitterspannung ist so gepolt, dass sich die beiden Gitterelemente 401, 402 relativ zu den Heizkathodendrähten 301 auf positivem Potential befinden. Die Gitterspannung U_G ist dazu ausgelegt, die freien Elektronen von den Heizkathodendrähten 301 abziehen, zu verteilen und zu den Gitterelementen 401, 402 hin zu beschleunigen. Die beiden Gitterelemente 401 und 402 befinden sich auf demselben Potential.

[0041] Zwischen den Gitterelementen 401, 402 einerseits und dem Elektronenaustrittsfenster 403 andererseits wird die Beschleunigungsspannung U_B angelegt, die sich in einer Größenordnung von etwa 60 kV bis einige hundert kV bewegt. Die Beschleunigungsspannung U_B ist so gepolt, dass sich das Elektronenaustrittsfenster 403 relativ zu den Gitterelementen 401, 402 auf positivem Potential befindet. Insofern werden die Elektronen auf der Wegstrecke zwischen dem zweiten Gitterelement 402 und dem Elektronenaustrittsfenster 403 einer starken Beschleunigung in Richtung zum Elektronenaustrittsfenster 403 hin ausgesetzt. Das Elektronenaustrittsfenster 403 ist Teil des Gehäuses der Elektronenstrahleinheit 400 und wird daher geerdet.

[0042] In Fig. 5 ist in der Darstellung des Elektronenaustrittsfensters 403 auch die Struktur der Stützkonstruktion 500 mit eingezeichnet. Die Stützkonstruktion 500 ist als Lochblech ausgebildet und umfasst eine Vielzahl von Öffnungen 501, durch die die beschleunigten Elektronen

hindurchtreten können. Darüber hinaus sind eine Mehrzahl von Kühlkanälen 502 zu erkennen, die sich innerhalb der Stützkonstruktion von der Vorderseite zur Rückseite des Elektronenaustrittsfensters 403 erstrecken. Die Richtung, in der die in Fig. 5 gezeigten Kühlkanäle 502 verlaufen, entspricht der Transportrichtung 302 der Materialbahn 404.

[0043] In den Fig. 6A-6C sind drei Ausführungsformen von Kathodenanordnungen gezeigt, die jeweils schräg zur Transportrichtung angeordnete Heizkathodendrähte aufweisen.

[0044] Die in Fig. 6A gezeigte Kathodenanordnung 600 umfasst eine Mehrzahl von Heizkathodendrähten 601, die schräg zur Transportrichtung 602 angeordnet sind. In Fig. 6A sind die Heizkathodendrähte 601 so angeordnet, dass der Endpunkt 603 eines Heizkathodendrahts in Transportrichtung 602 betrachtet jeweils hinter dem Anfangspunkt 604 eines benachbarten Heizkathodendrahts liegt, wie dies in Fig. 6A durch die gestrichelten Linien 605 veranschaulicht ist. Durch diese Anordnung der Heizkathodendrähte 601 wird erreicht, dass jeder Punkt entlang der in Fig. 6A ebenfalls eingezeichneten Bestrahlungsbreite 606 durch genau einen Heizkathodendraht 601 abgedeckt wird. Dadurch wird eine besonders gleichmäßige Beschickung des Flächenstrahlers mit Elektronen erreicht.

[0045] In Fig. 6B ist eine weitere Ausführungsform einer Kathodenanordnung 607 gezeigt. Die Kathodenanordnung 607 umfasst eine Mehrzahl von Heizkathodendrähten 608, die parallel zueinander und schräg zur Transportrichtung 609 angeordnet sind. Die Anordnung der Heizkathodendrähte 608 ist dabei so gewählt, dass sich der Endabschnitt 610 eines Heizkathodendrahts in Transportrichtung 609 betrachtet jeweils mit dem Anfangsabschnitt 611 eines benachbarten Heizkathodendrahts überlappt. Durch diese in Transportrichtung 609 gesehen überlappende Anordnung der Heizkathodendrähte 608 wird erreicht, dass jeder Punkt entlang der Bestrahlungsbreite 612 von mindestens einem Heizkathodendraht 608 der Kathodenanordnung 607 mit Elektronen beschickt wird.

[0046] In Fig. 6C ist eine weitere Ausführungsform einer Kathodenanordnung 613 gezeigt, welche wiederum eine Vielzahl von Heizkathodendrähten 614 umfasst, die relativ zur Transportrichtung 615 schräg angeordnet sind. Anhand von Fig. 6C ist zu erkennen, dass ein Heizkathodendraht 614 in Transportrichtung 615 gesehen überlappend mit dem benachbarten Heizkathodendraht 614 ausgebildet ist. Dabei sind die Heizkathodendrähte 614 so angeordnet, dass der Endpunkt 616 eines Heizkathodendrahts in Transportrichtung 615 gesehen jeweils hinter dem Anfangspunkt 617 des übernächsten Heizkathodendrahts 614 liegt, wie dies in Fig. 6C durch die gestrichelten Linien 618 veranschaulicht ist. Durch eine derartige Überlappung der Heizkathodendrähte 614 wird erreicht, dass jeder Punkt entlang der gesamten Bestrahlungsbreite 619 jeweils von zwei Heizkathodendrähten 614 abgedeckt wird. Dadurch wird eine gleich-

mäßige und intensive Beschickung der Elektronenstrahleinheit mit Elektronen gewährleistet.

Zweiter Aspekt: Schräg zur Transportrichtung verlaufende Kühlkanäle

[0047] Im Folgenden wird ein zweiter Aspekt beschrieben, der ebenfalls zu einer verbesserten Homogenität der Bestrahlungsdosis beiträgt. Bei diesem zweiten Aspekt handelt es sich um eine eigenständige Maßnahme, die unabhängig von der bislang beschriebenen schrägen Anordnung der Heizkathodendrähte implementiert werden kann. Dieser zweite Aspekt kann allerdings auch auf vorteilhafte Weise mit dem ersten Aspekt, nämlich der schrägen Anordnung der Heizkathodendrähte kombiniert werden.

[0048] In Fig. 7A ist ein Elektronenaustrittsfenster 700 entsprechend dem Stand der Technik gezeigt. Das Elektronenaustrittsfenster 700 umfasst eine Metallfolie 701 und eine Stützkonstruktion 702, auf der die Metallfolie 701 aufliegt. Die Metallfolie 701 und die Stützkonstruktion 702 erstrecken sich über die gesamte Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit. Innerhalb der Elektronenstrahleinheit herrscht ein Vakuum, während außerhalb der Elektronenstrahleinheit der normale Atmosphärendruck herrscht. Die Metallfolie 701 liegt an der Außenseite der Stützkonstruktion 702 an. Durch die Druckdifferenz zwischen dem Vakuum im Inneren der Elektronenstrahleinheit und dem Umgebungsdruck außerhalb der Elektronenstrahleinheit wird die Metallfolie 701 von außen gegen die Stützkonstruktion 702 gedrückt.

[0049] Die Metallfolie 701 muss einerseits hinreichend stabil sein, um dieser Druckdifferenz standhalten zu können. Andererseits muss die Metallfolie 701 hinreichend dünn ausgebildet sein, damit die beschleunigten Elektronen beim Durchtritt durch die Metallfolie 701 nur geringfügig geschwächt werden. Vorzugsweise weist die Metallfolie 701 eine Dicke im Bereich zwischen beispielsweise 5 μm und 20 μm auf. Beispielsweise kann eine dünne Titanfolie mit einer Dicke im Bereich zwischen 5 μm und 20 μm verwendet werden.

[0050] Die Stützkonstruktion 702 ist typischerweise nach Art eines Lochblechs ausgebildet und umfasst eine Vielzahl von Öffnungen 703 und Stegen 704. Durch die Öffnungen 703 der Stützkonstruktion 702 können die beschleunigten Elektronen ungehindert hindurchtreten und werden dann lediglich durch die Metallfolie 701 geschwächt. Im Bereich der Stege 704 werden die beschleunigten Elektronen dagegen absorbiert. Die Stege 704 sind notwendig, um über die gesamte Bestrahlungsbreite hinweg eine hinreichend hohe Stabilität der Stützkonstruktion 702 zu erhalten.

[0051] Durch die Stützkonstruktion 702 werden eine Vielzahl von hochenergetischen Elektronen absorbiert. Dadurch heizt sich die Stützkonstruktion 702 stark auf. Zur Kühlung der Stützkonstruktion 702 sind eine Mehrzahl von Kühlkanälen 705 innerhalb der Stützkonstruktion 702 vorgesehen. Durch diese Kühlkanäle 705 wird

Kühlmittel gepumpt, und auf diese Weise wird die von den absorbierten Elektronen verursachte Hitze abtransportiert. Bei der in Fig. 7A gezeigten Ausführungsform verlaufen die Kühlkanäle 705 in Längsrichtung. Die Kühlkanäle 705 sind also in der Transportrichtung 706 des zu bestrahlenden Guts ausgerichtet. Dies führt jedoch zu einigen Problemen, die in den Fig. 7B und 7C veranschaulicht sind.

[0052] In Fig. 7B ist das Elektronenaustrittsfenster 700 in Draufsicht gezeigt, wobei auch die Stützkonstruktion 702 zu erkennen ist. Die beschleunigten Elektronen können durch die Öffnungen 703 der Stützkonstruktion 702 hindurchfliegen. Zu erkennen sind außerdem die Kühlkanäle 705, die in der Transportrichtung 706 ausgerichtet sind. An den Stellen, an denen die Kühlkanäle 705 verlaufen, befinden sich keine Öffnungen 703.

[0053] Fig. 7C zeigt die Dosisverteilung 707 der Bestrahlungsdosis, die entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit an das zu bestrahlende Gut abgegeben wird. Entlang der Rechtsachse von Fig. 7C ist die Position entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit aufgetragen, und auf der Hochachse ist die Bestrahlungsdosis in kGy aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Dosisverteilung 707 an den Stellen 708, an denen die Kühlkanäle 705 verlaufen, charakteristische Absenkungen 709 aufweist. An den Stellen 708, an denen die Kühlkanäle 705 verlaufen, können die beschleunigten Elektronen die Stützkonstruktion 702 nicht durchdringen. Dort entstehen daher charakteristische Abschattungen, die in der Dosisverteilung 707 als Absenkungen 709 zu erkennen sind. Wegen dieser entlang der Bestrahlungsbreite auftretenden Abschattungen wird die auf das Bestrahlungsgut aufgebrachte Dosis inhomogen und somit ungenau.

[0054] Entsprechend von Ausführungsformen der Erfindung gemäß dem zweiten Aspekt sind die Kühlkanäle relativ zur Transportrichtung des Bestrahlungsguts um einen vorgegebenen Winkel verdreht orientiert, so dass sich relativ zur Transportrichtung ein schräger Verlauf der Kühlkanäle ergibt.

[0055] In Fig. 8 ist ein Elektronenaustrittsfenster 800 mit einer entsprechend ausgebildeten Stützkonstruktion 801 gezeigt. Die Stützkonstruktion 801 weist eine Vielzahl von Öffnungen 802 auf, durch die die beschleunigten Elektronen hindurchtreten können. Darüber hinaus weist die Stützkonstruktion 801 eine Vielzahl von parallel zueinander angeordneten Kühlkanälen 803 auf, die entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit nebeneinander angeordnet sind. Wie anhand von Fig. 8 zu erkennen ist, sind die Kühlkanäle 803 relativ zur Transportrichtung 804 um einen vorgegebenen Winkel β verdreht angeordnet. Die Kühlkanäle 803 verlaufen daher schräg zur Transportrichtung 804. Der Winkel β kann beispielsweise im Bereich zwischen ca. 2° und 60° liegen. Insbesondere bevorzugt ist ein Bereich für den Winkel β zwischen 5° und 30°.

[0056] Wenn ein zu bestrahlendes Gut in der Transportrichtung 804 unter dem Elektronenaustrittsfenster

und der Stützkonstruktion 801 hindurch bewegt wird, dann verschiebt sich infolge des schrägen Verlaufs der Kühlkanäle 803 die auf das Bestrahlungsgut einwirkende Dosisverteilung 707 mit ihren charakteristischen Absenkungen 709 dem schrägen Verlauf der Kühlkanäle 803 folgend von rechts nach links. In der Summe wirkt während des Durchlaufens der Elektronenstrahleinheit eine gemittelte Dosisverteilung auf das Bestrahlungsgut ein, wobei die Abschattungen infolge des Mittelungsprozesses verschwinden bzw. reduziert werden.

[0057] Dies soll im Folgenden anhand eines Beispiels erläutert werden. Es wird ein Punkt auf dem Bestrahlungsgut betrachtet, der in der Transportrichtung 804 unter dem Elektronenaustrittsfenster der Elektronenstrahleinheit hindurch bewegt wird. Auf diesen Punkt wirkt während des Durchlaufens der Bestrahlung eine Dosisverteilung ein, die sich - dem schrägen Verlauf der Kühlkanäle 803 folgend - von rechts nach links verschiebt, wobei sich insbesondere auch die von den Kühlkanälen 803 verursachten Abschattungen von rechts nach links verschieben.

[0058] Beispielsweise wirkt an einer ersten Position 805 eine erste Dosisverteilung auf den betrachteten Punkt ein. Wenn der Punkt dann zu einem späteren Zeitpunkt eine zweite Position 806 erreicht, dann wirkt dort eine um ein Stück weit nach links verschobene Dosisverteilung auf den betrachteten Punkt ein. Während der Bestrahlungsdauer verschiebt sich die Dosisverteilung 707 mit den Absenkungen 709 also kontinuierlich von rechts nach links, so dass in der Summe eine gemittelte Dosisverteilung auf das Bestrahlungsgut einwirkt. Durch diesen Mittelungsprozess werden die von den Kühlkanälen 803 verursachten Abschattungen weggemittelt.

[0059] Durch die relativ zur Transportrichtung 804 schräge Anordnung der Kühlkanäle 803 wird im Vergleich zum Stand der Technik eine deutlich verbesserte Homogenität der Elektronenbestrahlung entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit erzielt. Dadurch wird eine genauere Dosierung der Bestrahlung ermöglicht.

[0060] In Fig. 9 sind die zur Beschleunigung der Elektronen benötigten Spannungen im Überblick dargestellt. Die Heizkathodendrähte 104 der Kathodenanordnung 103 sind in einer Ebene oberhalb der zu bestrahlenden Bahn angeordnet. Die Heizkathodendrähte 104 der Kathodenanordnung 103 sind parallel zueinander angeordnet. Bei dem in Fig. 9 gezeigten Beispiel sind die Heizkathodendrähte 104 in der Transportrichtung 804 orientiert.

[0061] Beim Aufheizen der Heizkathodendrähte 104 bildet sich um die Heizkathodendrähte 104 eine Wolke von freien Elektronen.

[0062] Zwischen den Heizkathodendrähten 104 und den Gitterelementen 106 und 107 wird eine Gitterspannung U_G in der Größenordnung von einigen hundert Volt angelegt. Die Gitterspannung U_G dient dazu, die freien Elektronen von den Heizkathodendrähten 104 abzuziehen, zu verteilen und zu den Gitterelementen 106, 107

hin zu beschleunigen. Die Gitterspannung ist so gepolt, dass sich die beiden Gitterelemente 106, 107 relativ zu den Heizkathodendrähten 104 auf positivem Potential befinden.

[0063] Die Beschleunigungsspannung U_B , die sich in einer Größenordnung von etwa 60 kV bis einige hundert kV bewegt, wird zwischen den Gitterelementen 106, 107 und dem Elektronenaustrittsfenster 800 angelegt. Die Beschleunigungsspannung U_B ist so gepolt, dass sich das Elektronenaustrittsfenster 800 relativ zu den Gitterelementen 106, 107 auf positivem Potential befindet. Die Beschleunigungsspannung U_B dient zur Beschleunigung der Elektronen auf der Wegstrecke zwischen dem zweiten Gitterelement 107 und dem Elektronenaustrittsfenster 800. Das Elektronenaustrittsfenster 800 ist Teil des Gehäuses der Elektronenstrahleinheit 100 und wird daher gerdet.

[0064] In Fig. 9 ist in der Darstellung des Elektronenaustrittsfensters 800 auch die Struktur der Stützkonstruktion 801 mit eingezeichnet. Die Stützkonstruktion 801 ist als Lochblech ausgebildet und umfasst eine Vielzahl von Öffnungen 802, durch die die beschleunigten Elektronen hindurchtreten können. Darüber hinaus sind eine Mehrzahl von Kühlkanälen 803 zu erkennen, die sich innerhalb der Stützkonstruktion 801 von der Vorderseite zur Rückseite des Elektronenaustrittsfensters 800 erstrecken. Es ist zu erkennen, dass die Kühlkanäle 803 relativ zu der Transportrichtung 804 um einen Winkel β verdreht angeordnet sind und somit schräg zur Transportrichtung 804 verlaufen.

[0065] In den Fig. 10A-10C sind drei Ausführungsformen von Stützkonstruktionen gezeigt, die jeweils schräg zur Transportrichtung angeordnete Kühlkanäle aufweisen.

[0066] Die in Fig. 10A gezeigte Stützkonstruktion 1000 umfasst eine Mehrzahl von Kühlkanälen 1001, die schräg zur Transportrichtung 1002 angeordnet sind. In Fig. 10A sind die Kühlkanäle 1001 so angeordnet, dass der Endpunkt 1003 eines Kühlkanals in Transportrichtung 1002 betrachtet jeweils hinter dem Anfangspunkt 1004 eines benachbarten Kühlkanals liegt, wie dies in Fig. 10A durch die gestrichelten Linien veranschaulicht ist. Durch diese Anordnung der Kühlkanäle 1001 wird erreicht, dass jeder Punkt entlang der in Fig. 10A ebenfalls eingezeichneten Bestrahlungsbreite 1005 durch genau einen Kühlkanal 1001 abgedeckt wird. Dadurch werden die von den Kühlkanälen verursachten Abschattungen gleichmäßig entlang der Bestrahlungsbreite 1005 verteilt.

[0067] In Fig. 10B ist eine weitere Ausführungsform einer Stützkonstruktion 1006 gezeigt. Die Stützkonstruktion 1006 umfasst eine Mehrzahl von Kühlkanälen 1007, die parallel zueinander und schräg zur Transportrichtung 1008 angeordnet sind. Die Anordnung der Kühlkanäle 1007 ist dabei so gewählt, dass sich der Endabschnitt 1009 eines Kühlkanals in Transportrichtung 1008 betrachtet jeweils mit dem Anfangsabschnitt 1010 eines benachbarten Kühlkanals überlappt. Durch diese in Transportrichtung 1008 gesehen überlappende Anordnung

der Kühlkanäle 1007 werden die von den Kühlkanälen verursachten Abschattungen gleichmäßig entlang der Bestrahlungsbreite 1011 verteilt.

[0068] In Fig. 10C ist eine weitere Ausführungsform einer Stützkonstruktion 1012 gezeigt, welche wiederum eine Vielzahl von Kühlkanälen 1013 umfasst, die relativ zur Transportrichtung 1014 schräg angeordnet sind. Anhand von Fig. 10C ist zu erkennen, dass ein Kühlkanal 1013 in Transportrichtung 1014 gesehen überlappend mit dem benachbarten Kühlkanal 1013 ausgebildet ist. Dabei sind die Kühlkanäle 1013 so angeordnet, dass der Endpunkt 1015 eines Kühlkanals in Transportrichtung 1014 gesehen jeweils hinter dem Anfangspunkt 1016 des übernächsten Kühlkanals liegt, wie dies in Fig. 10C durch die gestrichelten Linien veranschaulicht ist. Durch diese Anordnung der Kühlkanäle 1007 werden die von den Kühlkanälen verursachten Abschattungen gleichmäßig entlang der Bestrahlungsbreite 1017 verteilt.

[0069] Gemäß dem soeben beschriebenen zweiten Aspekt sind die Kühlkanäle relativ zur Transportrichtung des Bestrahlungsguts um einen vorgegebenen Winkel verdreht orientiert, so dass sich relativ zur Transportrichtung ein schräger Verlauf der Kühlkanäle ergibt. Bei dem zweiten Aspekt handelt es sich um eine eigenständige Maßnahme, die unabhängig von dem ersten Aspekt für sich allein implementiert werden kann.

[0070] Entsprechend dem eingangs beschriebenen ersten Aspekt sind die Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung um einen vorgegebenen Winkel verdreht angeordnet, so dass sich ein schräger Verlauf der Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung ergibt. Auch bei diesem ersten Aspekt handelt es sich um eine eigenständige Maßnahme, die unabhängig von dem zweiten Aspekt für sich allein implementiert werden kann.

[0071] Es ist aber auch von Vorteil, den ersten Aspekt mit dem zweiten Aspekt zu kombinieren. Entsprechend dem ersten Aspekt sind die Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung um einen vorgegebenen ersten Winkel verdreht angeordnet, und entsprechend dem zweiten Aspekt sind die Kühlkanäle relativ zur Transportrichtung des Bestrahlungsguts um einen vorgegebenen zweiten Winkel verdreht orientiert. Durch die Kombination dieser beiden Maßnahmen lässt sich eine noch weiter verbesserte Homogenität der Elektronenstrahlung entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit erzielen. Jeder der beiden Aspekte lässt sich jedoch auch einzeln einsetzen.

Patentansprüche

1. Eine Elektronenstrahleinheit (400), die dazu ausgelegt ist, ein flächig ausgedehntes Bestrahlungsfeld zur Elektronenbestrahlung von Bestrahlungsgut (404) zu erzeugen, wobei das Bestrahlungsgut (404) in einer vorgegebenen Transportrichtung (302) durch das Bestrahlungsfeld führbar ist,

wobei sich das Bestrahlungsfeld über eine Bestrahlungsbreite quer zur Transportrichtung (302) erstreckt, und wobei die Elektronenstrahleinheit (400) aufweist:

- eine Mehrzahl von Heizkathodendrähten (301) zur Erzeugung von Elektronen, wobei die Heizkathodendrähte (301) oberhalb des Bestrahlungsguts (404) entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit (400) angeordnet sind, wobei die Heizkathodendrähte (301) parallel zueinander ausgerichtet sind,
- mindestens ein Gitterelement (401, 402), das dazu vorgesehen ist, die Elektronen von den Heizkathodendrähten (301) abzuziehen, zu verteilen und zu beschleunigen,
- ein Elektronenaustrittsfenster (403), aus dem die Elektronen nach der Beschleunigung austreten,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Heizkathodendrähte (301) relativ zur Transportrichtung (302) um einen vorgegebenen Winkel verdreht ausgerichtet sind, wodurch sich ein schräger Verlauf der Heizkathodendrähte (301) relativ zur Transportrichtung (302) ergibt.

2. Elektronenstrahleinheit nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** mindestens eines von folgenden:

- die Heizkathodendrähte sind in einer Richtung ausgerichtet, die relativ zur Transportrichtung um den vorgegebenen Winkel verdreht ist;
- die Heizkathodendrähte sind in einer Richtung ausgerichtet, die von der Transportrichtung um den vorgegebenen Winkel abweicht;
- die Orientierung der Heizkathodendrähte weicht um den vorgegebenen Winkel von der Transportrichtung des Bestrahlungsguts ab.

3. Elektronenstrahleinheit nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **gekennzeichnet durch** mindestens eines von folgenden:

- der vorgegebene Winkel liegt im Bereich zwischen 2° und 60°;
- der vorgegebene Winkel liegt im Bereich zwischen 5° und 30°.

4. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite des Elektronenaustrittsfensters quer zur Transportrichtung des Bestrahlungsguts orientiert ist und die Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit festlegt.

5. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche

1 bis 4, **gekennzeichnet durch** mindestens eines von folgenden:

- die Heizkathodendrähte sind in einer Ebene oberhalb des Bestrahlungsguts entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit aufgereiht;
- die Heizkathodendrähte sind parallel nebeneinander schräg zur Transportrichtung ausgerichtet;
- die Heizkathodendrähte sind entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit parallel zueinander und voneinander beabstandet aufgereiht;
- die Heizkathodendrähte sind entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit beabstandet zueinander in regelmäßigen Abständen aufgereiht.

6. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektronenstrahleinheit eine dem einlaufenden Bestrahlungsgut zugewandte Vorderseite und eine dem auslaufenden Bestrahlungsgut zugewandte Rückseite aufweist.

7. Elektronenstrahleinheit nach Anspruch 6, **gekennzeichnet durch** mindestens eines von folgenden:

- die Heizkathodendrähte erstrecken sich von der Vorderseite der Elektronenstrahleinheit zur Rückseite der Elektronenstrahleinheit;
- die Heizkathodendrähte verlaufen parallel zueinander und relativ zur Transportrichtung schräg ausgerichtet von der Vorderseite der Elektronenstrahleinheit zur Rückseite der Elektronenstrahleinheit;
- die Heizkathodendrähte sind relativ zu Vorderseite und Rückseite der Elektronenstrahleinheit nach Art eines Parallelogramms angeordnet.

8. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **gekennzeichnet durch** eines von folgenden:

- in Transportrichtung betrachtet ergibt sich ein schräger Verlauf von jedem der Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung von links nach rechts;
- in Transportrichtung betrachtet ergibt sich ein schräger Verlauf von jedem der Heizkathodendrähte relativ zur Transportrichtung von rechts nach links.

9. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Heizkathodendrähte parallel nebeneinander schräg zur Transportrichtung angeordnet sind, wobei in Trans-

portrichtung betrachtet der Endpunkt eines ersten Heizkathodendrahts vor oder hinter dem Anfangspunkt eines zweiten benachbarten Heizkathodendrahts liegt.

10. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **gekennzeichnet durch** mindestens eines von folgenden:

- die Heizkathodendrähte sind parallel nebeneinander schräg zur Transportrichtung angeordnet, wobei sich in Transportrichtung betrachtet der Verlauf von benachbarten Heizkathodendrähten zum Teil überlappt;
- die Heizkathodendrähte sind parallel nebeneinander schräg zur Transportrichtung angeordnet, wobei sich in Transportrichtung betrachtet ein erster Heizkathodendraht zum Teil mit einem benachbarten zweiter Heizkathodendraht überlappt;
- die Heizkathodendrähte sind parallel nebeneinander schräg zur Transportrichtung angeordnet, wobei sich in Transportrichtung betrachtet ein Endabschnitt eines ersten Heizkathodendrahts mit einem Anfangsabschnitt eines benachbarten zweiten Heizkathodendrahts überlappt.

11. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Position entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit von mindestens einem der Heizkathodendrähte überstrichen wird.

12. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Heizkathodendrähte entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit eine Dosisverteilung des Bestrahlungsfelds entsteht, wobei sich beim Durchlaufen des Bestrahlungsfelds die Dosisverteilung infolge der relativ zur Transportrichtung schräg ausgerichteten Heizkathodendrähte quer zur Transportrichtung seitlich verschiebt.

13. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **gekennzeichnet durch** mindestens eines von folgenden:

- auf das Bestrahlungsgut wirkt beim Durchlaufen des Bestrahlungsfelds infolge der relativ zur Transportrichtung schräg ausgerichteten Heizkathodendrähte eine gemittelte Dosisverteilung ein;
- entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit sind die Schwankungen der infolge der schrägen Ausrichtung der Heizkathodendrähte gemittelten Dosisverteilung geringer, als dies bei in Transportrichtung ausgerichteten

Heizkathodendrähten der Fall wäre.

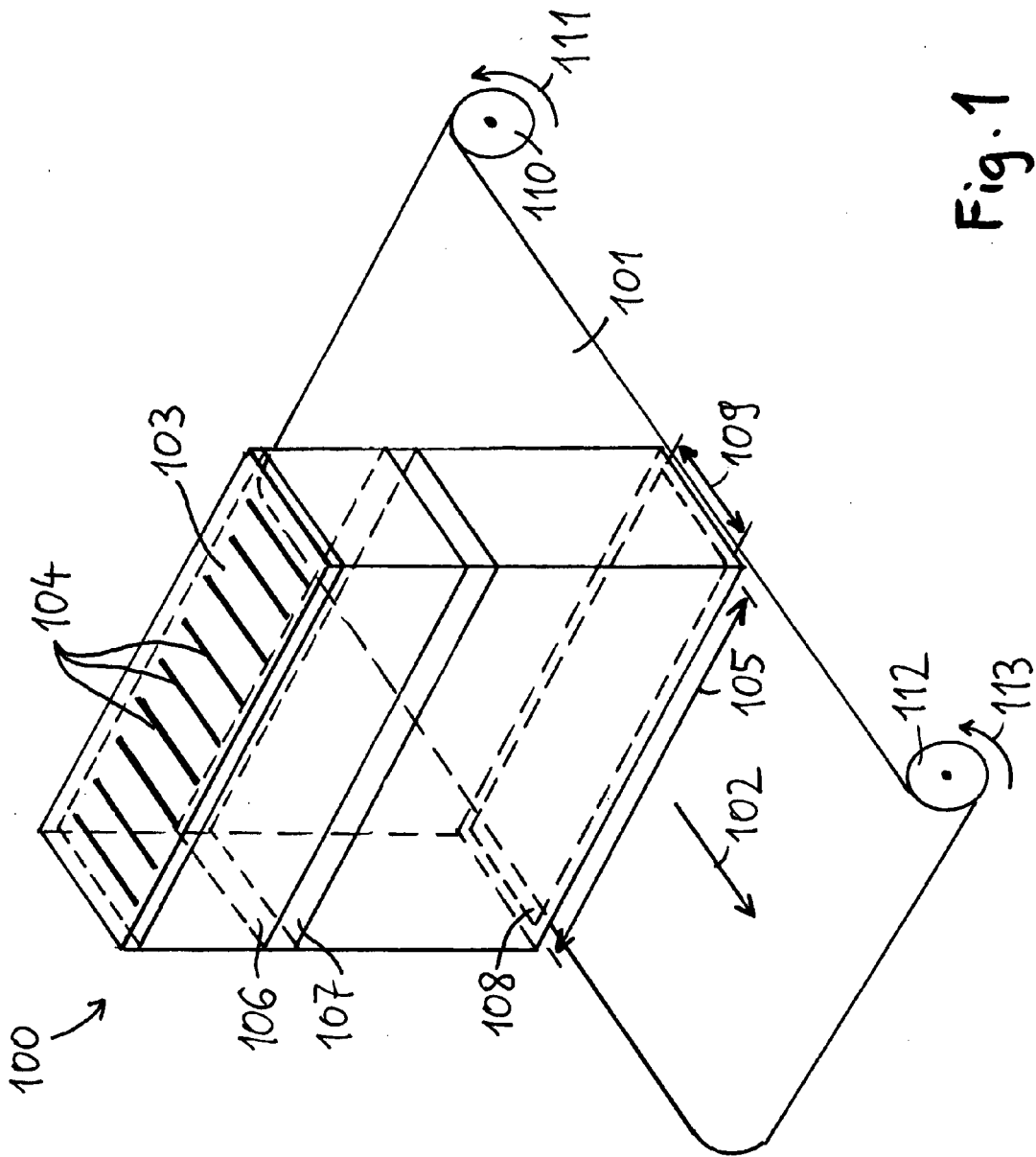
14. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **gekennzeichnet durch** mindestens eines von folgenden: 5
- die Heizkathodendrähte bestehen aus Wolfram;
 - die Heizkathodendrähte weisen einen Durchmesser im Bereich zwischen 0,1 mm und 1 mm auf. 10
15. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **gekennzeichnet durch** mindestens eines von folgenden: 15
- die Elektronenstrahleinheit umfasst eine Transportvorrichtung, die das Bestrahlungsgut zur Bestrahlung in Transportrichtung **durch** das Bestrahlungsfeld transportiert;
 - bei dem Bestrahlungsgut handelt es sich um eine Materialbahn;
 - bei dem Bestrahlungsgut handelt es sich um eine Materialbahn, und die Elektronenstrahleinheit umfasst eine Transportvorrichtung, die die Materialbahn zur Bestrahlung stetig **durch** das Bestrahlungsfeld transportiert;
 - bei dem Bestrahlungsgut handelt es sich um eine Materialbahn, und die Elektronenstrahleinheit umfasst eine Transportvorrichtung, die dazu ausgelegt ist, die Materialbahn von einer Abwicklung abzuwickeln, **durch** das Bestrahlungsfeld zu transportieren und einer Aufwicklung zuzuführen. 20 25 30 35
16. Elektronenstrahleinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Elektronenaustrittsfenster eine Stützkonstruktion umfasst, wobei innerhalb der Stützkonstruktion eine Mehrzahl von parallel zueinander angeordneten Kühlkanälen zur Kühlung der Stützkonstruktion verlaufen, wobei die Kühlkanäle relativ zur Transportrichtung um einen weiteren vorgegebenen Winkel verdreht ausgerichtet sind, wodurch sich ein schräger Verlauf der Kühlkanäle relativ zur Transportrichtung ergibt. 40 45
17. Verfahren zur Bestrahlung von Bestrahlungsgut (404) mit Elektronen, wobei die Bestrahlung mittels einer Elektronenstrahleinheit (400) erfolgt, die ein flächig ausgedehntes Bestrahlungsfeld erzeugt, das sich über eine Bestrahlungsbreite quer zu einer Transportrichtung (302) des Bestrahlungsguts (404) erstreckt, wobei die Elektronenstrahleinheit (400) aufweist: 50 55
- eine Mehrzahl von Heizkathodendrähten (301) zur Erzeugung von Elektronen, wobei die Heiz-

kathodendrähte (301) oberhalb des Bestrahlungsguts (404) entlang der Bestrahlungsbreite der Elektronenstrahleinheit (400) angeordnet sind, wobei die Heizkathodendrähte (301) parallel zueinander ausgerichtet sind,

- mindestens ein Gitterelement (401, 402), das dazu vorgesehen ist, die Elektronen von den Heizkathodendrähten (301) abziehen, zu verteilen und zu beschleunigen,
- ein Elektronenaustrittsfenster (403), aus dem die Elektronen nach der Beschleunigung austreten,

und wobei das Verfahren durch folgenden Schritt gekennzeichnet ist:

- Transportieren des Bestrahlungsguts (404) durch das Bestrahlungsfeld, wobei die Richtung, in der die Heizkathodendrähte (301) ausgerichtet sind, um einen vorgegebenen Winkel von der Transportrichtung (302) des Bestrahlungsguts (404) abweicht.



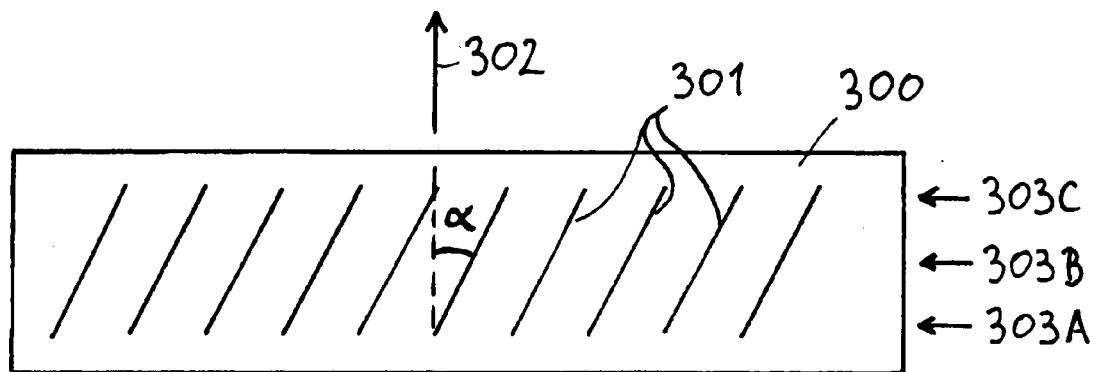
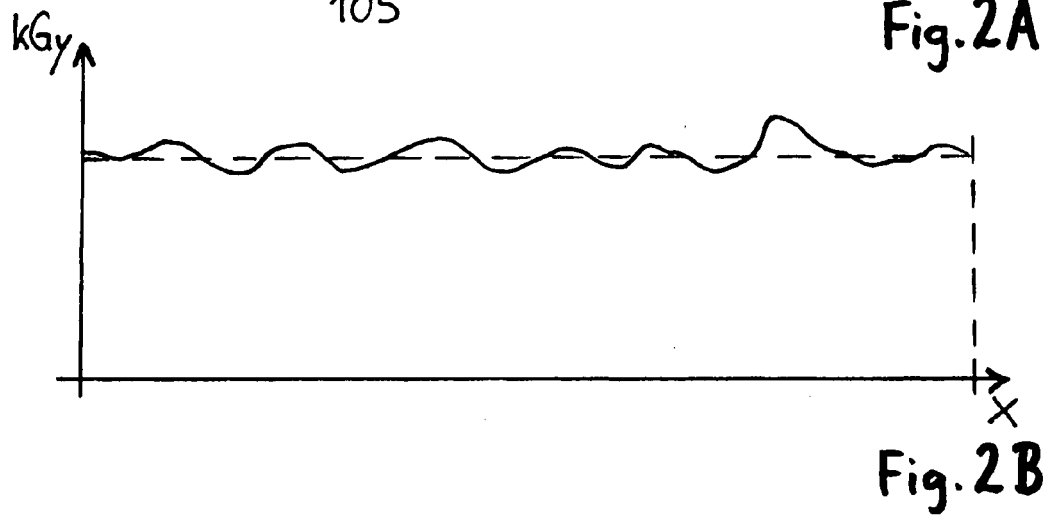
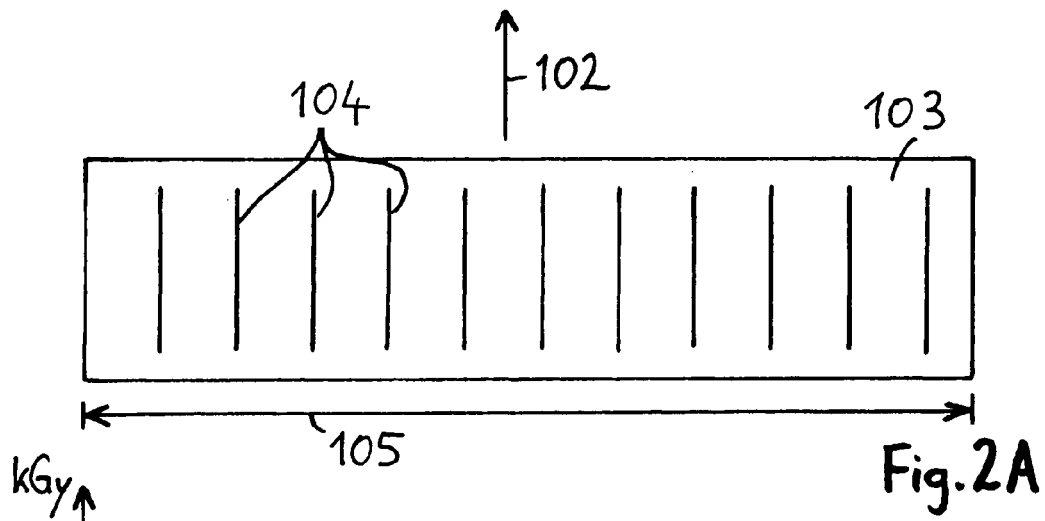


Fig. 3A

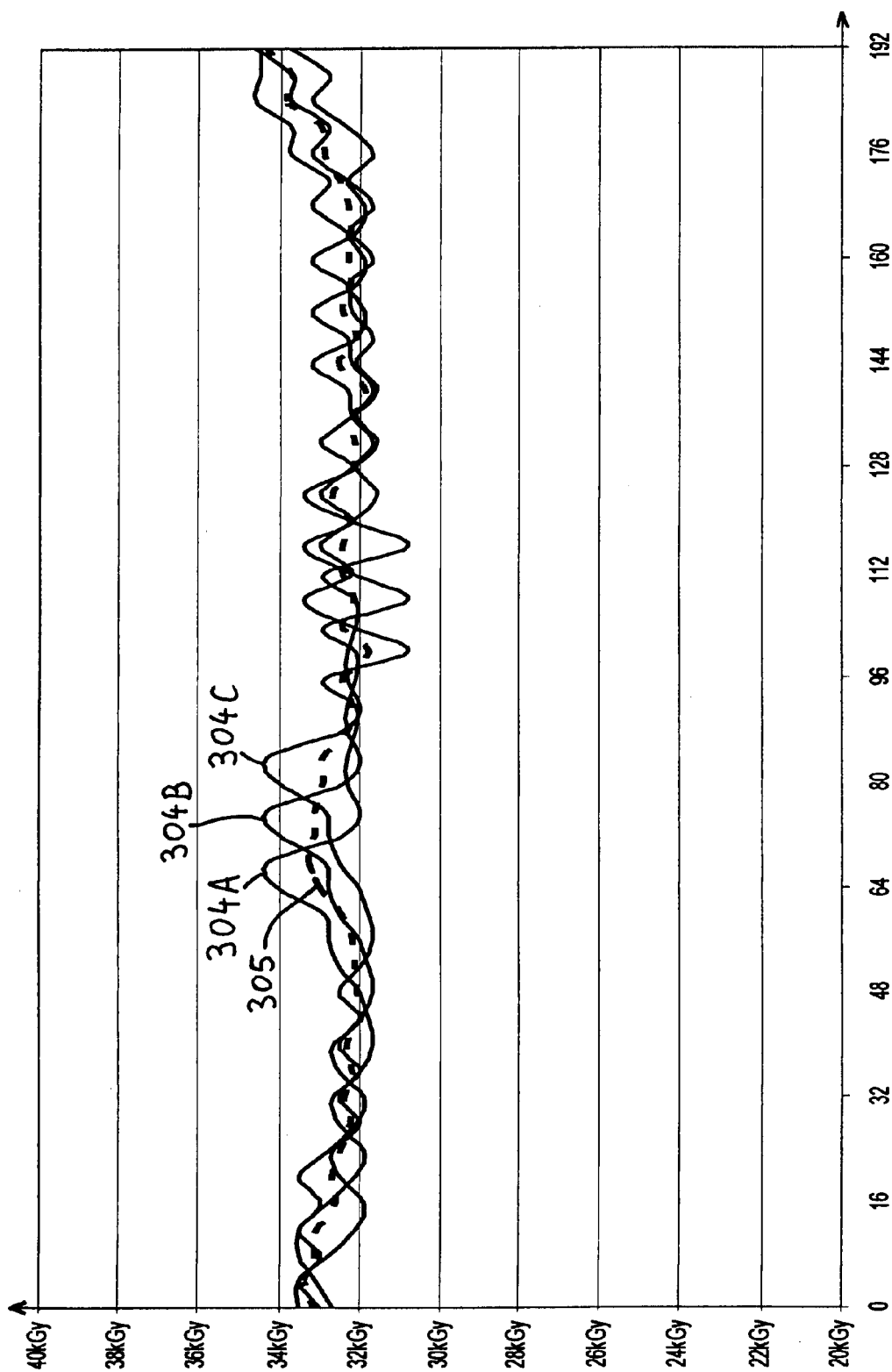


Fig. 3B

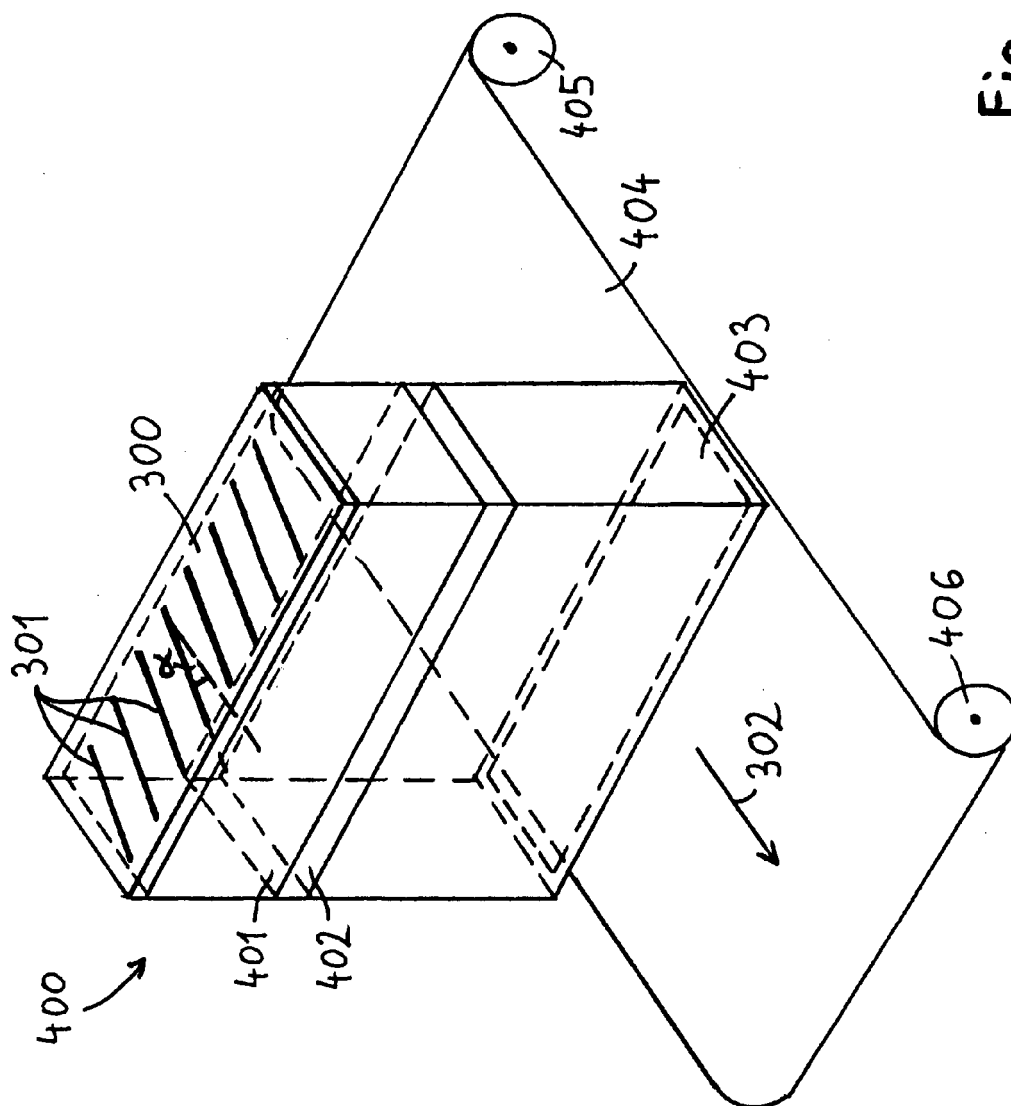
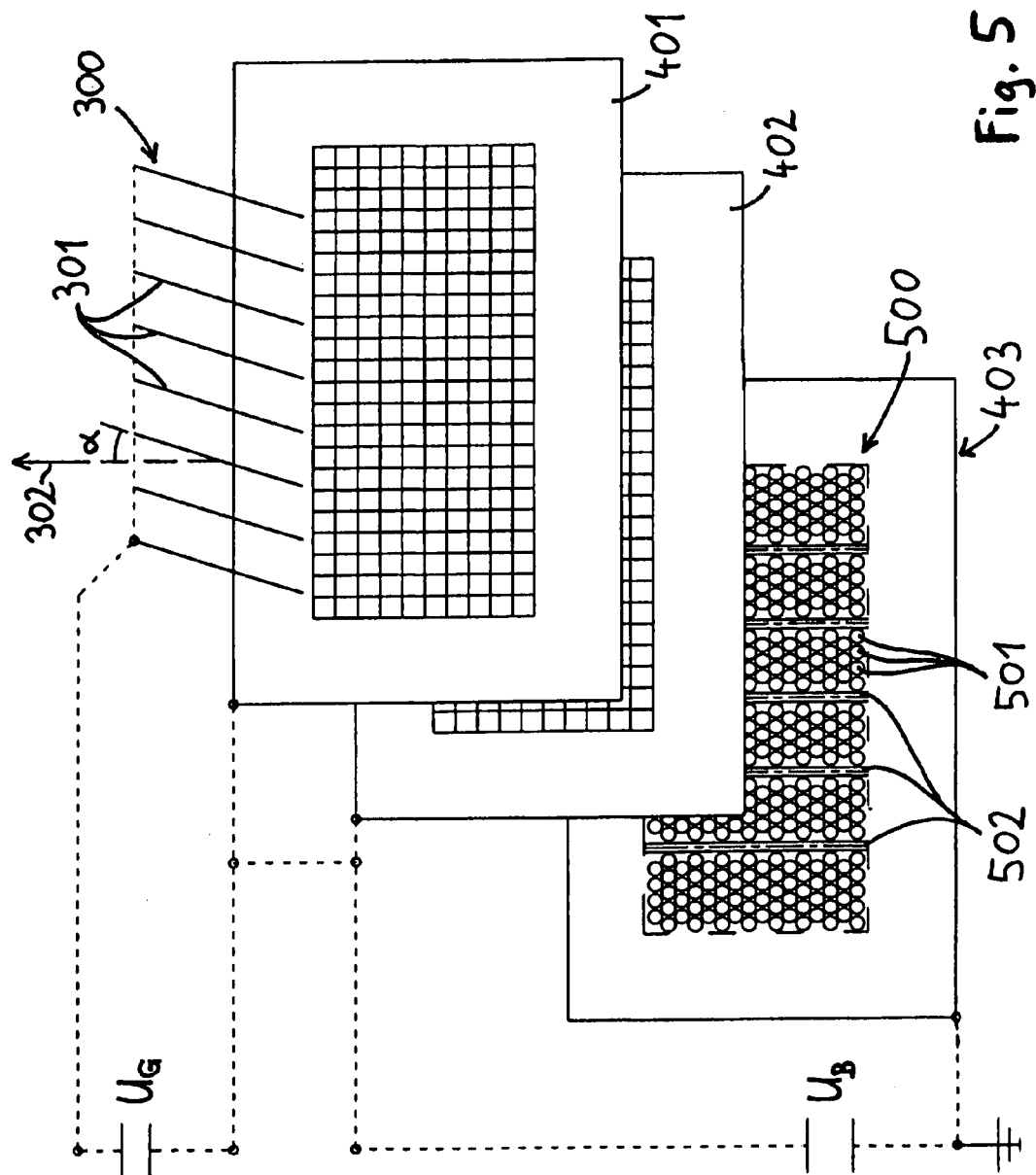


Fig. 4



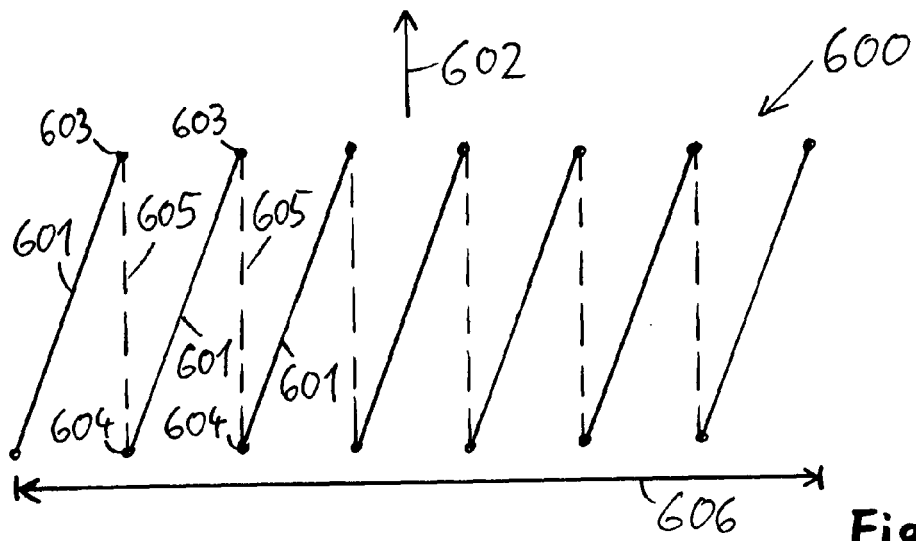


Fig. 6A

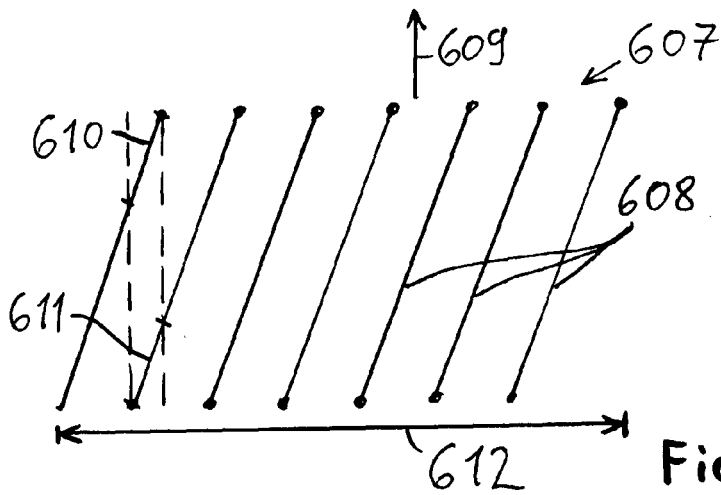


Fig. 6B

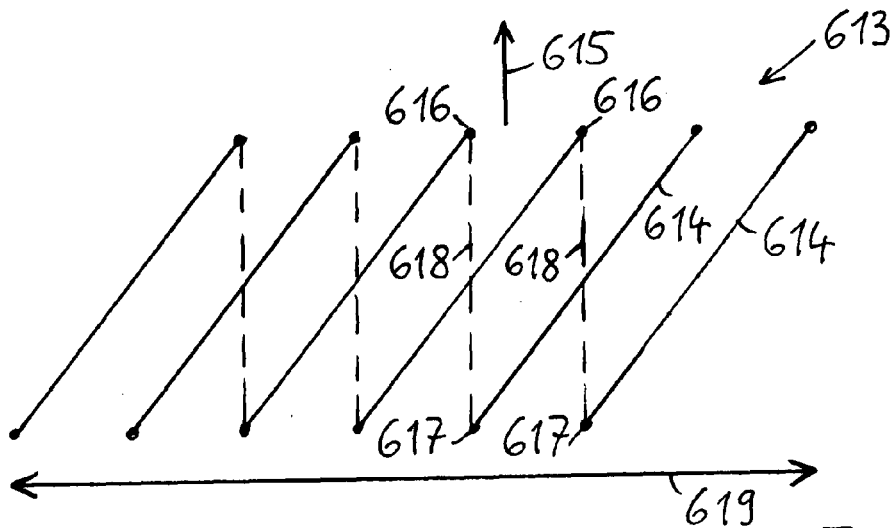


Fig. 6C

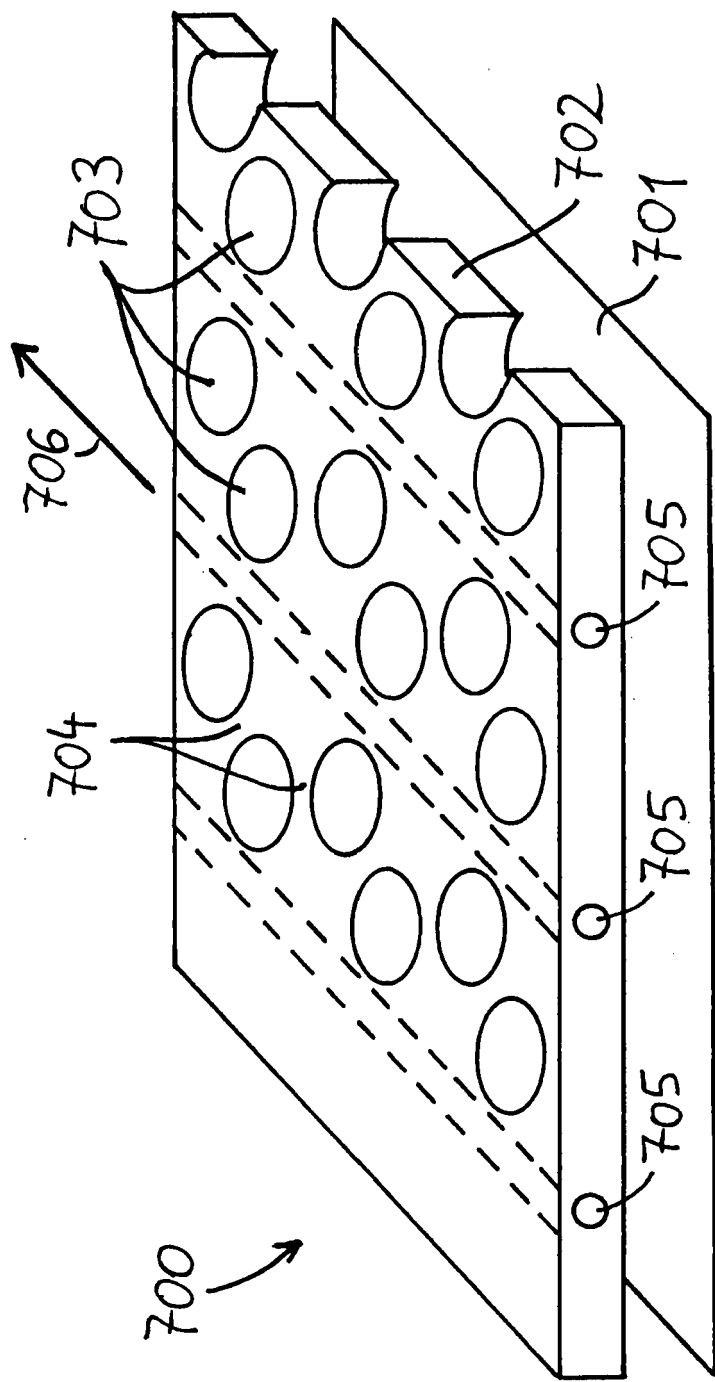
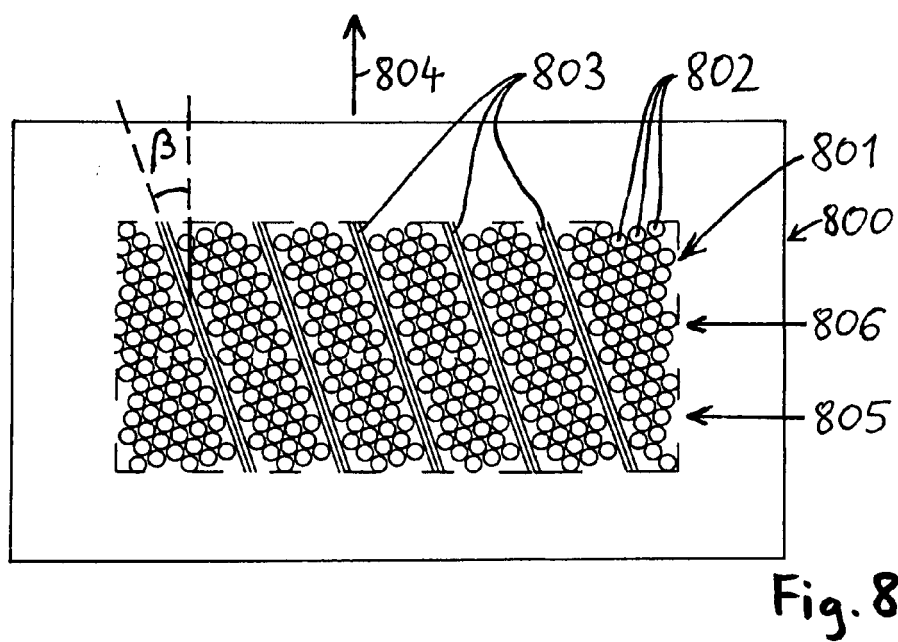
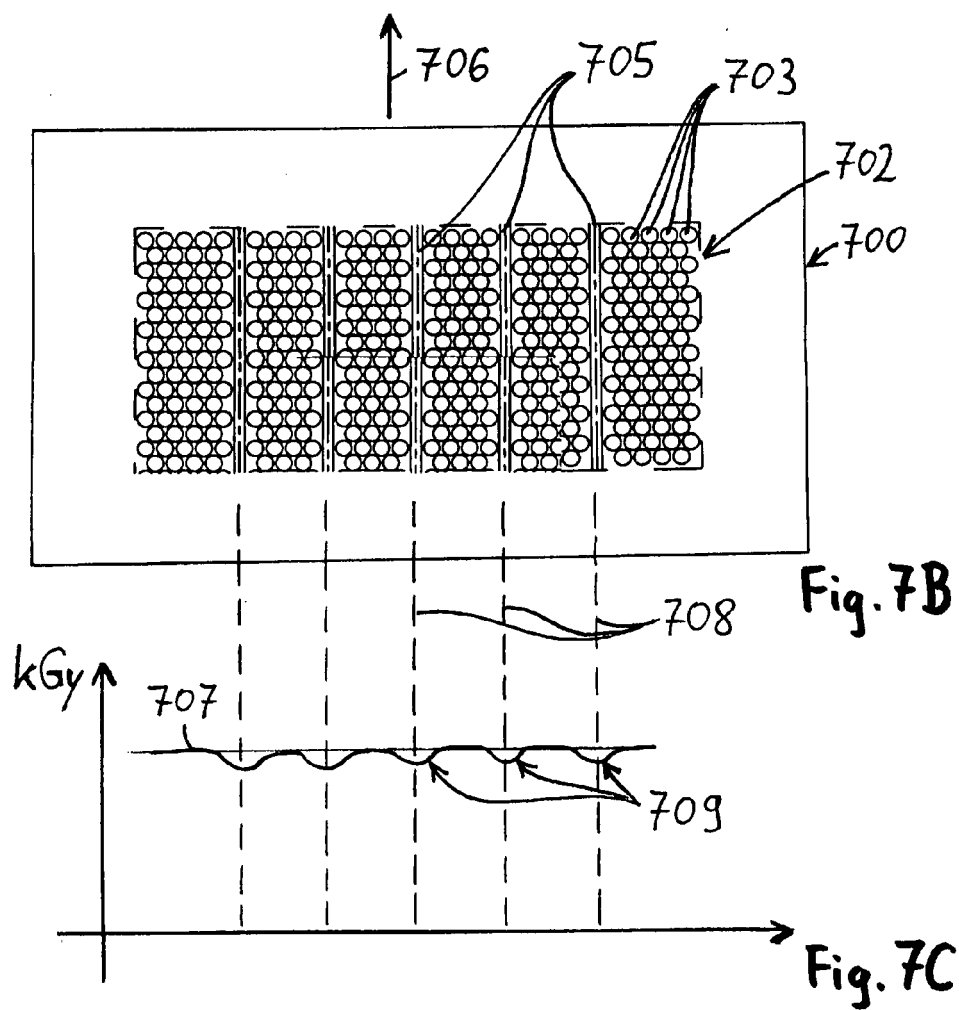


Fig. 7A



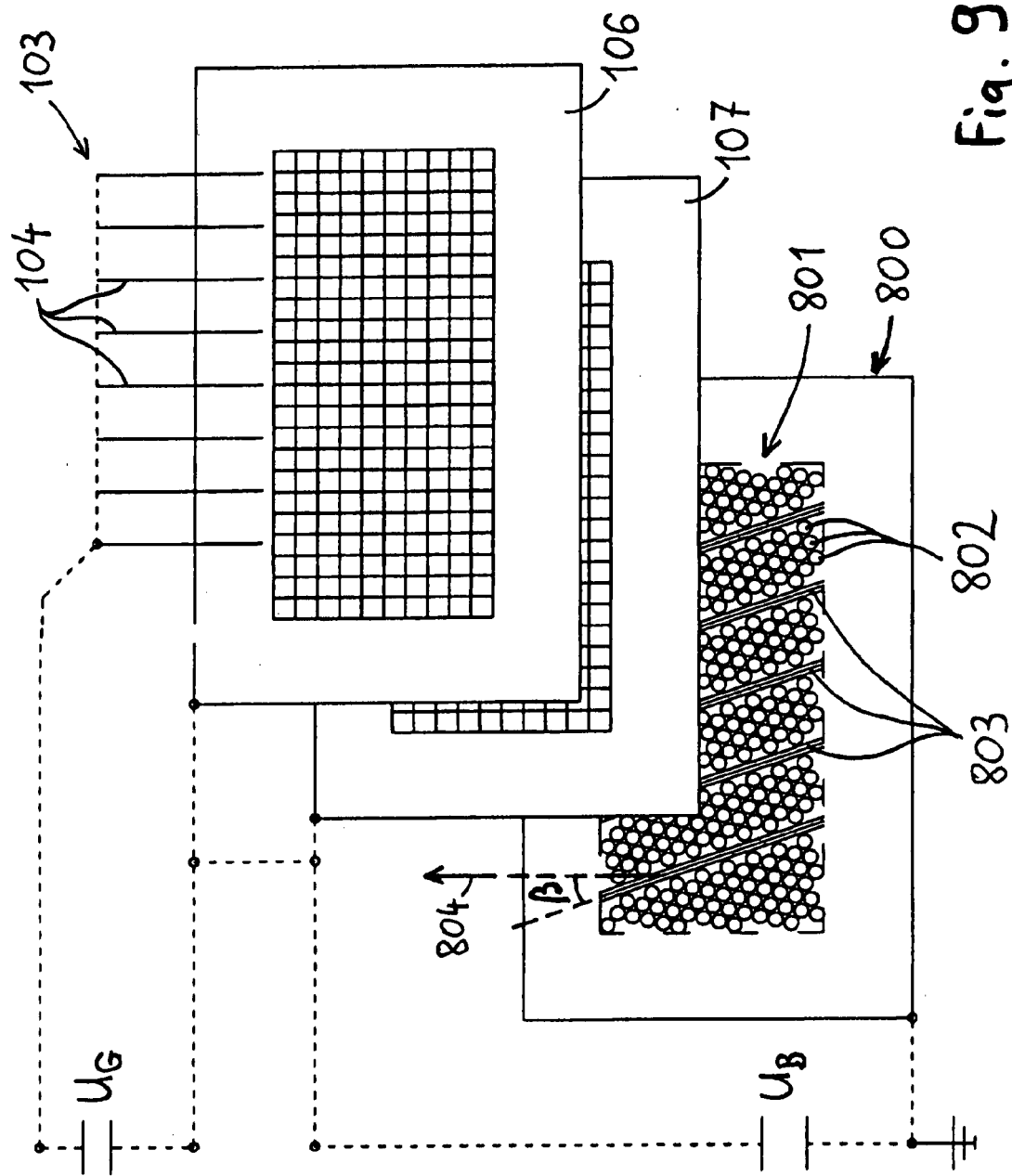
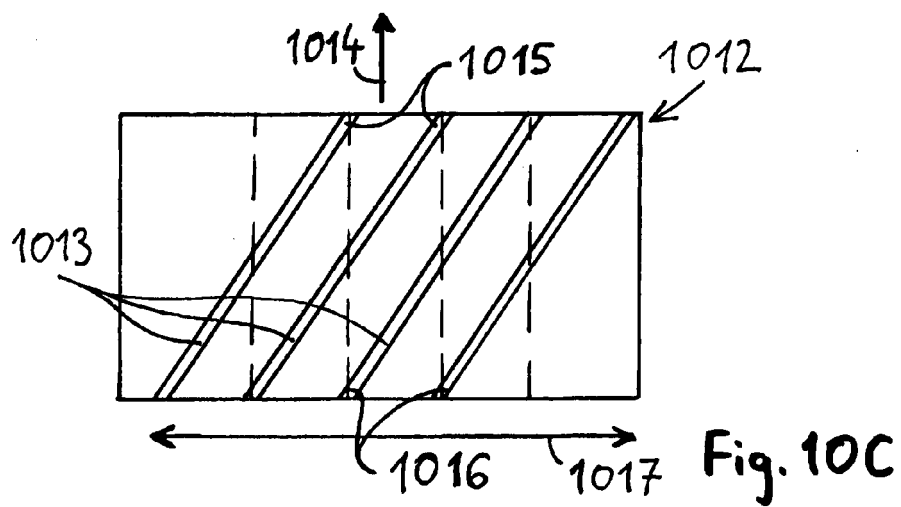
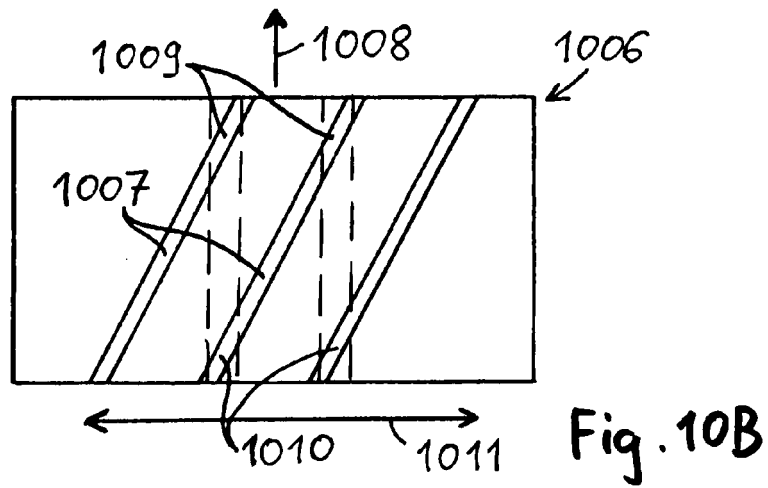
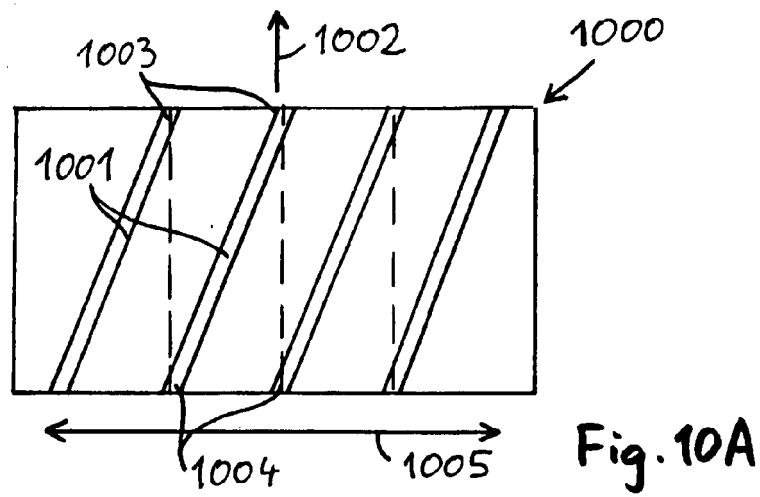


Fig. 9





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 15 00 0241

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2002 243899 A (NISSIN HIGH VOLTAGE CO LTD) 28. August 2002 (2002-08-28)	1-17	INV. H01J33/02 G21K5/00 G21K5/10
Y	* Zusammenfassung; Abbildungen 1,5,3,9 * * Absatz [0048] *	16	

X	JP H11 72600 A (NISSIN HIGH VOLTAGE CO LTD) 16. März 1999 (1999-03-16)	1-15,17	
Y	* Zusammenfassung; Abbildungen 1,5,8 * * Absätze [0017] - [0022] *	16	

X	JP S59 20957 A (NISSIN HIGH VOLTAGE CO LTD) 2. Februar 1984 (1984-02-02)	1-15,17	
Y	* Zusammenfassung; Abbildung 4 *	16	

X	JP 2008 237380 A (SHIBUYA KOGYO CO LTD) 9. Oktober 2008 (2008-10-09)	1-15,17	
Y	* Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 *	16	

X	DE 10 2009 057357 A1 (ELECTRON CROSSLINKING AB [SE]) 9. Juni 2011 (2011-06-09)	1-15,17	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Y	* Zusammenfassung; Abbildungen 1,6A * * Absatz [0067] *	16	H01J G21K
Y	JP H09 292500 A (NISSIN HIGH VOLTAGE CO LTD) 11. November 1997 (1997-11-11) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-5 *	16	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		22. Mai 2015	Weisser, Wolfgang
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P4C03)

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

EP 15 00 0241

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

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

22-05-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2002243899 A	28-08-2002	JP 3536821 B2 JP 2002243899 A	14-06-2004 28-08-2002
JP H1172600 A	16-03-1999	KEINE	
JP S5920957 A	02-02-1984	KEINE	
JP 2008237380 A	09-10-2008	JP 4910819 B2 JP 2008237380 A	04-04-2012 09-10-2008
DE 102009057357 A1	09-06-2011	KEINE	
JP H09292500 A	11-11-1997	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82