



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤ Int. Cl.³: H01 J 37/141

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑪

635 464

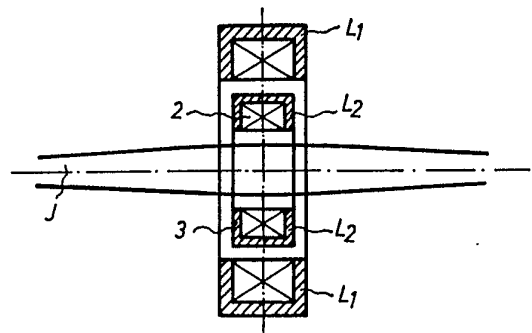
⑳ Gesuchsnummer:	10448/78	㉓ Inhaber:	Dr.-Ing. Rudolf Hell GmbH, Kiel 14 (DE)
㉒ Anmeldungsdatum:	09.10.1978		
㉔ Priorität(en):	25.11.1977 DE 2752598	㉖ Erfinder:	Dr. Siegfried Beisswenger, Preetz (DE)
㉚ Patent erteilt:	31.03.1983		
㉜ Patentschrift veröffentlicht:	31.03.1983	㉘ Vertreter:	Hepatex-Ryffel AG, Zürich

⑤④ Elektronen-optische Linsenanordnung zur statischen und dynamischen Fokussierung.

⑤⑦ Um in einem Elektronenstrahlgerät den Fokus gezielt verändern zu können, wird zusätzlich zu einem statischen Fokuslinsensystem (L_1) ein dynamisches Fokuslinsensystem (L_2) verwendet.

Das dynamische Fokuslinsensystem (L_2) ist im Inneren des statischen Fokuslinsensystems (L_1) angeordnet. Dadurch ist die zur Steuerung des dynamischen Fokuslinsensystems (L_2) benötigte Leistung wesentlich kleiner.

Diese Linsenanordnung kann beispielsweise in Elektronenstrahlgeräten eingesetzt werden, die zur Herstellung von gerasterten Tiefdruckformen dienen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Elektronen-optische Linsenordnung mit einem statischen und einem dynamischen Fokus-Linsensystem, dadurch gekennzeichnet, dass das dynamische Fokus-Linsensystem im Inneren des statischen Fokus-Linsensystems angeordnet ist.

2. Linsenordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das dynamische Fokus-Linsensystem auf der optischen Achse in der Mitte des statischen Fokus-Linsensystems angeordnet ist.

3. Linsenordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das dynamische Fokus-Linsensystem eine Ringspule aufweist.

4. Linsenordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das dynamische Fokus-Linsensystem zwei oder mehrere Multipol-Linsen aufweist.

5. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch eine Abschirmung zwischen dynamischem und statischem Linsenfeld.

6. Linsenordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmung aus einem magnetisch hochpermeablen Werkstoff besteht.

7. Linsenordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstoff ein Hochfrequenz-Ferrit ist.

8. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmung ein Ringkörper ist, der das dynamische Fokus-Linsensystem umgibt.

9. Linsenordnung nach den Ansprüchen 3 und 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Ringkörper U-förmigen Querschnitt hat und in seinem Innern die Spule aufweist.

10. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmung mit der das dynamische Feld erzeugenden Spule verklebt ist.

11. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmung mit der das dynamische Feld erzeugenden Spule vergossen ist.

12. Linsenordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine elektrisch leitende, hochohmige Vergussmasse verwendet ist.

Zahlreiche Elektronenstrahlgeräte benutzen zu technischem und zu wissenschaftlichem Zweck Elektronensonden kleinen Durchmessers, so z.B. Kathodenstrahlröhren für Fernsehgeräte oder sonstige Aufzeichnungszwecke, Elektronenmikroskope und Materialbearbeitungsgeräte.

Um den von der Kathode emittierten Elektronenstrahl fokussieren zu können, sind teilweise komplizierte elektronenoptische Linsen und Blendsysteme vorgesehen. Es gibt Anwendungsfälle, bei denen nach Auslenkung des Elektronenstrahls der Fokus nachgeregelt werden muss, z.B. bei Kathodenstrahlröhren, oder Fälle in der Materialbearbeitung, in denen bei stillstehendem oder abgelenktem Elektronenstrahl der Fokus gezielt verändert wird, um seinen gewünschten Bearbeitungseffekt hervorzurufen.

Um diese Fokusveränderung durchführen zu können, ist es bekannt, zusätzlich zur Hauptlinse, auch statische Linse genannt, eine weitere Fokuslinse, die auch dynamische Fokuslinse genannt wird, vorzusehen, wobei die statische Hauptlinse die Hauptfokussierung vornimmt und wobei über die Zusatzlinse dynamisch die Nachregelung bzw. Steuerung der Fokuslage erfolgt. Diese Linsen sind in der Regel als Magnetspulen ausgebildet.

In bisher bekannten Elektronenstrahlgeräten, die zur dynamischen Fokussierung des Strahls eine Zusatzlinse benutzen, wird üblicherweise die Zusatzlinse zwischen dem Strahler-

zeugersystem und der Hauptlinse angeordnet. Es hat sich gezeigt, dass es bei der Elektronenstrahl-Materialbearbeitung Anwendungen gibt, wo der Fokus um einen bestimmten Betrag in sehr kurzer Zeit umgesteuert werden muss. Selbstverständ-

lich tritt dieses Problem auch bei Aufzeichnungsgeräten, die sich des Elektronenstrahls bedienen, auf, wo eine hohe Bildfrequenz angestrebt wird und der Elektronenstrahl deshalb schnell abgelenkt und demzufolge schnell fokussiert werden muss. Um die zu einer bestimmten Änderung der Fokuslage

notwendige schnelle Änderung des Magnetfeldes zu erreichen, sind in der Regel sehr grosse Ansteuerleistungen für die dynamische Zusatzspule notwendig. Bei der Materialbearbeitung gibt es Fälle, in denen der Fokus des Elektronenstrahls in so kurzer Zeit umgesteuert werden muss, dass eine Ansteuerleistung für die Fokusspule von 1 kW und mehr erforderlich ist.

Da die Beherrschung solcher Steuerleistungen, d.h. die erforderliche schnelle Änderung der magnetischen Induktion innerhalb der Spule, Schwierigkeiten bereitet, liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte elektronenoptische Linsenordnung mit einem dynamischen Fokus-Linsensystem anzugeben, die mit einer wesentlich geringeren Steuerleistung auskommen kann.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt erfindungsgemäss dadurch, dass das dynamische Fokus-Linsensystem im Inneren des statischen Fokus-Linsensystems angeordnet ist.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen prinzipiellen Aufbau einer bekannten dynamischen Fokussierungsanordnung,

Fig. 2 eine verbesserte Anordnung von dynamischer und statischer Fokusspule gemäss dem Ausführungsbeispiel der Erfindung und

Fig. 3 eine schematische Darstellung der magnetischen Induktion auf der Spulenachse.

In Fig. 1 ist nur der für die Fokussierung benötigte Teil eines Elektronenstrahlgangs schematisch dargestellt. Ein Elektronenstrahl J durchläuft, bevor er auf ein Werkstück W trifft, eine elektromagnetische Linsenordnung L₁, die als statische Fokusspule bezeichnet wird. Der Strahl wird durch diese elektronenoptische Sammellinse auf einen Brennpunkt F fokussiert.

Unterhalb der statischen Fokuslinse L₁ ist schematisch der Verlauf des Magnetfeldes B₁ auf der optischen Achse dargestellt.

Um eine Verschiebung des Fokus in die gestrichelte Lage F' zu bewirken, wird üblicherweise vor der statischen Linse eine

dynamische Linse L₂ angeordnet, mit deren Hilfe der Strahl mehr oder weniger stark aufgefächert oder gebündelt wird. Unterhalb der dynamischen Linse L₂ ist der Achsverlauf des Magnetfeldes B₂ dargestellt. Die elektronenoptische Brechkraft der gesamten Anordnung ist abhängig von der Summe

der Quadrate der magnetischen Induktionen

$$B^2 = B_1^2 + B_2^2 \quad (1)$$

wobei die Gesamtverschiebung ΔZ nur von der Änderung von B₂² abhängig ist.

Die Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch die Anordnung von statischer und dynamischer Fokusspule L₁ bzw. L₂ nach dem Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei die dynamische Fokusspule im Inneren der statischen Fokusspule angeordnet

ist. Die dynamische Fokusspule besitzt in für magnetische Konzentrierspulen bekannter Weise eine zum Elektronenstrahl J konzentrische Wicklung 2. Zur Abschirmung und Entkopplung des zeitlich veränderlichen Feldes der dynamischen Fokusspule gegenüber der umgebenden statischen Linse dient ein

magnetisch hochpermeabler Abschirmkreis 3, der im Falle sehr schneller Umfokussierungsprozesse vorzugsweise aus Hochfrequenz-Ferritmaterial gefertigt sein kann.

Die Abschirmung wird vorzugsweise als Ringkörper aus

hochpermeablem Hochfrequenz-Ferrit hergestellt. Der Abschirmkörper selbst kann mit der Spule vergossen oder verklebt werden, wobei zur Ableitung von vagabundierenden Elektronen in der dem Vakuum zugewandten Oberfläche der Vergussmasse eine gewisse elektrische Leitfähigkeit durch Beigabe von elektrisch leitendem Material erzeugt wird. Günstige Werte für die elektrische Leitfähigkeit liegen zwischen 1 kOhm und 1 MOhm pro cm².

Fig. 3a zeigt schematisch die magnetische Induktion auf der Achse, wenn allein die statische Linse L₁ erregt wird. Die Einsattelung der Induktion wird durch den Abschirmkreis (Fig. 2, Ziffer 3) hervorgerufen.

Fig. 3b zeigt die magnetische Induktion, die allein von der dynamischen Spule hervorgerufen wird, wenn sie von einem bestimmten konstanten Strom durchflossen wird.

In der Fig. 3c ist eine Überlagerung von Feldern der statischen und dynamischen Linse dargestellt. Wie leicht einzusehen ist, superponieren die beiden Magnetfelder, die durch die dynamische und die statische Fokusspule erzeugt werden, linear. Die elektronenoptische Brechkraft dieser Anordnung ist abhängig von der Quadratsumme der einzelnen magnetischen Induktionen:

$$B^2 = (B_1 + B_2)^2 = B_1^2 + 2 B_1 B_2 + B_2^2 .$$

Bei dieser Anordnung ist die Gesamtverschiebung der Fokuslage ΔZ nicht mehr allein abhängig von der Änderung von B_2^2 , sondern es kommt zusätzlich das Produkt $2 B_1 B_2$ als Einflussgrösse hinzu. Dies bedeutet, dass das bereits vorhandene Feld der Linse L₁ die Wirkung des dynamischen Feldes der Linse L₂ multiplikativ vervielfacht.

Im folgenden wird ein Zahlenbeispiel, bezogen auf einen praktischen Anwendungsfall, gegeben. Eine magnetische Linse entwerfe in einem Abstand von 100 mm von ihrer Mitte das reelle, verkleinerte Bild einer 1000 mm entfernten Elektronenquelle. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, dass eine statische Hauptlinse auf den die magnetische Induktion kennzeichnenden Wert von 160 relativen Einheiten erregt wird. Zur Erzielung eines bestimmten Bearbeitungseffektes soll der Fokus um $\Delta Z = 5$ mm verändert werden. Um diese Umfokussierung zu erreichen, muss in einer ausserhalb der statischen Linse nach Fig. 1 angeordneten dynamischen Fokusspule eine relative Änderung der Induktion um 22 Einheiten erfolgen. Die Summe der beiden Quadrate ist nach Gleichung (1) dann:

$$B^2 \approx 3044 \approx 160^2 + 22^2 .$$

In der Anordnung nach Fig. 2 ist eine wesentlich geringere Änderung der Erregung der dynamischen Linse nötig. Wieder sei die Hauptlinse auf den die magnetische Induktion kennzeichnenden Wert von 160 Einheiten erregt. Zur schnellen Umsteuerung des Fokus ist nur noch eine Änderung von $B_2 = 1,5$ Einheiten notwendig. Im Beispiel ergibt sich

$$B^2 \approx 3044 \approx 160^2 + 2 \cdot 160 \cdot 1,5 + 1,5^2 .$$

Die elektrischen Leistungen, die zur Ansteuerung der dynamischen Linse notwendig sind, verhalten sich:

$$\frac{N_{\text{neu}}}{N_{\text{alt}}} = \frac{B_{2\text{neu}}^2}{B_{2\text{alt}}^2} = \frac{1,5^2}{22^2} \approx \frac{1}{200}$$

Die Anordnung gemäss Fig. 2 nutzt die zusätzliche Einflussgrösse des «doppelten Produkts» aus, die bei der räumlich getrennten Anordnung von Hauptfeld und Zusatzfeld nicht auftritt. Wie die Zahlenbeispiele zeigen, benötigt man eine wesentlich geringere Steuerleistung, um die gewünschte Verschiebung des Fokus zu erreichen.

Es hat sich bei dieser Anordnung von dynamischer und statischer Fokusspule gezeigt, dass die gegenseitige Beeinflussung der Felder gering ist, so dass Wirbelstrom- und Induktionsverluste kaum auftreten. Insbesondere hat sich gezeigt, dass die Güte der Linse, d.h. der Öffnungsfehler (sphärische Aberration) der Hauptlinse durch diese Anordnung der dynamischen Linse nicht vergrössert wird. Bisher war man der Ansicht, dass ein Einbringen eines magnetisch hochpermeablen Abschirmkreises das ursprüngliche Linsenfeld negativ beeinflusst, indem die sphärische Aberration zunimmt. An der Anordnung gemäss Fig. 2 durchgeführte Untersuchungen haben aber gezeigt, dass der Öffnungsfehler der Hauptlinse nicht vergrössert wird.

Ein bevorzugter Anwendungsfall der beschriebenen Linsenanordnung liegt in der Materialbearbeitung und insbesondere in der Herstellung von gerasterten Tiefdruckformen mittels Elektronenstrahlgravur. Bei der Elektronenstrahlgravur ist es erforderlich, die Fokuslage tonwertabhängig umzusteuern, um flächenvariable Näpfchen zu erhalten. Die prinzipielle Anordnung zur Durchführung der Elektronenstrahlgravur ist bereits seit längerem Stand der Technik und z.B. in der DE-AS 11 23 561 beschrieben.

Die Verwendbarkeit der beschriebenen Anordnung beschränkt sich aber nicht auf das Gebiet der Elektronenstrahlgravur, sondern kann im ganzen Bereich der Materialbearbeitung oder auch bei Kathodenstrahlröhren oder Elektronenmikroskopen verwendet werden, um, falls es erforderlich ist, bei geringem Raumbedarf und geringer Steuerleistung die Fokuslage schnell zu ändern oder nachzusteuern.

Die für die Ansteuerung der Linsen erforderlichen Steuerungschaltungen sind allgemeiner Stand der Technik und werden, wie der ebenfalls bekannte Gesamtaufbau der Elektronenstrahlmaschine, im einzelnen nicht näher dargestellt.

Die Erfindung beschränkt sich nicht auf Ringspulen als Fokusspulen, sondern es können auch Multipol-Linsen verwendet werden. Im einfachsten Falle kann eine Kombination aus zwei Quadrupol-Linsen verwendet werden, welche hintereinander angeordnet sind.

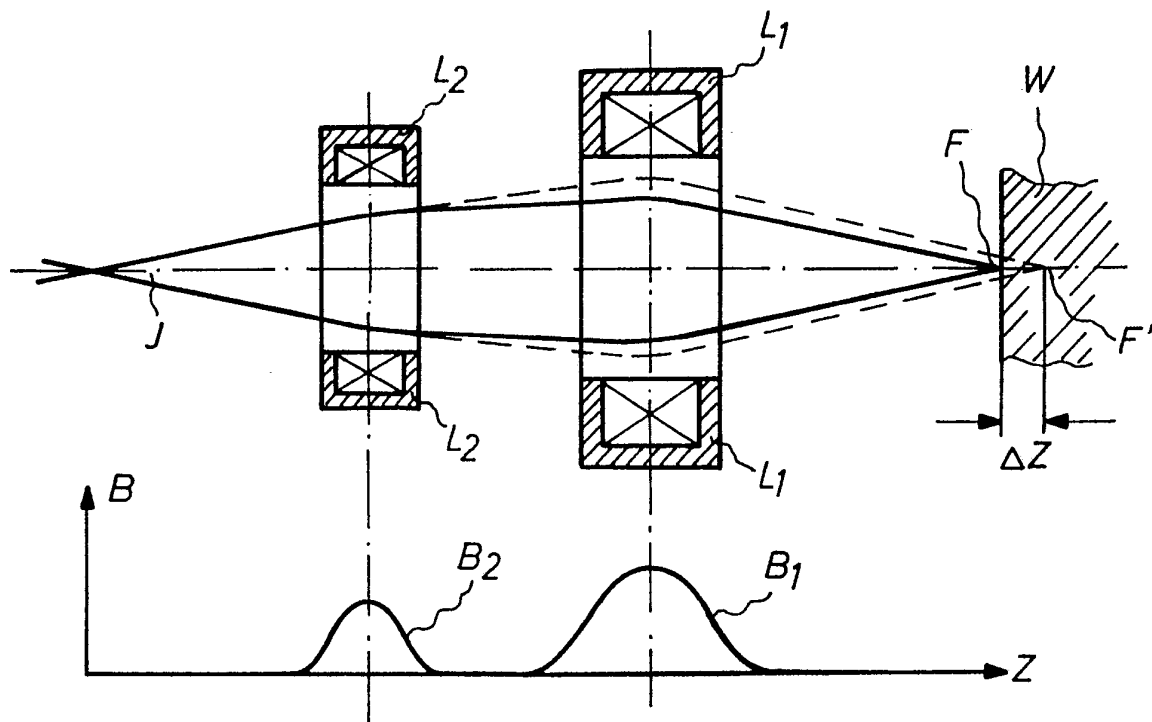


Fig. 1

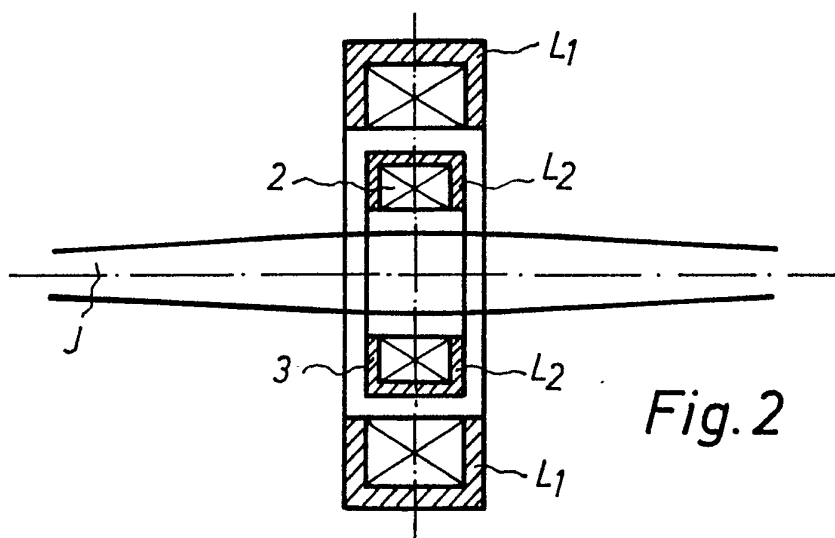


Fig. 2

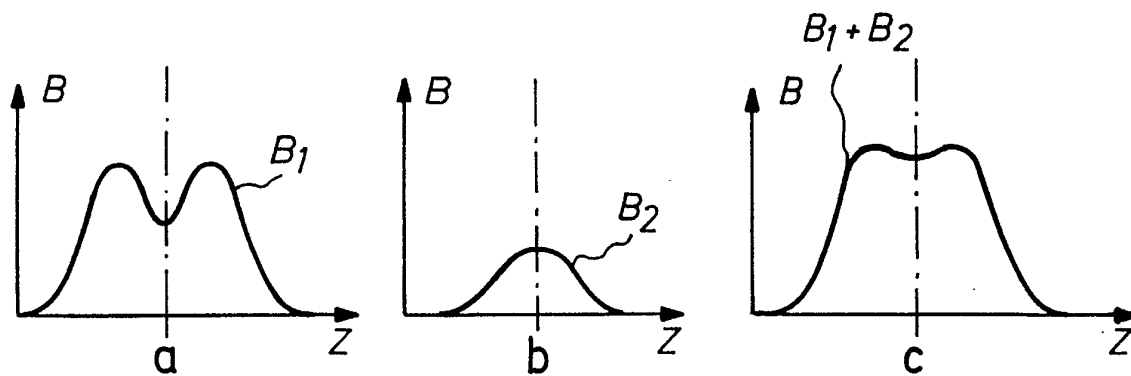


Fig. 3