



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 603 18 396 T2 2008.05.21

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 474 649 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 603 18 396.4

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US03/04312

(96) Europäisches Aktenzeichen: 03 707 875.5

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2003/069267

(86) PCT-Anmeldetag: 13.02.2003

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: 21.08.2003

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 10.11.2004

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 02.01.2008

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 21.05.2008

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: G01B 5/008 (2006.01)

B23Q 35/04 (2006.01)

B25J 9/06 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

357599 P 14.02.2002 US  
394908 P 10.07.2002 US

(73) Patentinhaber:

Faro Technologies, Inc., Lake Mary, Fla., US

(74) Vertreter:

Patentanwälte Magenbauer & Kollegen, 73730  
Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR

(72) Erfinder:

RAAB, Simon, Maitland, FL 32751, US; SAJEDI,  
Seyed Ali, Winter Park, FL 32789, US;  
HASLEOCHER, Kenneth J., Deltona, FL 32738, US;  
BARBER, Marc, Deltona, FL 32725, US

(54) Bezeichnung: TRAGBARE KOORDINATENMESSMASCHINE MIT GELENKARM

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****Hintergrund der Erfindung****1. Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft im allgemeinen Koordinatenmessgeräte (CMMs) und insbesondere tragbare CMMs mit einem angelenkten Arm.

**2. Stand der Technik**

**[0002]** Derzeit sind tragbare angelenkte Arme als ein Messsystem mit einem Hostcomputer und Anwendungssoftware vorgesehen. Der angelenkte Arm wird üblicherweise verwendet, um Punkte auf einem Objekt zu messen, und diese gemessenen Punkte werden mit aus durch rechnerunterstütztem Zeichnen und Konstruieren (CAD) gewonnenen Daten, die auf dem Hostcomputer gespeichert sind, verglichen, um zu bestimmen, ob das Objekt innerhalb der CAD-Spezifizierung liegt. Mit anderen Worten sind die CAD-Daten die Referenzdaten, mit denen tatsächliche Messungen, die von dem angelenkten Arm durchgeführt werden, verglichen werden. Der Hostcomputer kann auch Anwendungssoftware enthalten, die den Bediener durch das Prüfverfahren führt. Bei vielen Situationen im Zusammenhang mit komplizierten Anwendungen ist diese Anordnung geeignet, da der Benutzer die dreidimensionalen CAD-Daten auf dem Hostcomputer betrachten wird, während er auf komplexe Befehle in der Anwendungssoftware reagiert.

**[0003]** Ein Beispiel für ein tragbares CMM des Stands der Technik zur Verwendung in dem vorstehend besprochenen Messsystem ist in dem US-Patent Nr. 5,402,582 ('582) offenbart, das an den Rechtsinhaber dieser Anmeldung vergeben wurde. Das Patent '582 offenbart ein herkömmliches dreidimensionales Messsystem, das aus einem manuell betriebenen, mehrfach gegliederten angelenkten Arm mit einer Stützbasis an dessen einem Ende und einer Messsonde an dem anderen Ende besteht. Ein Hostcomputer kommuniziert mit dem Arm über einen zwischengeschalteten Controller oder eine Serienbox. Es ist ersichtlich, dass der Arm in dem Patent '582 elektronisch mit der Serienbox kommunizieren wird, welche wiederum mit dem Hostcomputer elektronisch kommuniziert. Das ebenfalls vergebene US-Patent 5,611,147 ('147) offenbart ein ähnliches CMM mit einem angelenkten Arm. In diesem Patent schließt der angelenkte Arm eine Reihe von wichtigen Merkmalen ein, einschließlich einer zusätzlichen Rotationsachse an dem Sondenende, wodurch somit ein Arm mit entweder einer zwei-eins-drei oder einer zwei-zwei-drei-Gelenkkonfiguration vorgesehen ist (wobei der letztere Fall ein Arm mit 7 Achsen ist), sowie verbesserten vorgespannten Lagerkonstruktionen für die Lager im Arm.

**[0004]** Noch weitere relevante CMMs des Stands der Technik umfassen das ebenfalls vergebene US-Patent Nr. 5,926,782 ('782), das einen angelenkten Arm mit verriegelbaren Überführungsgehäusen zum Eliminieren von einem oder mehreren Freiheitsgraden vorsieht, und das US-Patent 5,956,857 ('857), das einen angelenkten Arm mit einem schnell abnehmbaren Aufbausystem vorsieht.

**[0005]** Aktuellere tragbare CMMs der hier beschriebenen Art erfordern nicht die Verwendung eines zwischengeschalteten Controllers oder einer zwischengeschalteten Serienbox, da deren Funktionalität nun in der von dem Hostcomputer bereitgestellten Software inkorporiert ist. Zum Beispiel offenbart das ebenfalls vergebene US-Patent 5,978,748 ('748) einen angelenkten Arm mit einem integrierten Controller, der eine oder mehrere ausführbare Programme speichert und der dem Benutzer Anweisungen gibt (z.B. Prüfverfahren) und die CAD-Daten, die als die Referenzdaten dienen, speichert. In dem Patent '748 ist ein Controller an dem Arm angebracht und führt das ausführbare Programm aus, das den Benutzer durch ein Verfahren, wie ein Prüfverfahren, führt. In einem derartigen System kann ein Hostcomputer verwendet werden, um das ausführbare Programm zu erstellen. Der an dem Arm angebrachte Controller wird verwendet, um das ausführbare Programm durchzuführen, er kann jedoch nicht verwendet werden, um ausführbare Programme zu erstellen oder ausführbare Programme zu ändern. Analog zu Videospielsystemen dient der Hostcomputer als Plattform zum Schreiben oder Ändern eines Videospiels, und der an dem Arm angebrachte Controller dient als Plattform zum Spielen eines Videospiels. Der Controller (z.B. Spieler) kann das ausführbare Programm nicht ändern. Wie in dem Patent '748 beschrieben ist, führt dies durch Eliminieren der Notwendigkeit eines Hostcomputers für jeden angelenkten Arm zu einem kostengünstigeren dreidimensionalen Koordinatenmesssystem. Die US-Anmeldung mit dem Aktenzeichen 09/775,236 ('236), die an den Rechtsinhaber dieser Anmeldung vergeben wurde, offenbart ein Verfahren und ein System zum Bereitstellen von ausführbaren Programmen für Benutzer von Koordinatenmesssystemen der Art, die in dem Patent '748 offenbart ist. Das Verfahren umfasst das Empfangen einer Anforderung zum Erstellen eines ausführbaren Programms von einem Kunden und das Erhalten von Informationen in Bezug auf das ausführbare Programm. Das ausführbare Programm wird dann entwickelt und führt einen Bediener durch eine Reihe von Messschritten, die mit dem dreidimensionalen Koordinatenmesssystem durchzuführen sind. Das ausführbare Programm wird dem Kunden, vorzugsweise über ein Online-Netzwerk, wie das Internet, geliefert.

**[0006]** Das ebenfalls vergebene US-Patent Nr. 6,131,299 ('299) offenbart einen angelenkten Arm mit einer Anzeigevorrichtung, die auf diesem positioniert

ist, damit ein Bediener eine bequeme Anzeige von Positionsdaten und System-Menüeingabeaufforderungen hat. Die Anzeigevorrichtung enthält zum Beispiel LEDs, die die Systemleistung, den Status der Wandlerposition und den Fehlerstatus anzeigen. Das US-Patent 6,219,928 ('928), das an den Rechtsinhaber vergeben wurde, offenbart ein serielles Netzwerk für den angelenkten Arm. Das serielle Netzwerk kommuniziert Daten von Wandlern, die sich in dem Arm befinden, an einen Controller. Jeder Wandler enthält eine Wandlerschnittstelle mit einem Speicher, der Wandlerdaten speichert. Der Controller adressiert seriell jeden Speicher und die Daten werden von dem Speicher der Wandlerschnittstelle an den Controller übertragen. Die ebenfalls vergebenen US-Patente 6,253,458 ('458) und 6,298,569 ('569) offenbaren jeweils einstellbare Gegengewichtsmechanismen für tragbare CMMs mit angelenktem Arm der hier beschriebenen Art.

**[0007]** Während sie für ihren beabsichtigten Zweck gut geeignet sind, besteht in der Industrie ein anhaltender und empfundener Bedarf an verbesserten tragbaren CMMs, die leichter zu verwenden und effizienter in der Herstellung sind, die verbesserte Merkmale bieten und zu geringeren Kosten verkauft werden können.

**[0008]** Die US 5 402 582 beschreibt ein tragbares Koordinatenmessgerät, das einen mehrfach gegliederten, manuell positionierbaren Messarm und eine Codiereinrichtung unter Verwendung eines einzelnen Lesekopfes aufweist. Zusätzlich zu dem Messarm verwendet das tragbare Koordinatenmessgerät einen Controller, oder eine Serienbox, der/die als elektronische Schnittstelle zwischen dem Arm und einem Hostcomputer wirkt.

**[0009]** Die EP 0 302 194 sieht eine Messvorrichtung vor, in der eine Skalenscheibe an mindestens zwei Abtaststellen eingescannt wird. Die Platte wird an mindestens zwei Abtaststellen eingescannt. Die Abtastsignale von den verschiedenen Abtaststellen werden an eine Prüfschaltung übertragen, die bestimmt, ob die Phasenverschiebung zwischen den Abtastsignalen einen Grenzwert übersteigt. Wenn der Grenzwert überschritten wird, wird eine der Abtaststellen höher gewichtet als die andere. Das Gewichtet wird durch Erhöhen der Komponenten der Signale von einer Abtaststelle, während die Komponenten der Signale von der anderen Abtaststelle verringert werden, implementiert.

**[0010]** In diesem Dokument wird eine derartige besondere Signalverarbeitung dargestellt, wie sie für zuverlässige Messablesungen geeignet ist, selbst wenn sie bei Vorrichtungen verwendet wird, die kurzen Stößen oder anderen Rüttelbewegungen unterworfen sind.

## Zusammenfassung der Erfindung

**[0011]** Gemäß der vorliegenden Erfindung weist das tragbare Koordinatenmessgerät (CMM) zum Messen der Position eines Objekts in einem ausgewählten Volumen auf:  
 einen manuell positionierbaren, angelenkten Arm mit entgegen gesetzten ersten und zweiten Enden, wobei der Arm eine Vielzahl von Gelenken einschließt; eine Messsonde, die an einem ersten Ende des angelenkten Arms angebracht ist; eine elektronische Schaltung, die die Positionssignale von Wandlern in dem Arm empfängt und eine digitale Koordinate entsprechend der Position der Sonde in einem ausgewählten Volumen bereitstellt; und wobei mindestens eines der Gelenke ferner aufweist: ein periodisches Bild einer messbaren Charakteristik; mindestens zwei Leseköpfe, die von dem Bild beabstandet sind und mit diesem in Verbindung stehen; und wobei das Bild und die mindestens zwei Leseköpfe so innerhalb des Gelenks positioniert sind, dass sie in Bezug aufeinander drehbar sind, und wobei das Gelenk ferner aufweist: ein erstes und ein zweites Gehäuse und eine drehbare Welle, die sich von dem zweiten Gehäuse in das erste Gehäuse erstreckt; ein Lager, das zwischen der Welle und dem ersten Gehäuse angeordnet ist und ein Drehen der drehbaren Welle innerhalb des ersten Gehäuses ermöglicht; wobei das Bild direkt an der drehbaren Welle angebracht ist; wobei die mindestens zwei Leseköpfe so innerhalb des ersten Gehäuses befestigt sind, dass die Drehung des ersten Gehäuses in Bezug auf das zweite Gehäuse bewirkt, dass sich die mindestens zwei Leseköpfe relativ zum Bild bewegen.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen:

**[0012]** Nun mit Bezug auf die Zeichnungen, in denen gleiche Elemente gleich nummeriert sind, zeigen in den mehreren Figuren:

**[0013]** [Fig. 1](#) eine Perspektivansicht des tragbaren CMMs der vorliegenden Erfindung von vorne mit einem angelenkten Arm und einem angeschlossenen Hostcomputer;

**[0014]** [Fig. 2](#) eine Perspektivansicht des CMMs aus [Fig. 1](#) von hinten;

**[0015]** [Fig. 3](#) eine Seitenansicht des CMMs aus [Fig. 1](#) von rechts (wobei der Hostcomputer entfernt ist);

**[0016]** [Fig. 3A](#) eine Seitenansicht des CMMs aus [Fig. 1](#) von rechts mit leicht modifizierten Schutzhülsen, die zwei der langen Gelenke bedecken;

[0017] [Fig. 4](#) eine Perspektivansicht des CMMs der vorliegenden Erfindung, teilweise in aufgelösten Einzelteilen, die die Basis und den ersten angelenkten Armabschnitt zeigt;

[0018] [Fig. 5](#) eine Perspektivansicht des CMMs der vorliegenden Erfindung in teilweise aufgelösten Einzelteilen, die die Basis, den ersten Armabschnitt und den zweiten Armabschnitt teilweise in aufgelösten Einzelteilen zeigt;

[0019] [Fig. 6](#) eine Perspektivansicht des CMMs der vorliegenden Erfindung teilweise in aufgelösten Einzelteilen, die die Basis, den ersten Armabschnitt, den zweiten Armabschnitt und den dritten Armabschnitt teilweise in aufgelösten Einzelteilen zeigt;

[0020] [Fig. 7](#) eine Perspektivansicht in aufgelösten Einzelteilen, die ein Paar von Codierer/Lager-Kassetten zeigt, die zwischen zwei zweifachen Muffenverbindungen gemäß der vorliegenden Erfindung eingebaut sind;

[0021] [Fig. 8](#) einen Aufriss der Lager/Codierer-Kassetten und zweifachen Muffenverbindungen aus [Fig. 7](#) von vorne;

[0022] [Fig. 9](#) eine Perspektivansicht einer kurzen Lager/Codierer-Kassette gemäß der vorliegenden Erfindung in aufgelösten Einzelteilen;

[0023] [Fig. 9B](#) eine Perspektivansicht in aufgelösten Einzelteilen ähnlich wie [Fig. 9](#), die jedoch vier Leseköpfe zeigt;

[0024] [Fig. 9C](#) eine Perspektivansicht von [Fig. 9B](#) nach dem Zusammenbau;

[0025] [Fig. 9D](#) eine Perspektivansicht in aufgelösten Einzelteilen ähnlich wie [Fig. 9](#), die jedoch drei Leseköpfe zeigt;

[0026] [Fig. 9E](#) eine Perspektivansicht von [Fig. 9D](#) nach dem Zusammenbau;

[0027] [Fig. 10](#) eine Querschnittsansicht der Kassette aus [Fig. 9](#) im Aufriss;

[0028] [Fig. 11](#) eine Perspektivansicht in aufgelösten Einzelteilen einer langen Lager/Codierer-Kassette gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0029] [Fig. 11A](#) eine Perspektivansicht in aufgelösten Einzelteilen ähnlich wie [Fig. 11](#), die jedoch einen einzelnen Lesekopf zeigt;

[0030] [Fig. 12](#) eine Querschnittsansicht der Kassette aus [Fig. 11](#) im Aufriss;

[0031] [Fig. 12A](#) eine Querschnittsansicht der Kas-

sette aus [Fig. 12](#) im Aufriss, die die zweifachen Leseköpfe zeigt, die mit der Welle drehbar sind;

[0032] [Fig. 13](#) eine Perspektivansicht in aufgelösten Einzelteilen noch einer weiteren Lager/Codierer-Kassette gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0033] [Fig. 13A](#) eine Perspektivansicht in aufgelösten Einzelteilen ähnlich wie [Fig. 13](#), die jedoch einen einzelnen Lesekopf zeigt;

[0034] [Fig. 14](#) eine Querschnittsansicht der Kassette aus [Fig. 13](#) im Aufriss;

[0035] [Fig. 15](#) eine Perspektivansicht einer Lager/Codierer-Kassette und einer Gegengewichtsfeider gemäß der vorliegenden Erfindung in aufgelösten Einzelteilen;

[0036] [Fig. 15A](#) eine Perspektivansicht in aufgelösten Einzelteilen ähnlich wie [Fig. 15](#), die jedoch einen einzelnen Lesekopf zeigt;

[0037] [Fig. 16](#) eine Querschnittsansicht der Kassette und des Gegengewichts aus [Fig. 15](#) im Aufriss;

[0038] [Fig. 17](#) eine Draufsicht eines Aufbaus des zweifachen Lesekopfes für eine Lager/Codierer-Kassette mit größerem Durchmesser, die gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0039] [Fig. 18](#) eine Querschnittsansicht im Aufriss entlang der Linie 18-18 aus [Fig. 17](#);

[0040] [Fig. 19](#) eine Draufsicht des zweifachen Lesekopfaufbaus aus [Fig. 17](#) von unten;

[0041] [Fig. 20](#) eine Draufsicht eines Aufbaus des zweifachen Lesekopfes für eine Lager/Codierer-Kassette mit kleinerem Durchmesser gemäß der vorliegenden Erfindung von oben;

[0042] [Fig. 21](#) eine Querschnittsansicht im Aufriss entlang der Linie 21-21 aus [Fig. 20](#);

[0043] [Fig. 22](#) eine Draufsicht des zweifachen Lesekopfaufbaus aus [Fig. 20](#) von unten;

[0044] [Fig. 23A](#) ein Blockdiagramm, das die elektronische Konfiguration für das CMM der vorliegenden Erfindung unter Verwendung eines einzelnen Lesekopfes zeigt, und [Fig. 23B](#) ein Blockdiagramm, das die elektronische Konfiguration für das CMM der vorliegenden Erfindung unter Verwendung eines zweifachen Lesekopfes zeigt;

[0045] [Fig. 24](#) eine Querschnittsansicht im Aufriss längs durch das CMM der vorliegenden Erfindung (wobei die Basis entfernt ist);

[0046] [Fig. 24A](#) eine Querschnittsansicht des CMMs aus [Fig. 3A](#) im Aufriss;

[0047] [Fig. 25](#) eine vergrößerte Querschnittsansicht eines Teils von [Fig. 24](#), die die Basis und ein erstes langes Gelenksegment des CMMs aus [Fig. 24](#) zeigt;

[0048] [Fig. 25A](#) eine Perspektivansicht der Verbindung zwischen einem langen und einem kurzen Gelenk gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0049] [Fig. 25B](#) eine Querschnittsansicht im Aufriss längs durch einen Teil von [Fig. 25A](#);

[0050] [Fig. 26](#) eine vergrößerte Querschnittsansicht eines Teils von [Fig. 24](#), die das zweite und das dritte lange Gelenksegment zeigt;

[0051] [Fig. 26A](#) und B vergrößerte Querschnittsansichten von Teilen von [Fig. 24A](#), die das zweite und das dritte lange Gelenk sowie die Sonde zeigen;

[0052] [Fig. 27A](#) einen Seitenaufriss in aufgelösten Einzelteilen, der den Aufbau des ersten kurzen Gelenks mit Gegengewicht gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0053] [Fig. 27B](#) eine Perspektivansicht, die die Komponenten aus [Fig. 27A](#) zeigt;

[0054] [Fig. 28](#) eine Querschnittsansicht im Aufriss, die das innere Gegengewicht der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0055] [Fig. 29](#) eine Querschnittsansicht im Aufriss von der Seite durch eine erste Ausführungsform der Messsonde gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0056] [Fig. 29A](#) einen Seitenaufriss einer weiteren Ausführungsform einer Messsonde gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0057] [Fig. 29B](#) eine Querschnittsansicht im Aufriss entlang der Linie 29B-29B aus [Fig. 29A](#);

[0058] [Fig. 29C](#) eine Perspektivansicht eines Paares von "Aufnahme-" oder "Bestätigungsschaltern", die in den [Fig. 29A](#)-B verwendet werden;

[0059] [Fig. 30A](#)-C aufeinanderfolgende Draufsichten im Aufriss, die den Aufbau mit integriertem Tastkopf und den Umbau zum Aufbau mit Festsonde gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0060] [Fig. 31](#) eine Querschnittsansicht von der Seite im Aufriss durch noch eine weitere Ausführungsform einer Messsonde gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0061] [Fig. 32](#) eine Perspektivansicht der integrierten Magnetbasis gemäß der vorliegenden Erfindung in aufgelösten Einzelteilen;

[0062] [Fig. 33](#) eine Querschnittsansicht im Aufriss durch die Magnetbasis aus [Fig. 32](#);

[0063] [Fig. 34](#) eine Draufsicht der magnetischen Halterung aus [Fig. 32](#) von oben;

[0064] [Fig. 35](#) eine Querschnittsansicht eines CMM-Gelenks von Raab '356 mit zweifachen Leseköpfen im Aufriss;

[0065] [Fig. 36](#) eine Querschnittsansicht eines CMM-Gelenks von Eaton '148 mit zweifachen Leseköpfen im Aufriss;

[0066] [Fig. 37](#) einen Seitenaufriss einer Messsonde mit einer siebten Achse mit Wandler;

[0067] [Fig. 38](#) einen Seitenaufriss ähnlich wie [Fig. 37](#), jedoch mit einem entfernbarer Griff;

[0068] [Fig. 39](#) eine Endansicht der Messsonde aus [Fig. 38](#); und

[0069] [Fig. 40](#) eine Querschnittsansicht der Messsonde aus [Fig. 38](#) im Aufriss.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform:

[0070] Mit Bezug zunächst auf die [Fig. 1](#)-[Fig. 3](#) ist das CMM der vorliegenden Erfindung im Allgemeinen bei **10** gezeigt. Das CMM **10** weist einen mehrfach gegliederten, manuell betriebenen angelenkten Arm **14** auf, der an einem Ende an einem Basisabschnitt **12** und an dem anderen Ende an einer Messsonde **28** angebracht ist. Der Arm **14** ist grundsätzlich aus zwei Arten von Gelenken aufgebaut, nämlich einem langen Gelenk (zur Schwenkbewegung) und einem kurzen Gelenk (zur Klappbewegung). Die langen Gelenke sind im Wesentlichen axial oder längs entlang des Arms positioniert, während die kurzen Gelenke vorzugsweise in einem Winkel von 90° zur Längsachse des Arms positioniert sind. Das lange und das kurze Gelenk sind in einer allgemein als 2-2-2-Konfiguration bekannten Konfiguration gepaart (obwohl andere Gelenkkonfigurationen, wie 2-1-2, 2-1-3, 2-2-3, usw. auch verwendet werden können). Diese Gelenkpaare sind jeweils in den [Fig. 4](#)-[Fig. 6](#) gezeigt.

[0071] [Fig. 4](#) zeigt eine Ansicht des ersten Gelenkpaars, nämlich des langen Gelenks **16** und des kurzen Gelenks **18**, in aufgelösten Einzelteilen. [Fig. 4](#) zeigt auch eine Ansicht der Basis **12** in aufgelösten Einzelteilen einschließlich einer tragbaren Stromversorgungselektronik **20**, eines tragbaren Batteriesatzes **22**, einer magnetischen Halterung **24** und eines

zweiteiligen Basisgehäuses **26A** und **26B**. Diese Komponenten werden jeweils nachstehend genauer besprochen.

**[0072]** Es ist in erster Linie ersichtlich, dass sich die Durchmesser der verschiedenen primären Komponenten des angelenkten Arms **14** von der Basis **12** zur Sonde **28** verjüngen. Eine derartige Verjüngung kann kontinuierlich oder, wie in den in den Figuren gezeigten Ausführungsform, diskontinuierlich oder schrittweise erfolgen. Außerdem kann jede der primären Komponenten des angelenkten Arms **14** durch ein Gewinde angebracht sein, wodurch eine große Zahl von Verbindungselementen in Verbindung mit CMMs des Stands der Technik überflüssig wird. Zum Beispiel ist, wie es später besprochen wird, die magnetische Halterung **24** mit einem Gewinde an dem ersten langen Gelenk **16** angebracht. Vorzugsweise ist ein derartiges Gewinde ein kegeliges Gewinde, das selbstverriegelnd ist und eine erhöhte axiale/Biegesteifigkeit bereitstellt. In einer anderen Ausführungsform, wie sie in den [Fig. 25A](#) und [Fig. 25B](#) gezeigt ist und nachstehend besprochen wird, können die primären Komponenten des angelenkten Arms komplementäre kegelige männliche und weibliche Enden mit zugeordneten Flanschen aufweisen, wobei derartige Flansche miteinander verschraubt sind.

**[0073]** Mit Bezug auf [Fig. 5](#) ist der zweite Satz eines langen und eines kurzen Gelenks an dem ersten Satz angebracht gezeigt. Der zweite Gelenksatz beinhaltet ein langes Gelenk **30** und ein kurzes Gelenk **32**. Wie bei der Anbringung der magnetischen Halterung **24** an dem langen Gelenk **16**, ist das lange Gelenk **30** durch ein Gewinde an einem Gewinde an der Innenfläche des langen Gelenks **16** angebracht. Auf ähnliche Weise, und mit Bezug auf [Fig. 6](#), umfasst der dritte Gelenksatz ein drittes langes Gelenk **34** und ein drittes kurzes Gelenk **36**. Das dritte lange Gelenk **34** ist durch ein Gewinde an einem Gewinde an der Innenfläche des zweiten kurzen Gelenks **32** angebracht. Wie es nachstehend genauer besprochen wird, ist die Sonde **28** mit einem Gewinde an dem kurzen Gelenk **36** angebracht.

**[0074]** Vorzugsweise ist jedes kurze Gelenk **18**, **32** und **36** aus Aluminiumguss und/oder maschinell bearbeiteten Aluminiumkomponenten oder alternativ aus einer leichtgewichtigen steifen Legierung oder einem Verbundstoff gefertigt. Jedes lange Gelenk **16**, **30** und **34** ist vorzugsweise aus Aluminiumguss und/oder maschinell bearbeitetem Aluminium, einer leichtgewichtigen steifen Legierung und/oder faser-verstärktem Polymer gefertigt. Die mechanischen Achsen der drei vorstehend erwähnten Gelenkpaare (d.h. Paar 1 umfasst die Gelenkpaare **16**, **18**, Paar 2 umfasst die Gelenkpaare **30**, **32** und Paar 3 umfasst die Gelenkpaare **34**, **36**) sind in Bezug auf die Basis ausgerichtet, um ein glattes, gleichförmiges mecha-

nisches Verhalten zu gewährleisten. Es wird bevorzugt, dass die vorstehend erwähnte kegelige Konstruktion von der Basis **12** zur Sonde **28** eine erhöhte Steifigkeit an der Basis, wo die Lasten größer sind, und ein kleineres Profil an der Sonde oder dem Griff fördert, wo eine unbehinderte Verwendung wichtig ist. Wie es nachstehend genauer besprochen wird, ist jedes kurze Gelenk einem Schutzwuffer **38** an jedem seiner Enden zugeordnet, und jede lange Sonde ist mit einer Schutzhülse **40** oder **41** bedeckt. Es ist ersichtlich, dass das erste lange Gelenk **16** durch das Basisgehäuse **26A**, **B** geschützt ist, das die gleiche Art von Schutz bereitstellt, wie ihn die Hülsen **40**, **41** für das zweite und das dritte lange Gelenk **30**, **34** bereitstellt.

**[0075]** Gemäß einem wichtigen Merkmal der vorliegenden Erfindung verwendet jedes der Gelenke des angelenkten Arms eine modulare Lager/Codierer-Kassette, wie die kurze Kassette **42** und die lange Kassette **44**, die in den [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) gezeigt sind. Diese Kassetten **42**, **44** sind in den Öffnungen der zweifachen Muffenverbindungen **46**, **48** angebracht. Jede Muffenverbindung **46**, **48** weist eine erste zylindrische Verlängerung **47** mit einer ersten Ausnehmung oder Muffe **120** und eine zweite zylindrische Verlängerung **49** mit einer zweiten Ausnehmung oder Muffe **51** auf. Im Allgemeinen sind die Muffen **120** und **51** in einem Winkel von 90° zueinander positioniert, obwohl andere relative winklige Konfigurationen verwendet werden können. Die kurze Kassette **42** ist in jeder Muffe **51** der zweifachen Muffenverbindungen **46** und **48** positioniert, um eine Gelenkverbindung zu definieren, während die lange Kassette **44** in der Muffe **120** des Gelenks **46** positioniert ist (siehe [Fig. 25](#)), und die lange Kassette **44'** (siehe [Fig. 26](#)) in der Muffe **120** des Gelenks **48** positioniert ist, um jeweils eine längliche Schwenkverbindung zu definieren. Die modularen Lager/Codierer-Kassetten **42**, **44** ermöglichen die separate Herstellung einer vorgespannten oder vorgeladenen Kassette mit zweifachem Lager, auf der die modularen Codierer-komponenten montiert sind. Diese Lager/Codierer-Kassette kann dann fest an den äußeren Rahmenkomponenten (d.h. den zweifachen Muffenverbindungen **46**, **48**) des angelenkten Arms **14** angebracht werden. Die Verwendung solcher Kassetten ist ein wesentlicher Vorsprung auf dem Gebiet, da sie die Herstellung dieser hochentwickelten Unterkomponenten des angelenkten Arms **14** mit hoher Qualität und großer Geschwindigkeit ermöglicht.

**[0076]** In der hier beschriebenen Ausführungsform gibt es vier verschiedene Kassettenarten, zwei lange axiale Kassetten für die Gelenke **30** und **34**, eine axiale Basiskassette für das Gelenk **16**, eine Basiskassette (die ein Gegengewicht beinhaltet) für das kurze Gelenk **18** und zwei Scharnierkassetten für die Gelenke **32** und **36**. Wie bei der Verjüngung des angelenkten Arms **14** haben die Kassetten, die der Basis

am nächsten sind (z.B. in dem langen Gelenk **16** und dem kurzen Gelenk **18**) außerdem einen größeren Durchmesser im Verhältnis zu den kleineren Durchmessern der Gelenke **30**, **32**, **34** und **36**. Jede Kassette beinhaltet eine vorgespannte Lageranordnung und einen Wandler, der in dieser Ausführungsform einen digitalen Codierer aufweist. Nun mit Bezug auf die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) wird die Kassette **44**, die sich in dem axialen langen Gelenk **16** befindet, beschrieben.

**[0077]** Die Kassette **44** weist ein Paar von Lagern **50**, **52** auf, die durch eine Innenhülse **54** und eine Außenhülse **56** getrennt sind. Es ist wichtig, dass die Lager **50**, **52** vorgespannt sind. In dieser Ausführungsform ist eine derartige Vorspannung durch die Hülsen **54**, **56** mit unterschiedlichen Längen gegeben (die Innenhülse **54** ist um etwa 0,0005 Inch ( $\approx 12,7$   $\mu\text{m}$ ) kürzer als die Außenhülse **56**), so dass beim Spannen eine vorgewählte Vorspannung auf die Lager **50**, **52** erzeugt wird. Die Lager **50**, **52** werden unter Verwendung von Dichtungen **58** abgedichtet, wobei dieser Aufbau drehbar auf der Welle **60** montiert ist. An ihrer oberen Oberfläche endet die Welle **60** an einem oberen Wellengehäuse **62**. Ein Ring **63** ist zwischen der Welle **60** und dem oberen Wellengehäuse **62** definiert. Dieser gesamte Aufbau ist innerhalb eines äußeren Kassettengehäuses **64** positioniert, wobei die Welle und ihr Lageraufbau an dem Gehäuse **64** unter Verwendung einer Kombination aus einer Innenmutter **66** und einer Außenmutter **68** sicher angebracht ist. Es ist zu beachten, dass beim Aufbau der obere Teil **65** des äußeren Gehäuses **64** in dem Ring **63** aufgenommen wird. Es ist ersichtlich, dass die vorgenannte Vorspannung beim Anziehen der Innen- und der Außenmutter **66**, **68** auf die Lager **50**, **52** vorgeschen wird, wobei die Muttern Druckkräfte auf die Lager ausüben, und auf Grund des Unterschieds der Länge zwischen dem inneren und dem äußeren Abstandhalter **54**, **56**, wird die gewünschte Vorspannung aufgebracht.

**[0078]** Vorzugsweise sind die Lager **50**, **52** doppelte Kugellager. Um die geeignete Vorspannung zu erreichen ist es wichtig, dass die Lagerflächen möglichst parallel sind. Die Parallelität beeinflusst die Gleichmäßigkeit der Vorspannung um den Umfang des Lagers. Eine ungleichmäßige Belastung gibt dem Lager ein raues, ungleichmäßiges Drehmomentgefühl beim Laufen und führt zu einer unvorhersehbaren Rundlaufabweichung und einer verringerten Codierleistung. Die Rundlaufabweichung der modular montierten Impulsscheibe (was nachstehend besprochen wird) führt zu einer unerwünschten Verschiebung des spannungsoptischen Bilds unterhalb des Lesekopfes. Dies führt zu erheblichen Winkelmessfehlern des Codierers. Ferner steht die Steifheit der vorzugsweise doppelten Lagerstruktur in unmittelbarem Zusammenhang mit der Trennung der Lager. Je weiter die Lager auseinander sind, desto steifer wird der Auf-

bau. Die Abstandhalter **54**, **56** werden verwendet, um die Trennung der Lager zu verbessern. Da das Kassettengehäuse **64** vorzugsweise aus Aluminium besteht, sind die Abstandhalter **54**, **56** vorzugsweise auch aus Aluminium gefertigt und in Bezug auf Länge und Parallelität durch maschinelles Präzisionsbearbeiten bearbeitet. Dadurch führen Temperaturunterschiede nicht zu einer Eigenausdehnung, welche die Vorspannung beeinträchtigen würde. Wie erwähnt entsteht die Vorspannung durch Gestalten der Länge der Abstandhalter **54**, **56** mit einem bekannten Unterschied. Sobald die Muttern **66**, **68** vollständig angezogen sind, führt dieser Längenunterschied zu einer Lagervorspannung. Die Verwendung von Dichtungen **58** schaffen abgedichtete Lager, da jede Verunreinigung derselben jede Drehbewegung und Codiergenauigkeit sowie das Gelenkgefühl beeinflussen würde.

**[0079]** Während die Kassette **44** vorzugsweise ein Paar von beabstandeten Lagern enthält, könnte die Kassette **44** alternativ ein einzelnes Lager oder drei oder mehr Lager enthalten. Somit benötigt jede Kassette mindestens ein Lager als Minimum.

**[0080]** Die Gelenkkassetten der vorliegenden Erfindung können entweder eine unbegrenzte Drehung oder alternativ eine begrenzte Drehung haben. Für eine begrenzte Drehung schafft eine Nut **70** auf einem Flansch **72** auf der Außenfläche des Gehäuses **64** eine zylindrische Spur, in der ein Shuttle **74** aufgenommen ist. Das Shuttle **74** läuft innerhalb der Spur **70**, bis es an einen abnehmbaren Shuttleanschlag anstößt, wie zum Beispiel die Stellschrauben des Drehanschlags **76**, woraufhin die Drehung behindert wird. Der Betrag der Drehung kann nach Wunsch schwanken. Bei einer bevorzugten Ausführungsform wäre die Shuttledrehung auf weniger als  $720^\circ$  begrenzt. Drehanschläge für Shuttles der hier enthaltenen Art sind genauer in dem US-Patent 5,611,147 beschrieben, das ebenfalls dem vorliegenden Anmelder gehört.

**[0081]** Wie erwähnt kann in einer alternativen Ausführungsform das bei der vorliegenden Erfindung verwendete Gelenk eine unbegrenzte Drehung haben. In diesem letzteren Fall wird ein bekannter Schleifringaufbau verwendet. Vorzugsweise erstreckt sich eine hohle oder axiale Öffnung **78** durch die Welle **60**, die an deren einem Ende einen Abschnitt mit größerem Durchmesser **80** aufweist. Ein zylindrischer Schleifringaufbau **82** liegt an der Schulter an, die an der Kreuzung zwischen den axialen Öffnungen **78** und **80** definiert ist. Der Schleifringaufbau **82** ist in Bezug auf den vorgespannten Lageraufbau, der sich in der modularen Gelenkkassette fortsetzt, nicht strukturell (das heißt, er bietet keine mechanische Funktion, sondern nur eine elektrische und/oder Signalübertragungsfunktion). Während der Schleifringaufbau **82** aus irgendeinem handelsüblichen Schleif-

ring bestehen kann, weist bei einer bevorzugten Ausführungsform der Schleifringaufbau **82** einen Schleifring der H-Serie auf, der von der Firma IDM Electronics Ltd., Reading, Berkshire, Großbritannien, erhältlich ist. Derartige Schleifringe haben eine kompakte Größe, und mit ihrer zylindrischen Gestalt sind sie zur Verwendung in der Öffnung **80** innerhalb der Welle **60** ideal geeignet. Die axiale Öffnung **80** durch die Welle **60** endet an einem Schlitz **84**, der mit einem Kanal **86** kommuniziert, der so bemessen und konfiguriert ist, dass er eine Verdrahtung von dem Schleifringaufbau **82** aufnimmt. Eine derartige Verdrahtung ist durch einen Drahtüberzug **88**, der in dem Kanal **86** und dem Schlitz **84** einrastet und von diesen aufgenommen wird, sicher am Platz gehalten und geschützt. Eine derartige Verdrahtung ist schematisch bei **90** in [Fig. 10](#) gezeigt.

**[0082]** Wie erwähnt enthält die modulare Kassette **44** sowohl eine vorgespannte Lagerstruktur, die vorstehend beschrieben wurde, als auch eine modulare Codiererstruktur, die nun beschrieben wird. Immer noch mit Bezug auf die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) weist der bevorzugte Wandler, der bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird, einen modularen optischen Codierer mit zwei primären Komponenten, einem Lesekopf **92** und einer Gitterscheibe **94** auf. In dieser Ausführungsform sind ein Paar von Leseköpfen **92** auf einer Anschlussleiste **96** für einen Lesekopf positioniert. Die Anschlussleiste **96** ist (über Verbindungsselemente **98**) an einer Montageplatte **100** angebracht. Die Scheibe **94** ist vorzugsweise an der unteren Lagerfläche **102** der Welle **60** (vorzugsweise unter Verwendung eines geeigneten Klebstoffs) angebracht und ist von den Leseköpfen **92** in Ausrichtung mit diesen beabstandet (wobei die Leseköpfe von der Platte **100** getragen und gehalten werden). Ein Drahttrichter **104** und eine Verschlusskappe **106** schaffen die abschließende äußere Umhüllung des unteren Endes des Gehäuses **64**. Der Drahttrichter **104** nimmt die Verdrahtung **90** auf und hält diese, wie es am besten in [Fig. 10](#) gezeigt ist. Es ist ersichtlich, dass die Impulsscheibe **94** durch die Aufbringung von Klebstoff bei **102** von der Welle **60** gehalten wird und sich mit dieser dreht. Die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) zeigen einen doppelten Lesekopf **92**; es ist jedoch ersichtlich, dass mehr als zwei Leseköpfe verwendet werden können. Die [Fig. 9B-E](#) zeigen Beispiele für modulare Kassetten **44** mit mehr als zwei Leseköpfen. Die [Fig. 9B-C](#) zeigen vier Leseköpfe **92**, die in einer Platte **100** aufgenommen und mit Abständen von  $90^\circ$  beabstandet sind (obwohl andere relative Zwischenräume geeignet sein können). Die [Fig. 9D-E](#) zeigen drei Leseköpfe **92**, die in einer Platte **100** aufgenommen und mit Abständen von  $120^\circ$  voneinander beabstandet sind (obwohl andere relative Zwischenräume geeignet sein können).

**[0083]** Um die Scheibe **94** richtig auszurichten, ist an einer Stelle neben der Scheibe **94** ein Loch (nicht

gezeigt) durch das Gehäuse **64** vorgesehen. Ein Werkzeug (nicht gezeigt) wird dann verwendet, um die Scheibe **94** in die richtige Ausrichtung zu schieben, woraufhin Klebstoff zwischen der Scheibe **94** und der Welle **66** gehärtet wird, um die Scheibe **94** an ihrer Stelle zu verriegeln. Ein Lochstopfen **73** wird dann durch das Loch in dem Gehäuse **64** vorgesehen.

**[0084]** Es ist wichtig anzumerken, dass die Plätze für die Scheibe **94** und den Lesekopf **92** umgekehrt werden können, wobei die Scheibe **94** an dem Gehäuse **56** angebracht wird und der Lesekopf **92** sich mit der Welle **60** dreht. Eine derartige Ausführungsform ist in [Fig. 12A](#) gezeigt, wo die Leiste **96'** (durch Klebstoff) an der Welle **60'** angebracht ist, um sich mit dieser zu drehen. Ein Paar von Leseköpfen **92'** ist an der Leiste **96'** angebracht und dreht sich somit mit der Welle **60'**. Die Scheibe **94'** ist auf einem Träger **100'** positioniert, der an dem Gehäuse **64'** befestigt ist. Auf jeden Fall ist es ersichtlich, dass entweder die Scheibe **94** oder der Lesekopf **92** zur Drehung mit der Welle montiert werden kann. Das Wesentliche ist, dass die Scheibe **94** und der Lesekopf **92** in einer Kassette (oder einem Gelenk) angeordnet sind, um zueinander verdrehbar zu sein, während eine optische Kommunikation erhalten bleibt.

**[0085]** Vorzugsweise ist der drehbare Codierer, der bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird, ähnlich zu demjenigen, der in den US-Patenten mit den Nummern 5,486,923 und 5,559,600 offenbart ist. Derartige modulare Codierer sind im Handel unter der Handelsbezeichnung Pure Precision Optics von MicroE Systems erhältlich. Diese Codierer basieren auf physikalischer Optik, die die Interferenz zwischen Beugungsordnungen erfasst, um nahezu perfekte sinusförmige Signale von einer Photodetektorgruppierung (z.B. Lesekopf (Leseköpfe)), die in dem spannungsoptischen Bild eingefügt ist, zu erzeugen. Die sinusförmigen Signale werden elektronisch interpoliert, um eine Verschiebungserfassung zu ermöglichen, die nur einen Bruchteil des spannungsoptischen Bildes darstellt.

**[0086]** Unter Verwendung einer Laserlichtquelle wird der Laserstrahl zunächst durch eine Linse parallel gerichtet und dann durch eine Öffnungsblende dimensioniert. Der parallel gerichtete dimensionierte Strahl geht durch ein Gitter hindurch, das das Licht in diskrete Ordnungen beugt, wobei die 0. und alle geradzahligen Ordnungen durch die Gitterkonstruktion unterdrückt werden. Wenn die 0. Ordnung unterdrückt wird, besteht ein Bereich jenseits der divergierenden 3. Ordnung, wo nur die  $\pm 1$ . Ordnungen überlappen, um eine nahezu reine sinusförmige Interferenz zu schaffen. Eine oder mehrere Photodetektorgruppierungen (Leseköpfe) werden innerhalb dieses Bereichs platziert und erzeugen vier Kanäle von nahezu reinen sinusförmigen Ausgaben, wenn eine re-

lative Bewegung zwischen dem Gitter und dem Detektor besteht. Eine Elektronik verstärkt, normalisiert und interpoliert die Ausgabe auf den gewünschten Auflösungsgrad.

**[0087]** Die Einfachheit dieser Codierergestaltung ergibt mehrere Vorteile gegenüber optischen Codierern des Stands der Technik. Es können Messungen nur mit einer Laserquelle und ihrer parallel richtenden Optik, einem Beugungsgitter und einer Detektorgruppierung durchgeführt werden. Dies führt zu einem äußerst kompakten Codierersystem im Vergleich zu den sperrigeren herkömmlichen Codierern des Stands der Technik. Außerdem desensibilisiert eine direkte Beziehung zwischen dem Gitter und der Streifenverschiebung den Codierer gegenüber durch die Umwelt induzierte Fehler, für welche die Vorrichtungen des Stands der Technik anfällig sind. Ferner sind, da der Interferenzbereich groß ist und da überall innerhalb dieses Bereichs eine nahezu sinusförmige Interferenz erhalten wird, Ausrichtungstoleranzen weit lockerer als in Verbindung mit Codierern des Stands der Technik.

**[0088]** Ein wesentlicher Vorteil des vorstehend erwähnten optischen Codierers besteht darin, dass die Präzision der Abstandsausrichtung und des Abstands oder des Abstands und der Orientierung des Lesekopfs in Bezug auf die Impulsscheibe viel weniger streng ist. Dadurch werden eine Drehmessung mit hoher Genauigkeit und ein leicht zusammenzubauendes Paket ermöglicht. Das Ergebnis der Verwendung dieser "Geometrie-toleranten" Codierer-technologie ergibt ein CMM 10, das wesentlich kostengünstiger und leicht herzustellen ist.

**[0089]** Es ist ersichtlich, dass, während die vorstehend beschriebene bevorzugte Ausführungsform eine optische Scheibe 94 einschließt, die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auch jedes spannungsoptische Bild umfasst, das die Messung einer relativen Bewegung durch den Lesekopf ermöglicht. Wie es hier verwendet wird, bedeutet ein derartiges spannungsoptisches Bild jede periodische Gruppierung von optischen Elementen, die die Messung von Bewegung ermöglicht. Derartige optische Elemente oder spannungsoptische Bilder könnten auf einer sich drehenden oder ortsfesten Scheibe wie vorstehend beschrieben montiert werden, oder sie könnten alternativ aufgebracht, befestigt oder anderweitig positioniert werden oder auf einer der sich relativ zueinander bewegenden Komponenten (wie die Welle, Lager oder das Gehäuse) der Kassette sitzen.

**[0090]** In der Tat müssen der Lesekopf und die zugeordnete periodische Gruppierung oder das Bild überhaupt nicht unbedingt auf Optik basieren (wie vorstehend beschrieben). Im weiteren Sinne könnte der Lesekopf eher ein anderes periodisches Bild einer anderen messbaren Größe oder Charakteristik

lesen (oder fühlen), die verwendet werden kann, um eine Bewegung, im Allgemeinen eine Drehbewegung, zu messen. Derartige andere messbare Charakteristika können zum Beispiel das Reflexionsvermögen, die Trübung, das Magnetfeld, die Kapazität, die Induktivität oder die Rautiefe einschließen. (Es ist zu beachten, dass ein Rautiefenbild unter Verwendung eines Lesekopfes oder Sensors in Form einer Kamera, wie einer CCD-Kamera, gelesen werden könnte.) In solchen Fällen würde der Lesekopf zum Beispiel periodische Änderungen des Magnetfelds, des Reflexionsvermögens, der Kapazität, der Induktivität, der Rautiefe oder dergleichen messen. Wie er hier zuvor verwendet wurde, bedeutet der Begriff "Lesekopf" jeden Sensor oder Wandler und zugehörige Elektronik zur Analyse dieser messbaren Mengen oder Charakteristika mit einem optischen Lesekopf, was nur ein bevorzugtes Beispiel ist. Natürlich kann sich das gerade von dem Lesekopf gelesene periodische Bild auf irgendeiner Oberfläche befinden, solange eine relative (im Allgemeinen Dreh-) Bewegung zwischen dem Lesekopf und dem periodischen Bild vorliegt. Beispiele für das periodische Bild umfassen ein magnetisches, induktives oder kapazitives Medium, das auf einer drehbaren oder ortsfesten Komponente in einem Bild aufgebracht ist. Außerdem ist es, wenn die Rautiefe das zu lesende periodische Bild ist, nicht notwendig, ein separates periodisches Medium aufzubringen oder anderweitig vorzusehen, da die Rautiefe jeder Komponente in Verbindung mit dem zugeordneten Lesekopf (wahrscheinlich einer Kamera, wie einer CCD-Kamera) verwendet werden kann.

**[0091]** Wie erwähnt zeigen die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) die Elemente der modularen Lager- und Codiererkassette für das axiale lange Gelenk 16. Die [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) zeigen die Lager- und Codiererkassette für die axialen langen Gelenke 30 und 34. Diese Kassettenaufbauten sind im Wesentlichen ähnlich zu denjenigen, die in den [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) gezeigt sind, und sie werden daher mit 44' bezeichnet. Kleinere Unterschiede im Vergleich zur Kassette 44 zum Beispiel hinsichtlich einer anders konfigurierten Drahtkappe/Abdeckung 88', leicht unterschiedlichen Drahttrichtern/Abdeckungen 104', 106' und der Positionierung des Flansches 72' an dem oberen Ende des Gehäuses 64', werden aus den Figuren ersichtlich. Die Flansche zwischen dem Gehäuse 64' und dem oberen Wellengehäuse 62 sind außerdem trichterförmig nach außen aufgeweitet. Natürlich können sich die relativen Längen der verschiedenen in den [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) gezeigten Komponenten etwas von denjenigen unterscheiden, die in den [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) gezeigt sind. Da alle diese Komponenten im Wesentlichen ähnlich sind, wurden den Komponenten die gleichen Bezugszeichen unter Hinzufügung eines Striches gegeben. [Fig. 11A](#) ist ähnlich wie [Fig. 11](#), zeigt jedoch eine Ausführungsform mit einem einzelnen Lesekopf.

[0092] Mit Bezug auf die [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) sind ähnliche Querschnittsansichten in aufgelösten Einzelteilen für die Lager- und Codierer-Kassetten in den kurzen Gelenkverbindungen **32** und **36** gezeigt. Wie bei den langen axialen Gelenken **44'** der [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) sind die Kassetten für die kurzen Gelenkverbindungen **32** und **36** im Wesentlichen ähnlich wie die Kassette **44**, die vorstehend genau besprochen wurde, und daher sind die Komponenten dieser Kassetten mit **44"** bezeichnet, wobei ähnliche Komponenten unter Verwendung eines Doppelstriches bezeichnet sind. Es ist ersichtlich, dass, da die Kassetten **44"** zur Verwendung in den kurzen Gelenken **32**, **36** gedacht sind, kein Schleifringaufbau erforderlich ist, da die Verdrahtung auf Grund der Klappbewegung dieser Gelenke einfach durch die axialen Öffnungen **78"**, **80"** hindurch geht. [Fig. 13A](#) ist ähnlich wie [Fig. 13](#), zeigt jedoch eine Ausführungsform mit einem einzelnen Lesekopf.

[0093] Schließlich ist mit Bezug auf die [Fig. 15](#) und [Fig. 16](#) die modulare Lager-/Codierer-Kassette für die kurze Gelenkverbindung **18** bei **108** gezeigt. Es ist ersichtlich, dass im Wesentlichen alle Komponenten der Kassette **108** ähnlich oder gleich sind wie die Komponenten in den Kassetten **44**, **44'** und **44"**, wobei die wichtige Ausnahme in der Einfügung eines Gegengewichtaufbaus besteht. Dieser Gegengewichtaufbau schließt eine Gegengewichtsfeder **110** ein, die über das Gehäuse **64"** aufgenommen ist und eine wichtige Gegengewichtsfunktion für das CMM **10** derart vorsieht, wie es im Folgenden anhand der [Fig. 26](#) und [Fig. 28](#) beschrieben wird. [Fig. 15A](#) ist ähnlich wie [Fig. 15](#), zeigt jedoch eine Ausführungsform mit einem einzelnen Lesekopf.

[0094] Wie erwähnt kann bei einer bevorzugten Ausführungsform mehr als ein Lesekopf in dem Codierer verwendet werden. Es ist ersichtlich, dass die Winkelmessung eines Codierers durch ein unrundes Laufen der Scheibe oder eine radiale Bewegung auf Grund von aufgebrachten Lasten erfolgt. Es wurde festgestellt, dass zwei Leseköpfe, die sich in einem Winkel von  $180^\circ$  voneinander befinden, zu einer Unrundheit führen, was in jedem Lesekopf Aufhebungswirkungen verursacht. Der Durchschnitt dieser Aufhebungswirkungen wird für eine abschließende "immune" Winkelmessung ermittelt. Somit ergeben die Verwendung von zwei Leseköpfen und die resultierende Fehleraufhebung eine weniger fehleranfällige und genauere Codierermessung. Die [Fig. 17](#)–[Fig. 19](#) zeigen jeweils eine Ansicht von unten, eine Querschnittsansicht und eine Draufsicht einer Ausführungsform mit zwei Leseköpfen, die zum Beispiel bei einer Kassette mit einem größeren Durchmesser nützlich ist, wie sie sich in den Gelenken **16** und **18** befindet (das heißt in den Gelenken, die der Basis am nächsten sind). Somit ist auf einer Kassettenendkappe **100** ein Paar von Leiterplatten **96** montiert, wobei an jeder Leiterplatte **96** ein Lesekopf **92** mechanisch

angebracht ist. Die Leseköpfe **92** befinden sich vorzugsweise in einem Winkel von  $180^\circ$  voneinander, um für die Fehleraufhebung zu sorgen, die sich aus dem unrunden Lauf oder der radialen Bewegung der Platte ergibt. Jede Leiterplatte **96** weist zusätzlich ein Verbindungsstück **93** zum Anbringen der Leiterplatte **96** an dem internen Bus und/oder einer anderen Verdrahtung auf, wie es hier nachstehend besprochen wird. Die [Fig. 20](#)–[Fig. 22](#) zeigen im Wesentlichen die gleichen Komponenten wie in den [Fig. 17](#)–[Fig. 19](#), wobei der primäre Unterschied in einer Kassettenendkappe **100** mit einem kleineren Durchmesser besteht. Diese Ausführungsform mit zwei Leseköpfen mit einem kleineren Durchmesser würde den Kassetten mit kleinerem Durchmesser zum Beispiel der Gelenke **30**, **32**, **34** und **36** zugeordnet werden.

[0095] Die Verwendung von mindestens zwei Leseköpfen (oder mehr, wie die drei Leseköpfe, die in den [Fig. 9D](#)–E gezeigt sind, und die vier Leseköpfe, die in den [Fig. 9B](#)–C gezeigt sind) wird auch vorteilhafterweise in herkömmlicheren Koordinatenmessgeräten eingesetzt, um die Kosten und die Komplexität ihrer Herstellung erheblich zu verringern. Zum Beispiel hat ein Koordinatenmessgerät, das in dem US-Patent 5,794,356 beschrieben ist (nachstehend "Raab '356") eine relativ einfache Konstruktion für jedes Gelenk einschließlich eines ersten Gehäuses, das ortsfest mit einer Gelenkhälfte bleibt, und eines zweiten Gehäuses, das ortsfest mit der zweiten Gelenkhälfte bleibt, wobei das erste und das zweite Gehäuse vorgespannte Lager aufweisen, wodurch sie sich miteinander drehen können. Das erste Gehäuse nimmt einen kompakten Codierer auf, und das zweite Gehäuse weist eine axial angeordnete interne Welle auf, die sich in das erste Gehäuse erstreckt und zu der Codiererwelle passt, die von dem kompakten Codierer vorsteht. Bei dem kompakten Codierer des Stands der Technik ist es notwendig, dass keine Lasten an ihn angelegt werden und dass die Bewegung des zweiten Gehäuses genau an den Codierer übertragen wird, und zwar trotz kleiner Verlagerungen der Achse der internen Welle und der Achse des kompakten Codierers, um die höchst genauen Drehmessungen beizubehalten. Um Herstellungstoleranzen bei einem axialen Versatz auszugleichen, ist eine spezielle Kopplungsvorrichtung zwischen der Codiererwelle und der internen Welle angeschlossen. Eine derartige Struktur ist aus [Fig. 7](#) von Raab '356 ersichtlich.

[0096] Im Gegensatz dazu zeigt [Fig. 35](#) eine modifizierte Struktur, bei der die Kopplungsvorrichtung und der kompakte Codierer des CMMs von Raab '356 entfernt sind und durch eine Impulsscheibe **96** und eine Endkappe **100** ersetzt sind. Hier befinden sich zwei Gelenke in einem Winkel von  $90^\circ$  zueinander, wobei jedes Gelenk ein erstes Gehäuse **420** und ein zweites Gehäuse **410** aufweist. Die interne Welle **412** erstreckt sich von dem zweiten Gehäuse **420** in

das erste Gehäuse **410**. Wie gezeigt ist, ist die Impulsscheibe **96** zum Beispiel unter Verwendung von Klebstoff an dem Ende der internen Welle **412** angebracht, während die Endkappe **100** innerhalb des ersten Gehäuses **420** befestigt ist. Es ist jedoch klar, dass die Impulsscheibe **96** innerhalb des ersten Gehäuses **420** und die Endkappe **100** an der internen Welle **412** befestigt sein kann, ohne den Betrieb des Gelenks zu beeinträchtigen.

**[0097]** Wie zuvor beschrieben wurde, führen die Verwendung von zwei (oder mehr) Leseköpfen und die resultierende Fehleraufhebung trotz kleiner axia- ler Verlagerungen zu einer weniger fehleranfälligen und genaueren Codierermessung. Außerdem desen- sibilisiert eine direkte Beziehung zwischen dem Gitter und der Streifenverschiebung den Codierer gegenüber durch die Umgebung induzierte Fehler, für welche Vorrichtungen des Stands der Technik anfällig sind. Ferner sind, da der Interferenzbereich groß ist und da eine nahezu sinusförmige Interferenz überall innerhalb dieses Bereichs erhalten wird, Ausrich- tungstoleranzen weit lockerer als in Verbindung mit Codierern des Stands der Technik, wie zuvor be- schrieben wurde.

**[0098]** Bei einem weiteren Beispiel beschreibt das US-Patent 5,829,148 von Eaton (nachstehend Eaton '148) ein CMM des Stands der Technik, bei dem ein kompakter Codierer einen festen Bestandteil jedes Gelenks bildet, indem er primäre drehbare Lager vor- sieht und daher die Notwendigkeit der Kompensie- rung von axialen Verlagerungen vermeidet, die bei Raab '356 wie vorstehend besprochen erforderlich ist. Da jedoch der Codierer primäre drehbare Lager vorsieht, ist es wichtig, dass der Codierer strukturell robust und in der Lage ist, verschiedenen Lasten unterworfen zu werden, ohne dass dessen Leistung beeinträchtigt wird. Dies kommt noch zu den Kosten und der Sperrigkeit des Codierers hinzu. Eine derartige Struktur ist in [Fig. 4](#) von Eaton '148 zu sehen.

**[0099]** Im Gegensatz dazu zeigt [Fig. 36](#) eine modifi- zierte Struktur, bei der der kompakte Codierer und die Verbindungswelle eines Gelenks des CMMs von Eaton '148 entfernt und durch die Endkappe **100** und die Impulsscheibe **96** ersetzt ist. Hier hält ein erstes Gehäuse **470** die Endkappe **100** und hält die interne Welle **462** des zweiten Gehäuses **460** durch Lager **472**. Die interne Welle **462** ist verlängert, um nahe der Endkappe **100** zu enden, und die Impulsscheibe **96** ist zum Beispiel unter Verwendung von Klebstoff an dem Ende der internen Welle **462** angebracht. Wie bei der Ausführungsform, die in [Fig. 35](#). gezeigt ist, verringert die Verwendung von zwei (oder mehr) Leseköpfen die Kosten und Komplexität des Gelenks erheblich, ohne dass die Genauigkeit darunter leidet.

**[0100]** Nun mit Bezug auf [Fig. 23A](#) ist ein Blockdia- gramm der Elektronik für die Ausführungsform mit

dem einzelnen Lesekopf der [Fig. 9A](#), [Fig. 11A](#), [Fig. 13A](#) und [Fig. 15A](#) gezeigt. Es ist ersichtlich, dass das CMM **10** vorzugsweise einen externen Bus (vorzugsweise einen USB-Bus) **260** und einen inter- nen Bus (vorzugsweise RS485) **261**, der so gestaltet ist, dass er auf mehrere Codierer erweitert werden kann, sowie entweder eine außen angebrachte Schiene oder zusätzliche Drehachsen, wie eine siebte Achse, einschließt. Der interne Bus entspricht vor- zugsweise RS485, und dieser Bus ist vorzugsweise so konfiguriert, dass er als ein serielles Netzwerk ent- sprechend dem seriellen Netzwerk zum Übertragen von Daten von Wendlern in einem tragbaren CMM-Arm, wie in dem ebenfalls vergebenen US-Patent 6,219,928 offenbart ist, verwendet werden kann.

**[0101]** Mit Bezug auf [Fig. 23A](#) ist es ersichtlich, dass jeder Codierer in jeder Kassette einer Codiererplatine zugeordnet ist. Die Codiererplatine für die Kassette im Gelenk **16** ist innerhalb der Basis **12** po- sitioniert und in [Fig. 25](#) mit **112** gekennzeichnet. Die Codierer für die Gelenke **18** und **30** werden auf einer zweifachen Codiererplatine verarbeitet, die sich in dem zweiten langen Gelenk **30** befindet und in [Fig. 26](#) mit **114** gekennzeichnet ist. [Fig. 26](#) zeigt auch eine ähnliche zweifache Codiererplatine **116** für die Codierer, die in den Gelenken **32** und **34** verwen- det werden, wobei die Platine **116** in dem dritten lan- gen Gelenk **34** positioniert ist, wie in [Fig. 26](#) gezeigt ist. Schließlich ist die Endcodiererplatine **118** inner- halb des Griffs **28** der Messsonde positioniert, wie in [Fig. 24](#) gezeigt ist, und wird verwendet, um die Co- dierer in dem kurzen Gelenk **36** zu verarbeiten. Jede der Platinen **114**, **116** und **118** ist einem Thermoele- ment zugeordnet, um auf Grund von Temperatur- schwankungen einen Wärmeausgleich vorzusehen. Jede Platine **112**, **114**, **116** und **118** enthält eine ein- gebettete Analog-Digital-Umsetzung, eine Codierer-zählung und serielle Schnittstellenanschlüsse. Jede Platine weist auch einen durch Eingabe programmierbaren Flash-Speicher auf, um eine lokale Spei- cherung von Betriebsdaten zu ermöglichen. Die Hauptprozessorplatine **112** ist auch durch den exter- nen USB-Bus **260** feldprogrammierbar. Wie erwähnt ist der interne Bus (RS-485) **261** so gestaltet, dass er für mehr Codierer erweiterbar ist, was auch entweder eine außen montierte Schiene und/oder eine siebte Drehachse einschließt. Eine Achsenschnittstelle wurde vorgesehen, um eine interne Busdiagnose zur Verfügung zu stellen. Mehrere CMMs der in diesen Figuren bei **10** gezeigten Art können auf Grund der Kapazitäten des externen USB-Kommunikationsproto- kolls an einer einzelnen Anwendung angebracht werden. Außerdem können aus genau den gleichen Gründen mehrere Anwendungen an einem einzelnen CMM **10** angebracht werden.

**[0102]** Vorzugsweise schließt jede Platine **112**, **114**, **116** und **118** einen 16-Bit-Digitalsignalprozessor ein, wie den Prozessor, der von Motorola unter der Be-

zeichnung DSP56F807 erhältlich ist. Diese einzelne Verarbeitungskomponente kombiniert viele Verarbeitungsmerkmale, einschließlich einer seriellen Kommunikation, der Decodierung von Phasenverschiebungen, A/D-Umsetzern und eines integrierten Speichers, wodurch eine Verringerung der Gesamtzahl von für jede Platine erforderlichen Chips ermöglicht wird.

**[0103]** Gemäß eines weiteren wichtigen Merkmals der vorliegenden Erfindung ist jeder der Codierer einem individualisierten Kennungsschip **120** zugeordnet. Dieser Chip identifiziert jeden individuellen Codierer und identifiziert daher jede individuelle modulare Lager/Codierer-Kassette, um die Qualitätskontrolle, das Testen und Reparaturen zu vereinfachen und zu beschleunigen.

**[0104]** [Fig. 23B](#) ist ein Elektronik-Blockdiagramm, das ähnlich wie in [Fig. 23A](#) ist, jedoch die Ausführungsform der [Fig. 10](#), [Fig. 12](#), [Fig. 14](#) und [Fig. 16–Fig. 22](#) mit zweifachem Lesekopf zeigt.

**[0105]** Mit Bezug auf die [Fig. 24–Fig. 26](#) wird nun der Aufbau jeder Kassette in dem angelenkten Arm **14** beschrieben (es ist zu beachten, dass [Fig. 24](#) den Arm **10** ohne Basis **12** zeigt. Es ist auch zu beachten, dass die [Fig. 24–Fig. 26](#) die Ausführungsformen mit einzelnen Lesekopf der [Fig. 9A](#), [Fig. 11A](#), [Fig. 13A](#) und [Fig. 15A](#) verwenden. Wie in [Fig. 25](#) gezeigt ist, schließt das erste lange Gelenk **16** eine relativ lange Kassette **44** ein, deren oberes Ende in eine zylindrische Muffe **120** der zweifachen Muffenverbindung **46** eingeführt worden ist. Die Kassette **44** ist unter Verwendung eines geeigneten Klebstoffs sicher innerhalb der Muffe **120** gehalten. Das gegenüberliegende untere Ende der Kassette **44** ist in ein Verlängerungsrohr eingeschoben, welches in dieser Ausführungsform eine Aluminiumhülse **122** sein kann (aber die Hülse **122** kann auch aus einer steifen Legierung oder einem Verbundstoffmaterial bestehen). Die Kassette **44** ist in der Hülse **122** wiederum unter Verwendung eines geeigneten Klebstoffs gesichert. Das untere Ende der Hülse **122** schließt einen Abschnitt **124** mit größerem Außendurchmesser und mit einem Innengewinde **126** auf diesem ein. Ein derartiges Gewinde ist nach außen verjüngt und ist so konfiguriert, dass es in Bezug auf das Gewinde zu einem sich nach innen verjüngenden Gewinde **128** auf einem magnetischen Trägergehäuse **130** passt, wie es in [Fig. 4](#) deutlich gezeigt ist. Wie besprochen wurde, sind alle der mehreren Gelenke des CMMs **10** unter Verwendung eines derartigen sich verjüngenden Gewindes miteinander verbunden. Vorzugsweise ist das kegelige Gewinde vom NPT-Typ, welches selbstdichtend ist, und daher sind keine Sicherungsmuttern oder andere Befestigungsvorrichtungen erforderlich. Dieses Gewinde ermöglicht auch ein Gewindeverriegelungsmittel und sollte dieses einschließen.

**[0106]** Nun mit Bezug auf [Fig. 26](#) ist, wie bei dem ersten langen Gelenk **16**, die lange Kassette **44'** mit einem Klebstoff in der zylindrischen Öffnung **120'** der zweifachen Muffenverbindung **46'** gesichert. Das äußere Gehäuse **64'** der Kassette **44'** schließt einen Absatz **132** ein, der durch die untere Oberfläche des Flansches **72'** definiert ist. Dieser Absatz **132** trägt das zylindrische Verlängerungsrohr **134**, das über der Außenfläche des Gehäuses **64'** vorgesehen ist und dieses umgibt. Verlängerungsrohre werden in den Gelenken verwendet, um ein Rohr mit variabler Länge zum Anbringen an einer mit Gewinde versehenen Komponente zu schaffen. Das Verlängerungsrohr **134** erstreckt sich somit von dem Boden der Kassette **64'** nach außen, und eine mit Gewinde versehene Hülse **136** ist in dieses eingeschoben. Es wird ein geeigneter Klebstoff verwendet, um das Gehäuse **44'** an das Verlängerungsrohr **134** zu binden und die Hülse **136** und das Rohr **134** zu verbinden. Die Hülse **136** endet an einem kegeligen Abschnitt mit einem Außengewinde **138** auf diesem. Das Außengewinde passt in Bezug auf das Gewinde zu dem Innengewinde **140** auf dem Verbindungsstück **142**, das mit Klebstoff in der Öffnung **144** der zweifachen Muffenverbindung **48** gesichert wurde. Vorzugsweise besteht das Verlängerungsrohr **134** aus einem Verbundstoffmaterial, wie einem geeigneten Kohlefaserverbundstoff, während die mit Gewinde versehene Hülse **136** aus Aluminium besteht, um zu den Wärmeeigenschaften der zweifachen Muffenverbindung **48** zu passen. Es ist ersichtlich, dass die PC-Platine **114** an einem Träger **146** befestigt ist, der wiederum an dem Träger **142** der zweifachen Muffenverbindung gesichert ist.

**[0107]** Zusätzlich zu den vorstehend erwähnten Gewindestrukturen kann ein oder können einige oder alle der Gelenke unter Verwendung von mit Gewinde versehenen Befestigungsmitteln miteinander verbunden sein, wie in den [Fig. 25A–B](#) gezeigt ist. Im Gegensatz zu der mit Gewinde versehenen Hülse **136** aus [Fig. 26](#) hat die Hülse **136'** aus [Fig. 25B](#) ein glattes kegeliges Ende **137**, das in einem komplementären kegeligen Muffenträger **142'** gehalten ist. Ein Flansch **139** erstreckt sich um den Umfang nach außen von der Hülse **136'** mit einer Gruppierung von Bolzenlöchern (in diesem Fall **6**) durch diese zur Aufnahme von Gewindestiften **141**. Die Bolzen **141** werden mit dem Gewinde in entsprechenden Löchern entlang der Oberfläche des Muffenträgers **142'** aufgenommen. Ein Verlängerungsrohr **134'** ist über der Hülse **136'** aufgenommen, wie bei der Ausführungsform aus [Fig. 26](#). Die komplementären kegeligen männlichen und weiblichen Verbindungen für die Gelenke schaffen verbesserte Verbindungsgrenzflächen im Vergleich zum Stand der Technik.

**[0108]** Immer noch mit Bezug auf [Fig. 26](#) ist die lange Kassette **44''** des dritten langen Gelenks **34** auf ähnliche Weise wie die Kassette **44'** des langen Ge-

lenks **30** an dem Arm **14** gesichert. Das heißt, der obere Abschnitt der Kassette **44'** ist mit Klebstoff in einer Öffnung **120'** der zweifachen Muffenverbindung **46'** gesichert. Ein Verlängerungsrohr **148** (vorzugsweise bestehend aus einem Verbundstoffmaterial, wie in Bezug auf das Rohr **134** beschrieben wurde) ist über dem äußeren Gehäuse **64'** positioniert und erstreckt sich nach außen von diesem, um eine Gegenhülse **150** aufzunehmen, die mit einem Klebstoff in dem Innendurchmesser des Verlängerungsrohrs **148** gesichert ist. Die Gegenhülse **150** endet an einem kegeligen Abschnitt mit einem Außengewinde **152** und passt zu einem komplementären Innengewinde **153** auf dem zweifachen Muffenverbindungsträger **154**, der mit Klebstoff an einer zylindrischen Muffe **156** innerhalb der zweifachen Muffenverbindung **148'** angebracht wurde. Die gedruckte Schaltung **116** ist auf ähnliche Weise unter Verwendung des PCB-Trägers **146'** mit der zweifachen Muffenverbindung verbunden, wobei der Träger an dem zweifachen Muffenverbindungsträger **154** gesichert ist.

**[0109]** Wie in Bezug auf die [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) besprochen wurde, sind die kurzen Kassetten **44'** in den [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) und 108 der [Fig. 15](#) einfach zwischen zwei zweifachen Muffenverbindungen **46**, **48** positioniert und unter Verwendung eines geeigneten Klebstoffs innerhalb der zweifachen Muffenverbindungen gesichert. Dadurch können die lange und die kurze Kassette leicht in rechten Winkeln miteinander verbunden werden (oder falls gewünscht in anderen als rechten Winkeln).

**[0110]** Die modularen Lager/Wandler-Kassetten, wie sie vorstehend beschrieben wurden, bilden einen wichtigen technologischen Vorsprung bei tragbaren CMMs, wie zum Beispiel in den vorstehend genannten Patenten Raab '356 und Eaton '148 gezeigt. Das liegt daran, dass die Kassette (oder das Gehäuse der Kassette) tatsächlich ein Strukturelement jedes Gelenks definiert, das den angelenkten Arm bildet. Wie es hier verwendet wird, bedeutet "Strukturelement", dass die Oberfläche der Kassette (z.B. das Kassettengehäuse) starr an den anderen Strukturkomponenten des angelenkten Arms angebracht ist, um die Drehung ohne Verformung des Arms (oder höchstens unter minimaler Verformung) zu übertragen. Dies steht im Gegensatz zu herkömmlichen tragbaren CMMs (wie in den Patenten Raab '356 und Eaton '148 offenbart ist), wobei separate und verschiedene Gelenkelemente und Übertragungselemente erforderlich sind, wobei die drehbaren Codierer Teil der Gelenkelemente sind (aber nicht der Übertragungselemente). Kurz gesagt hat die vorliegende Erfindung durch Kombinieren der Funktionalität der Gelenk- und Übertragungselemente zu einer einzigen modularen Komponente (d.h. Kassette) die Notwendigkeit für separate Übertragungselemente (z.B. Übertragungsglieder) eliminiert. Somit verwendet die vorliegende Erfindung statt eines angelenkten Arms, der

aus separaten und verschiedenen Gelenken und Übertragungselementen besteht, einen angelenkten Arm, der aus einer Kombination aus längeren und kürzeren Gelenkelementen (d.h. Kassetten) besteht, die jeweils Strukturelemente des Arms sind. Dies führt zu besseren Nutzeffekten im Vergleich zum Stand der Technik. Zum Beispiel betrug die Anzahl der Lager, die in den Patenten '148 und '582 in einer Kombination aus Gelenk und Übertragungsglied verwendet wurde, vier (zwei Lager in dem Gelenk und zwei Lager in dem Übertragungsglied), während die modulare Lager/Wandler-Kassette der vorliegenden Erfindung ein Minimum von einem Lager verwenden kann (obwohl zwei Lager bevorzugt werden) und immer noch die gleiche Funktionalität erfüllt (wenn auch auf eine andere und verbesserte Weise).

**[0111]** Die [Fig. 24A](#) und [Fig. 26A](#)-B sind Querschnittsansichten, ähnlich wie die [Fig. 24](#)-[Fig. 26](#), aber sie zeigen die Ausführungsformen der [Fig. 10](#), [Fig. 12](#), [Fig. 14](#) und [Fig. 16](#)-[Fig. 22](#) mit zweifachem Lesekopf und sind weitere Querschnitte des in [Fig. 3A](#) gezeigten CMMs **10'**.

**[0112]** Die Gesamtlänge des angelenkten Arms **14** und/oder die verschiedenen Armsegmente können je nach ihrer beabsichtigten Anwendung schwanken. In einer Ausführungsform kann der angelenkte Arm eine Gesamtlänge von etwa 24 Inch aufweisen und Messungen im Bereich von etwa 0,0002 Inch bis 0,0005 Inch ( $\approx 5,1 \mu\text{m}$ - $12,7 \mu\text{m}$ ) bieten. Diese Armabmessung und Messgenauigkeit stellt ein tragbares CMM zur Verfügung, welches für Messungen, die nun unter Verwendung von typischen Handwerkzeugen, wie Mikrometern, Höhenmessgeräten, Tastern und dergleichen, durchgeführt werden, gut geeignet ist. Natürlich könnte der angelenkte Arm **14** kleinere oder größere Abmessungen und Genauigkeitsgrade aufweisen. Zum Beispiel können größere Arme eine Gesamtlänge von 8 oder 12 Fuß ( $\approx 2,44 \text{ m}$ - $3,66 \text{ m}$ ) und zugehörige Messgenauigkeiten von 0,001 Inch ( $\approx 25 \mu\text{m}$ ) aufweisen, wodurch die Verwendung in den meisten Echtzeit-Prüfanwendungen oder die Verwendung beim Reverse Engineering möglich ist.

**[0113]** Das CMM **10** kann auch mit einem Controller verwendet werden, der auf diesem montiert ist und verwendet wird, um ein relativ vereinfachtes ausführbares Programm ablaufen zu lassen, wie es in dem vorgenannten Patent 5,978,748 und der Anmeldung mit dem Aktenzeichen Nr. 09/775,226 offenbart ist; oder es kann mit komplexeren Programmen auf einem Hostcomputer **172** verwendet werden.

**[0114]** Mit Bezug auf die [Fig. 1](#)-[Fig. 6](#) und [Fig. 24](#)-[Fig. 26](#) sind bei einer bevorzugten Ausführungsform jedes der langen und kurzen Gelenke durch einen elastomeren Puffer oder eine elastomere Abdeckung geschützt, der bzw. die dahingehend

wirkt, große Aufprallstöße zu begrenzen und ergonomisch angenehme Greifstellen vorzusehen (und eine ästhetisch angenehme Erscheinung bietet). Die langen Gelenke **16**, **30** und **34** sind jeweils durch eine starre austauschbare Kunststoffabdeckung (z.B. ABS) geschützt, die als ein Schutz gegen Aufprall und Abrieb dient. Für das erste lange Gelenk **16** liegt diese starre austauschbare Kunststoffabdeckung in Form des zweiteiligen Basisgehäuses **26A** und **26B** vor, wie es auch in [Fig. 4](#) gezeigt ist. Die langen Gelenke **30** und **34** sind jeweils durch ein Paar von Abdeckungsteilen **40** und **41** geschützt, die, wie in den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) gezeigt ist, unter Verwendung von geeigneten Schrauben zweiseitig miteinander verbunden werden können, um eine Schutzhülse zu bilden. Es ist ersichtlich, dass bei einer bevorzugten Ausführungsform diese starre austauschbare Kunststoffabdeckung für jedes lange Gelenk **30** und **34** das vorzugsweise zusammengesetzte (Kohlefaser-) Verlängerungsrohr **134** bzw. **148** umgeben wird.

**[0115]** Vorzugsweise schließt eine der Abdeckungen, in diesem Fall der Abdeckungsabschnitt **41**, einen abgeschrägten Trägerpfosten **166** ein, der einstückig in diesem geformt ist und die Drehung an dem Ellbogen des Arms begrenzt, um die Sonde **28** so einzuschränken, dass sie in der Ruheposition nicht mit der Basis **12** kollidiert. Dies ist am besten in den [Fig. 3](#), [Fig. 24](#) und [Fig. 26](#) gezeigt. Es ist ersichtlich, dass der Pfosten **166** somit einen unnötigen Aufprall und Abrieb begrenzt.

**[0116]** Wie mit Bezug auf die [Fig. 29](#) und [Fig. 31](#) besprochen wird, kann die Sonde **28** auch eine austauschbare Schutzabdeckung aus Kunststoff aufweisen, die aus einem starren Kunststoffmaterial gefertigt ist.

**[0117]** Die [Fig. 3A](#), [Fig. 24A](#) und [Fig. 26A](#)-B zeigen alternative Schutzhälsen **40'**, **41'**, die auch eine zweiseitige Konstruktion aufweisen, aber unter Verwendung von Bändern oder Quetschklemmen **167** anstelle von mit Gewinde versehenen Befestigungsmitteln an Ort und Stelle gehalten werden.

**[0118]** Jedes der kurzen Gelenke **18**, **32** und **36** schließt ein Paar von elastomeren Puffern **38** ein (z.B. aus thermoplastischem Gummi, wie Santoprene®), wie es zuvor erwähnt wurde und deutlich in den [Fig. 1](#)-[Fig. 3](#) und [Fig. 5](#)-[Fig. 6](#) gezeigt ist. Die Puffer **38** können entweder unter Verwendung eines mit einem Gewinde versehenen Befestigungsmittels, eines geeigneten Klebstoffs oder auf eine andere geeignete Weise angebracht werden. Der elastomere oder Gummipuffer **38** begrenzt den großen Aufprallstoß und bietet eine ästhetisch und ergonomisch angenehme Greifstelle.

**[0119]** Die vorstehenden Abdeckungen **40**, **41**, **40'**, **41'** und die Puffer **38** sind jeweils leicht austauschbar

(ebenso wie das Basisgehäuse **26A**, **26B**) und ermöglichen eine schnelle und kostengünstige Instandsetzung des Arms **14**, ohne die mechanische Leistung des CMMs **10** zu beeinflussen.

**[0120]** Immer noch mit Bezug auf die [Fig. 1](#)-[Fig. 3](#) schließt das Basisgehäuse **26A**, B mindestens zwei zylindrische Ansätze für das Montieren einer Kugel ein, wie es in [Fig. 3](#) bei **168** gezeigt ist. Die Kugel kann zum Montieren eines klammerartigen Computerhalters **170** verwendet werden, der wiederum eine tragbare oder andere Computervorrichtung **172** (z.B. den "Hostcomputer") trägt. Vorzugsweise ist ein zylindrischer Ansatz auf jeder Seite des Basisgehäuses **26A**, B vorgesehen, so dass die Kugel-Klammer-Computerhalterung auf jeder Seite des CMMs **10** montiert werden kann.

**[0121]** Nun mit Bezug auf die [Fig. 15](#), [Fig. 16](#), [Fig. 27A](#), B und [Fig. 28](#) wird jetzt das bevorzugte Gegengewicht zur Verwendung mit dem CMM **10** beschrieben. Herkömmlicherweise wurde bei tragbaren CMMs der hier beschriebenen Art eine außen montierte Schraubenfeder verwendet, die separat wie ein Ausleger an der Außenseite des angelenkten Arms zur Verwendung als ein Gegengewicht montiert wurde. Im Gegensatz dazu verwendet die vorliegende Erfindung ein vollständig integriertes inneres Gegengewicht, das zu einem niedrigeren Gesamtprofil für den angelenkten Arm führt. Typischerweise wurden in Gegengewichten des Stands der Technik gewundene Schraubenfedern in dem Gegengewichtmechanismus verwendet. Gemäß einem wichtigen Merkmal der vorliegenden Erfindung verwendet jedoch das Gegengewicht eine maschinell bearbeitete Schraubenfeder (im Gegensatz zu einer gewundenen Schraubenfeder). Diese maschinell bearbeitete Feder **110** ist in den [Fig. 16](#) und [Fig. 27A](#)-B gezeigt und wird aus einem einzelnen Zylinder aus Metall (Stahl) gebildet, der so maschinell bearbeitet wird, dass er ein Paar von relativ breiten Ringen **174**, **176** an entgegen gesetzten Enden der Wicklung und relativ engere Ringe **178**, die die Zwischenwicklungen zwischen den Endwicklungen **174**, **176** bilden, aufweist. Es ist ersichtlich, dass die breiteren Endringe **174**, **176** mit den jeweiligen Seitenflächen **180** der Welle **62'** und **182** des Gehäuses **64"** im Eingriff sind, wodurch eine seitliche Bewegung der Feder **110** verhindert wird. Die breiteren festen Endringe **174**, **176** wirken als eine Verdreh sicherung und schaffen eine bessere Funktion im Vergleich zu gewundenen Federn des Stands der Technik. Der Endring **174** weist vorzugsweise ein Paar von Verriegelungspfosten **184**, **186** auf (obwohl auch nur ein Verriegelungspfosten verwendet werden kann), während der Endring **176** einen Verriegelungspfosten **188** aufweist.

**[0122]** Mit Bezug auf die [Fig. 27B](#) weist jede zweifache Muffenverbindung **46**, **48** Kanäle auf, wie sie bei **190** und **191** in der zweifachen Muffenverbindung **46**

gezeigt sind, um einen jeweiligen Pfosten 184, 186 oder 188 aufzunehmen. Mit Bezug auf die [Fig. 28](#) kann, während die Stifte 184, 186 in einer festen Position innerhalb des passenden Kanals oder der passenden Nut der zweifachen Muffenverbindung 48 bleiben, die Position des Stifts 188 so geändert werden, dass die gesamte Aufwicklung auf der Feder 110 optimiert wird und die effizienteste Gegengewichtskraft zur Verfügung gestellt wird. Dies wird durch Verwendung eines Gewindelochs 192 erreicht, das eine Gewindeschraube 194 aufnimmt. Wie in [Fig. 28](#) gezeigt ist, kann die Schraube 194 so betätigt werden, dass sie den Stift 188 berührt und den Stift 188 in Umfangsrichtung im Uhrzeigersinn entlang eines Innenkanals 196 bewegt, der in [Fig. 27B](#) als senkrecht zu der Stiftzugangsnot 190 gezeigt ist. Die Schraube 194 ist vorzugsweise so positioniert, dass sie die Feder 110 im Betrieb optimiert.

**[0123]** Es ist ersichtlich, dass während der Verwendung des angelenkten Arms 14 die Codierer/Lager-Kassette 108 als eine Gelenkverbindung dient, und sobald sie in die Muffen der zweifachen Muffenverbindungen 46, 48 eingeführt und mit Klebstoff in diesen gesichert ist, die Stifte 184, 186 und 188 in ihren jeweiligen Nuten verriegelt werden. Wenn die Muffenverbindung 48 relativ zur Muffenverbindung 46 (über die Gelenkverbindung der Kassette 108) gedreht wird, wird sich die Feder 110 aufwickeln. Wenn es gewünscht ist, dass sich die Muffenverbindung 48 in ihre ursprüngliche Position zurück dreht, werden sich die gewundenen Kräfte der Feder 110 abwickeln und dadurch die gewünschte Gegengewichtskraft zur Verfügung stellen.

**[0124]** Für den Fall, dass es gewünscht ist, dass der angelenkte Arm 14 verkehrt herum montiert wird, wie auf einem Zerkleinerer bzw. einer Schleifmaschine, einem Balken oder einer Decke, kann die Ausrichtung der Feder 110 ähnlich umgedreht (oder umgekehrt) werden, so dass die richtige Ausrichtung für das notwendige Gegengewicht erreicht werden kann.

**[0125]** Nun mit Bezug auf die [Fig. 29](#) und [Fig. 30A-C](#) wird jetzt eine bevorzugte Ausführungsform der Messsonde 28 beschrieben. Die Sonde 28 umfasst ein Gehäuse 196 mit einem Innenraum 198 in diesem, um eine gedruckte Schaltung 118 aufzunehmen. Es ist ersichtlich, dass das Gehäuse 196 eine zweifache Muffenverbindung der vorstehend beschriebenen Art darstellt und eine Muffe 197 einschließt, in die ein Trägerelement 199 zum Tragen der gedruckten Schaltung 118 eingebunden ist. Vorzugsweise weist der Griff 28 zwei Schalter auf, nämlich einen Aufnahmeschalter 200 und einen Bestätigungsenschalter 202. Diese Schalter werden von dem Bediener verwendet, um eine Messung aufzunehmen (Aufnahmeschalter 200) und um die Messung während des Betriebs zu bestätigen (Bestätigungsenschalter 202). Gemäß einem wichtigen Merkmal die-

ser Erfindung werden die Schalter voneinander differenziert, um eine Verwechslung bei der Verwendung zu vermeiden. Diese Differenzierung kann in einer oder mehreren Formen vorliegen, einschließlich zum Beispiel, dass die Schalter 200, 202 eine unterschiedliche Höhe und/oder unterschiedliche Strukturen (es ist zu beachten, dass der Schalter 202 eine Vertiefung aufweist, im Gegensatz zu der glatten oberen Oberfläche des Schalters 200) und/oder unterschiedliche Farben aufweisen (zum Beispiel kann der Schalter 200 grün sein, und der Schalter 202 kann rot sein). Ebenfalls gemäß einem wichtigen Merkmal dieser Erfindung ist den Schaltern 200, 202 ein Anzeigelicht 204 zum Anzeigen der richtigen Sonderanwendung zugeordnet. Vorzugsweise ist das Anzeigelicht 204 ein zweifarbiges Licht, so dass zum Beispiel das Licht 204 beim Aufnehmen einer Messung (und beim Drücken des grünen Aufnahmeknopfes 200) grün ist, und zum Bestätigen einer Messung (und beim Drücken des roten Knopfes 202) rot ist. Die Verwendung eines vielfarbigen Lichts wird leicht durch Verwendung eines bekannten LEDs als Lichtquelle für das Licht 204 erreicht. Um das Greifen zu unterstützen, eine verbesserte Ästhetik zur Verfügung zu stellen, und als Aufprallschutz ist eine äußere Schutzabdeckung der vorstehend beschriebenen Art bei 206 angezeigt und über einen Teil der Sonde 28 vorgesehen. Eine Schalterstromkreisplatte 208 ist zum Montieren der Knöpfe 200, 202 und der Lampe 204 vorgesehen und wird durch das Trägerelement 199 gehalten. Die Schalttafel 208 ist elektrisch mit der Platine 118 verbunden, die Komponenten zur Verarbeitung der Schalter und des Lichtanzeigers sowie zur Verarbeitung der kurzen Gelenkverbindung 36 aufnimmt.

**[0126]** Gemäß einem weiteren wichtigen Merkmal der vorliegenden Erfindung, und mit Bezug auf die [Fig. 29](#) und die Figuren 30A-C, weist die Sonde 28 einen dauerhaft installierten Tastkopf sowie eine abnehmbare Kappe zum Einstellen einer festen Sonde, während der Tastkopf geschützt wird, auf. Der Tastkopfmechanismus ist in [Fig. 29](#) bei 210 gezeigt und basiert auf einem vereinfachten kinematischen Dreipunktsitz. Diese herkömmliche Konstruktion weist eine Nase 212 auf, die eine Kugel 214 berührt, die durch eine Kontaktfeder 216 vorgespannt ist. Drei Kontaktstifte (wobei ein Stift bei 218 gezeigt ist) sind mit einem Grundstromkreis in Berührung. Das Anlegen irgendwelcher Kräfte an die Sondennase 212 führt zum Anheben einer der drei Kontaktstifte 218, was zu einem Öffnen des Grundstromkreises und somit zur Aktivierung eines Schalters führt. Vorzugsweise arbeitet der Tastkopf 210 zusammen mit dem vorderen "Aufnahme"-Schalter 200.

**[0127]** Wie in [Fig. 30B](#) gezeigt ist, ist bei Verwendung des Tastkopfes 210 eine mit Gewinde versehene Schutzabdeckung 220 durch das Gewinde an dem Gewinde 222 angebracht, das den Tastkopf 210

umgibt. Wenn es gewünscht ist, an Stelle des Tastkopfes eher eine feste Sonde zu verwenden, wird die abnehmbare Kappe **220** jedoch entfernt und eine gewünschte feste Sonde, wie sie in den [Fig. 29](#) und [Fig. 30A-C](#) bei **224** gezeigt ist, wird mit einem Gewinde an dem Gewinde **222** angebracht. Es ist ersichtlich, dass, während an der festen Sonde **224** eine runde Kugel **226** angebracht ist, jede andere und gewünschte feste Sondenkonfiguration mit Gewinde über das Gewinde **222** an der Sonde **28** leicht angebracht sein kann. Der Tastkopfaufbau **210** ist in einem Gehäuse **228** montiert, welches mit Gewinde in dem Gewindeverbindungsstück **230** aufgenommen ist, das einen Teil des Sondengehäuses **196** bildet. Diese Gewindeverbindung bietet die vollständige Integration des Tastkopfes **210** in der Sonde **28**.

**[0128]** Das Vorsehen eines vollständig integrierten Tastkopfes stellt ein wichtiges Merkmal der vorliegenden Erfindung dar und unterscheidet sich von abnehmbaren Tastköpfen des Stands der Technik bei CMMs des Stands der Technik. Außerdem ist der dauerhaft installierte Tastkopf auch leicht zu einer Festsonde umzubauen, wie vorstehend beschrieben.

**[0129]** Die [Fig. 29A-C](#) offenbaren noch eine weitere bevorzugte Ausführungsform für eine Messsonde gemäß der vorliegenden Erfindung. In den [Fig. 29A-C](#) ist bei **28'** eine Messsonde gezeigt und ist im Wesentlichen ähnlich der Messsonde **28** in [Fig. 29](#), wobei der Hauptunterschied in der Konfiguration des "Aufnahme-" und "Bestätigungs"-Schalters besteht. Die Messsonde **28'** verwendet an Stelle der unterschiedlichen Knopfschalter, die in [Fig. 29](#) gezeigt sind, zwei Paare von bogenförmigen länglichen Schaltern **200a-b** und **202ab**. Jedes jeweilige Paar von länglichen Schaltern **202a-b** und **200a-b** entsprechen jeweils dem Aufnahmeschalter und dem Bestätigungsschalter, wie vorstehend mit Bezug auf [Fig. 29](#) beschrieben. Ein Vorteil der Ausführungsform der Messsonde **28'** im Vergleich zur Ausführungsform der Messsonde **28** besteht darin, dass jedes Paar von länglichen Schaltern **202** und **200** nahezu den gesamten Umfang (oder zumindest den Großteil des Umfangs) der Messsonde umgibt und daher durch den Bediener des tragbaren CMMs leichter betätigbar ist. Wie bei der Ausführungsform aus [Fig. 29](#) ist jedem Schalter ein Anzeigelicht **204** zugeordnet, wobei das Licht **204** und die Schalter **200**, **202** auf jeweiligen gedruckten Leiterplatten **208'** montiert sind. Außerdem können, wie bei der Ausführungsform aus [Fig. 29](#), die Schalter **200**, **202** durch Verwendung von zum Beispiel unterschiedlichen Höhen, unterschiedlichen Strukturen und/oder unterschiedlichen Farben unterschieden werden. Vorzugsweise schwimmen die Schalter **200**, **202** etwas, so dass der Knopf betätigt werden kann, wenn er an irgendeiner Stelle entlang desselben gedrückt wird. Wie bei der Ausführungsform aus [Fig. 29](#) wird bei **206** eine äußere Schutzabdeckung der vorstehend beschriebenen Art

verwendet und über einem Teil der Sonde **28'** vorgesehen.

**[0130]** Nun mit Bezug auf [Fig. 31](#) ist eine alternative Messsonde zur Verwendung mit dem CMM **10** im Allgemeinen bei **232** gezeigt. Die Messsonde **232** ist ähnlich zur Messsonde **28** aus [Fig. 29](#), wobei der Hauptunterschied darin liegt, dass die Sonde **232** eine drehbare Griffabdeckung **234** aufweist. Die drehbare Abdeckung **234** ist auf einem Paar von beabstandeten Lagern **236**, **238** montiert, die wiederum auf einem Innenkern oder Träger **240** montiert sind, so dass die Abdeckung **234** (über die Lager **236**, **238**) um den Innenkern **240** frei drehbar ist. Die Lager **236**, **238** sind vorzugsweise Radiallager und minimieren die parasitären Drehmomente auf dem Arm auf Grund der Handhabung der Sonde. Was wesentlich ist, ist dass die Schalterabdeckplatte **208'** und die entsprechenden Schalter **200'**, **202'** und die LED **204'** jeweils an der drehbaren Griffabdeckung **234** montiert sind, um sich mit diesen zu drehen. Während der Drehung ist eine elektrische Netzwerkfähigkeit zur verarbeitenden Platine **118'** unter Verwendung eines herkömmlichen Schleifringmechanismus **242** vorgesehen, der eine bekannte Vielzahl von beabstandeten Federfingern **242** aufweist, die die feststehenden kreisförmigen Kanäle **244** berühren. Diese Kontaktkanäle **244** sind wiederum mit der Platine **118'** elektrisch verbunden. Die drehbare Griffabdeckung **234** und der Schalteraufbau sind somit unter Verwendung des Schleifingleiters **242** elektrisch mit dem Innenkern oder dem Sondenschaft **240** und der Elektronikplatine **188'** gekoppelt. Die Drehung des Sondengriffs **234** ermöglicht eine für den Benutzer zweckmäßige Ausrichtung der Schalter **200'**, **202'**. Dadurch kann der angelenkte Arm **14'** während der Handhabung genau messen, indem undokumentierte Kräfte minimiert werden. Die Abdeckung **234** besteht vorzugsweise aus einem steifen Polymer und wird mit geeigneten Vertiefungen **246** und **248** versehen, um ein leichtes und bequemes Greifen und Handhaben durch den Sondenbediener zu ermöglichen.

**[0131]** Es ist ersichtlich, dass der Rest der Sonde **232** der Sonde **28** ziemlich ähnlich ist, einschließlich des Vorsehens eines dauerhaft und einstückig installierten Tastkopfes **210** in der Abdeckung **220**. Es ist zu beachten, dass die Schalter **200'**, **202'** unterschiedliche Höhen und Oberflächenstrukturen aufweisen, so dass die Erkennung leicht möglich ist.

**[0132]** Die drehbare Abdeckung **234** ist ein wesentlicher Vorsprung im Bereich von CMMs, da sie die Notwendigkeit einer siebten Drehachse an der Sonde überflüssig macht, wie sie in dem vorstehend genannten US-Patent 5,611,147 offenbart ist. Es ist ersichtlich, dass das Hinzufügen einer siebten Achse zu einem komplexeren und kostspieligeren CMM führt und außerdem eine weitere mögliche Fehlerquelle in das System einbringt. Die Verwendung der

drehbaren Sonde **232** mindert die Notwendigkeit einer "echten" siebten Achse, da sie ermöglicht, dass die Sonde die Drehung bereitstellt, die für die Griffposition an dem Sondenende notwendig ist, und zwar ohne die Komplexität eines siebten Wandlers und den zugeordneten Lagern, Codierern und der Elektronik.

**[0133]** Für den Fall, dass es gewünscht ist, eine Messsonde mit einer "echten" siebten Achse zu verwenden, das heißt, dass man eine Messsonde mit einem siebten drehbaren Codierer zur Messung von drehender Drehung hat, ist eine derartige Messsonde in den [Fig. 37–Fig. 40](#) gezeigt. Mit Bezug auf diese Figuren ist eine Messsonde **500** gezeigt, wobei eine derartige Messsonde im Wesentlichen ähnlich zu der Messsonde aus [Fig. 29](#) ist, wobei der Hauptunterschied in dem Einfügen einer modularen Lager/Wandler-Kassette **502** der vorstehend beschriebenen Art, dem Vorliegen der Aufnahme- und Bestätigungs-Schalter **504, 506** an den Seiten der Messsonde und dem Einschließen eines abnehmbaren Griffs **508** besteht.

**[0134]** Es ist ersichtlich, dass die modulare Lager/Wandler-Kassette **502** im Wesentlichen ähnlich zu den vorstehend im Einzelnen beschriebenen Kassetten ist und eine drehbare Welle, ein Paar von Lagern auf der Welle, eine optische Impulsscheibe, mindestens einen und vorzugsweise zwei optische Leseköpfe, die von der Impulsscheibe beabstandet sind und mit dieser in optischer Verbindung stehen, und ein die Lager, die optische Impulsscheibe, den Lesekopf (die Leseköpfe) und zumindest einen Abschnitt der Welle umgebendes Gehäuse einschließt, um die diskrete modulare Lager/Wandler-Kassette zu begrenzen. Eine Leiterplatte **503** für die Codiererelektronik befindet sich in einer Öffnung **504** bei der Sonde **500**. Paare von Aufnahme- und Bestätigungs-Knöpfen **504, 506** sind auf jeder Seite eines nach unten vorstehenden Gehäuseteils **510** der Sonde **500** positioniert, wobei die Knöpfe mit einer geeigneten PC-Platine **512** verbunden sind, wie bei der Messsonde der Ausführungsform aus [Fig. 29](#). Ähnlich ist ein Anzeigelicht **513** zwischen den Knöpfen **504, 506** wie in den vorstehend besprochenen Ausführungsformen positioniert. Ein Paar von Gewindeöffnungen **514** in dem Gehäuse **510** nimmt Verbindungselemente zum lösbar Anbringen des Griffs **508** auf, der eine leichte Handhabung zum Drehen während der Verwendung der Messsonde **500** vorsieht.

**[0135]** In allen anderen wesentlichen Hinsichten ist die Messsonde **500** ähnlich zur Messsonde aus [Fig. 29](#), einschließlich der bevorzugten Verwendung eines dauerhaft installierten Tastkopfes bei **516** sowie einer abnehmbaren Kappe zum Anpassen einer festen Sonde **518**, während der Tastkopf geschützt wird. Es ist ersichtlich, dass der siebte drehbare Codierer **502**, der in der Messsonde **500** eingeschlos-

sen ist, die Verwendung des CMMs **10** in Verbindung mit bekannten Lichtschnittsensoren und anderen peripheren Vorrichtungen erleichtert.

**[0136]** Nun mit Bezug auf die [Fig. 2–Fig. 4](#), [23](#) und [Fig. 25](#) ist gemäß einem wichtigen Merkmal der vorliegenden Erfindung eine tragbare Stromversorgung vorgesehen, um das CMM **10** mit Strom zu versorgen und somit ein vollständig tragbares CMM vorzusehen. Dies steht im Gegensatz zu CMMs des Stands der Technik, bei denen die Stromversorgung nur auf einem Wechselstromkabel basierte. Außerdem kann das CMM **10** auch durch einen AC/DC-Adapter über eine herkömmliche Steckfassung direkt mit einem Wechselstromkabel betrieben werden. Wie in den [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 25](#) gezeigt ist, ist bei **22** eine herkömmliche aufladbare Batterie (z.B. Li-Innenbatterie) gezeigt. Die Batterie **22** ist mechanisch und elektrisch mit einem herkömmlichen Batterieträger **252** verbunden, der wiederum elektrisch mit einer herkömmlichen Stromversorgung und einer Batterieaufladekreiskomponente **254** verbunden ist, die sich auf der Leiterplatte **20** befindet. Ebenfalls in Verbindung mit der Platine **20** sind ein Ein/Aus-Schalter **258** (siehe [Fig. 3](#)) und eine Hochgeschwindigkeitsverbindungsschnittstelle **260** (vorzugsweise eine USB-Schnittstelle). Die Gelenkelektronik des Arms **14** ist unter Verwendung eines RS-485-Bus mit der Platine **20** verbunden. Die Batterie **22** kann auf einem separaten Ladegerät oder am Ort in dem Gestell **252** aufgeladen werden, wie man es üblicherweise bei herkömmlichen Videokameras findet. Es ist ersichtlich, dass der tragbare Computer **172** (siehe [Fig. 2](#)) mehrere Stunden mit seinen eingebauten Batterien betrieben werden kann und/oder in einer anderen Ausführungsform elektrisch mit der Stromversorgungseinheit **254** des CMMs **10** verbunden werden kann.

**[0137]** Die integrierte Stromversorgungs-/Aufladeeinheit gemäß der vorliegenden Erfindung ist vorzugsweise als ein fester Bestandteil des CMMs **10** positioniert, indem diese Komponente als ein fester Bestandteil der Basis **12** und insbesondere als ein Teil des Basisgehäuses **26A, B** aus Kunststoff platziert wird. Es ist auch zu beachten, dass das Basisgehäuse **26A, B** vorzugsweise einen kleinen Lagerbereich **259** mit einem schwenkbaren Deckel **262** zum Lagern von Ersatzbatterien, Sonden oder dergleichen aufweist.

**[0138]** Nun mit Bezug auf die [Fig. 4](#), [Fig. 25](#), [Fig. 32–Fig. 34](#) wird jetzt die neue magnetische Montagevorrichtung zur Verwendung mit dem CMM **10** beschrieben. Diese magnetische Montagevorrichtung ist im Allgemeinen bei **24** in den [Fig. 4](#), [Fig. 25](#), [Fig. 32](#) und [Fig. 33](#) gezeigt. Die magnetische Halterung **24** weist ein zylindrisches nicht magnetisches Gehäuse **266** auf, das an seinem oberen Ende in einem Gewindeabschnitt **268** mündet. Wie bei allen be-

vorzugten Gewinden, die in dem CMM 10 verwendet werden, ist das Gewinde 268 ein kegeliges Gewinde, das mit dem Gewinde 126 des ersten langen Gelenks 16 durch das Gewinde verbunden werden soll, wie es am besten in [Fig. 25](#) gezeigt ist. Das nicht magnetische Gehäuse 266 hat eine im Wesentlichen zylindrische Konfiguration, mit der Ausnahme von zwei länglichen Erweiterungen 270, 272, die einander mit einem Winkel von 180° gegenüber liegen und sich von dem Gehäuse 266 nach außen und unten erstrecken. Auf jeder Seite der länglichen Erweiterungen 270, 272 ist ein Paar von halbzyklindrischen Gehäusen 274, 276 angebracht, die jeweils aus einem "magnetischen" Material gebildet sind, das heißt, einem Material, das magnetisiert werden kann, wie Eisen oder magnetischer rostfreier Stahl. Zusammen bilden die "magnetischen" Gehäusehälften 274, 276 und die länglichen Erweiterungen 270, 272 eine zylindrische Umfassung mit offenem Ende, um einen Magnetkern 278 aufzunehmen und zu bergen. Der Magnetkern 278 hat eine längliche Form mit einer nicht magnetischen Mitte 280, die zwischen einem Paar von seltenen Erdmagneten (z.B. Neodym-Eisen-Bor) 282, 284 eingefasst ist. Eine axiale Öffnung 286 ist durch die nicht magnetische Mitte 280 vorgesehen. Eine kreisförmige Abdeckplatte 288 ist unterhalb des Magnetkerns 278 positioniert und befindet sich innerhalb des unteren Gehäuses, das durch die Elemente 274, 276 und die länglichen Erweiterungen 270, 272 gebildet ist. Eine Welle 290 ist durch eine kreisförmige Öffnung 292 in dem Gehäuse 266 positioniert und erstreckt sich nach unten durch die axiale Öffnung 286 des Magnetkerns 278. Die Welle 290 ist zur Drehung durch ein oberes Lager 292 und ein unteres Lager 294 gehalten. Das obere Lager 292 wird durch eine interne zylindrische Ausnehmung in dem Gehäuse 266 aufgenommen, und das untere Lager 294 wird durch eine ähnliche zylindrische Ausnehmung in der Abdeckplatte 288 aufgenommen. Ein Hebel 296 erstreckt sich nach außen und senkrecht von der Welle 290 und stellt, wie nachstehend beschrieben wird, einen Ein/Aus-Mechanismus für die magnetische Halterung 264 zur Verfügung. Der Hebel 296 erstreckt sich nach außen aus dem Gehäuse 266 durch eine Nut 297 durch das Gehäuse 266 (siehe [Fig. 25](#)).

**[0139]** Dieser gesamte Aufbau des Hebels 296, der Welle 290 und der Lager 292, 294 ist unter Verwendung eines oberen, mit Gewinde versehenen Befestigungselements 298 und eines unteren Halterings 300 aneinander gesichert. Es ist ersichtlich, dass die verschiedenen Komponenten der magnetischen Halterung 264 weiterhin zum Beispiel durch mit Gewinde versehene Befestigungsmittel 302, die das Gehäuse 266 an Gehäuseteile 274, 276 aus "magnetischem" Material binden, und durch mit Gewinde versehene Befestigungsmittel 304 gesichert sind, die die Gehäuseteile 274, 276 mit der Abdeckung 288 verbinden. Außerdem bringen die mit Gewinde versehenen Befestigungsmittel 306 die länglichen Erweiterungen

270, 272 des Gehäuses 266 an der Abdeckung 288 an. Ein Stift 308 wird durch eine seitliche Öffnung in dem Kern 278 und eine seitliche Öffnung in der Welle 290 aufgenommen, um die Welle 290 an dem Kern 278 zu verriegeln. Auf diese Weise wird, wenn der Hebel 296 gedreht wird, die Welle 290 den Kern 278 über die Wellenverbindung 208 drehen.

**[0140]** Wie in den [Fig. 1](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 25](#) gezeigt ist, ist der Hebel 296 mit einem Griff 310 verbunden, der leicht auf der Außenseite der Basis 12 zugänglich ist und verwendet wird, um die magnetische Halterung 264 zu betätigen. Um eine derartige Betätigung vorzunehmen, wird einfach der Griff 296 bewegt (von rechts nach links in [Fig. 1](#)). Die Bewegung des Griffs 310 wird wiederum den Hebel 296 drehen, der wiederum die Welle 290 drehen wird, die dann die seltenen Erdmagnete 282, 284 aus ihrer Ruheposition (in der die Magnete 282, 284 mit dem nicht magnetischen Erweiterungen 270, 272 ausgerichtet sind) in eine betätigte Position drehen wird, in denen die Magnete 282, 284 mit dem magnetischen Material 274, 276 ausgerichtet sind. Wenn die Magnete wie beschrieben mit dem magnetischen Material ausgerichtet sind, bildet sich ein Magnetfeld (Fluss). Wenn ähnlich die Magnete 282, 284 nicht mit dem magnetischen Material 274, 276 ausgerichtet sind, ist der Flussweg unterbrochen. In diesem Zustand kann die Magnetbasis von dem Tisch, auf dem sie ruht, getrennt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass selbst in der nicht ausgerichteten Position ein gewisser restlicher magnetischer Fluss vorhanden sein wird. Dieser geringe restliche magnetische Fluss in der "Aus"-Position ist ein positives Merkmal dieser Erfindung, da eine geringe Menge an magnetischem Fluss dahingehend wirkt, dass sie mit dem Magneten reagiert und automatisch den Hebel 296 zurück in die "Ein"-Position dreht, wenn er auf den Tisch zurückgestellt wird. Es ist ersichtlich, dass, wenn die Magnete mit dem magnetischen Material ausgerichtet sind, ein starkes Magnetfeld aufgebaut wird und die halbkreisförmigen Elemente 274, 276 magnetisch an der ringförmigen Oberfläche, die an deren Unterseite gebildet ist, haften, wie bei 312 in den [Fig. 25](#) und [Fig. 33](#) gezeigt ist.

**[0141]** Die magnetische Halterung 264 der vorliegenden Erfindung stellt eine vollständig integrierte und dabei abnehmbare Montagevorrichtung zur Verfügung, da sie lösbar (über das Gewinde 268) montiert ist und durch andere Anbringungen ersetzt werden kann, wie eine Schraubenhalterung oder eine Vakuumhalterung. Natürlich muss, damit sie richtig verwendet wird, die magnetische Halterung 264 auf einer magnetisierbaren Oberfläche platziert und (über den Hebel 296) aktiviert werden, um zu arbeiten. Für den Fall, dass eine Montage auf einer nicht magnetischen Oberfläche (z.B. Granit) erforderlich ist, müssen Platten an den Grenzflächen oder andere geeignete Mechanismen zwischen der Magnetbasis

und der nicht magnetischen Oberfläche verwendet werden.

**[0142]** Während bevorzugte Ausführungsformen gezeigt und beschrieben wurden, können verschiedene Modifikationen und Substitutionen vorgenommen werden, ohne den Rahmen der Ansprüche zu verlassen. Demnach ist klar, dass die vorliegende Erfindung anhand von Erläuterungen und ohne Beschränkung beschrieben wurde.

### Patentansprüche

1. Tragbares Koordinatenmessgerät, CMM, zum Messen der Position eines Objekts in einem ausgewählten Volumen, aufweisend:  
 einen manuell positionierbaren, angelenkten Arm (14) mit entgegengesetzten ersten und zweiten Enden, wobei der Arm (14) eine Vielzahl von Gelenken (16, 18, 30, 32, 34, 36) einschließt;  
 eine Messsonde (28), die an einem ersten Ende des angelenkten Arms (14) angebracht ist;  
 eine elektronische Schaltung (172), die die Positionssignale von Wandlern (92, 94) in dem Arm (14) empfängt und eine digitale Koordinate entsprechend der Position der Sonde (28) in einem ausgewählten Volumen bereitstellt; und  
 wobei mindestens eines der Gelenke (16) ferner aufweist:  
 ein periodisches Bild (94) einer messbaren Charakteristik;  
 mindestens zwei Leseköpfe (92), die von dem Bild (94) beabstandet sind und mit diesem in Verbindung stehen;  
 und wobei das Bild (94) und die mindestens zwei Leseköpfe (92) innerhalb des Gelenks (16) so positioniert sind, dass sie zueinander drehbar sind, und wobei das Gelenk ferner aufweist:  
 ein erstes (62) und ein zweites (64) Gehäuse, und eine drehbare Welle (60), die sich von dem zweiten Gehäuse (62) in das erste Gehäuse (64) erstreckt;  
 ein Lager (52, 60), das zwischen der Welle (60) und dem ersten Gehäuse (64) angeordnet ist und es der drehbaren Welle (60) erlaubt, sich innerhalb des ersten Gehäuses (64) zu drehen;  
 wobei das Bild (94) direkt an der drehbaren Welle (60) angebracht ist;  
 wobei die mindestens zwei Leseköpfe (94) so innerhalb des ersten Gehäuses (64) befestigt sind, dass die Drehung des ersten Gehäuses (64) in Bezug auf das zweite Gehäuse (62) bewirkt, dass sich die mindestens zwei Leseköpfe (92) relativ zum Bild (94) bewegen.

2. CCM nach Anspruch 1, wobei:  
 das Lager ein vorgespanntes Lager (52, 50) aufweist.

3. CMM nach Anspruch 2, wobei das vorgespannte Lager aufweist:  
 ein erstes Lager (52);

ein zweites Lager (50);  
 ein inneres Abstandsrohr (54) zwischen dem ersten und dem zweiten Lager (50, 52);  
 ein äußeres Abstandsrohr (56) zwischen dem ersten und dem zweiten Lager (50, 52);  
 wobei das innere und das äußere Abstandsrohr (54, 56) verschiedene vorbestimmte Längen aufweisen; und  
 wobei das innere und das äußere Abstandsrohr (54, 56) gegen das erste und das zweite Lager (54, 52) gedrückt sind, um eine vorbestimmte Vorspannung zu definieren.

4. CMM nach Anspruch 2, wobei:  
 das mindestens eine Lager (50, 52) abgedichtet ist.
5. CMM nach Anspruch 1, wobei die zwei Leseköpfe (92) um 180° auseinander positioniert sind.
6. CMM nach Anspruch 1, wobei das Gelenk (16) mindestens drei Leseköpfe (92) aufweist.
7. CMM nach Anspruch 6, wobei die drei Leseköpfe (92) um 120° auseinander sind.
8. CMM nach Anspruch 1, wobei das Gelenk (16) mindestens vier Leseköpfe (92) aufweist.
9. CMM nach Anspruch 8, wobei die vier Leseköpfe (92) um 90° auseinander positioniert sind.
10. CMM nach Anspruch 1, wobei:  
 das Bild (94) ein spannungsoptisches Bild aufweist; und die mindestens zwei Leseköpfe (92) einen optischen Lesekopf aufweisen.
11. CMM nach Anspruch 10, wobei:  
 das spannungsoptische Bild auf einer optischen Impulsscheibe (94) angeordnet ist.
12. CMM nach Anspruch 10, wobei:  
 die mindestens zwei Leseköpfe (92) die Interferenz zwischen Beugungsordnungen erfassen, um sinusförmige Signale von den Leseköpfen (92) zu erzeugen, die in dem spannungsoptischen Bild (94) eingefügt sind, wobei die sinusförmigen Signale elektronisch interpoliert werden, um eine Verschiebung zu erfassen.
13. CMM nach Anspruch 12, wobei jeder der Leseköpfe (92) einen Laser, einen Kollimator und eine Öffnungsblende aufweist, wobei der Laser einen Strahl aussendet, der von dem Kollimator parallel gerichtet und dann von der Öffnungsblende dimensioniert wird, wobei das spannungsoptische Bild (94) ein Gitter einschließt, das Licht in diskrete Ordnungen beugt.
14. MM nach Anspruch 13, wobei jeder der Leseköpfe (92) ferner eine Photodetektorgruppierung auf-

weist, wobei die Photodetektorgruppierung vier Kanäle mit nahezu reiner sinusförmiger Ausgabe erzeugt, wenn eine relative Bewegung zwischen dem spannungsoptischen Bild (94) und dem Lesekopf (92) besteht.

15. CMM nach Anspruch 1, wobei die mindestens zwei Leseköpfe (92) Lösungswirkungen verursachen, die gemittelt werden können.

16. CMM nach Anspruch 1, wobei: das Bild (94) einer messbaren Charakteristik mindestens eine der Charakteristika ist, die ausgewählt sind aus Reflexionsvermögen, Opazität, Magnetfeld, Kapazität, Induktivität und Rautiefe.

17. CMM nach Anspruch 1, enthaltend: einen Kontaktiringaufbau (92) in dem mindestens einen Gelenk (16).

18. CMM nach Anspruch 1, wobei das mindestens eine der Gelenke (16) eine Endlosdrehung aufweist.

19. CMM nach Anspruch 1, wobei: mindestens zwei der Gelenke (16, 18, 30, 32, 34, 36) mit Gewinde miteinander verbunden sind.

20. CMM nach Anspruch 1, wobei: mindestens zwei der Gelenke (16, 18, 30, 32, 34, 36) unter Verwendung von Befestigungselementen mit Gewinde aneinander befestigt sind.

21. CMM nach Anspruch 1, wobei mindestens zwei Gelenke (16, 18, 30, 32, 34, 36) komplementär kegelige Abschnitte einschließen, die aneinander befestigt werden.

22. CMM nach Anspruch 1, wobei die Gelenke (16, 18, 30, 32, 34, 36) lange Gelenke (16, 30, 34) für eine Schwenkbewegung und kurze Gelenke (18, 32, 36) für eine Klappbewegung aufweisen.

23. CMM nach Anspruch 22, einschließend drei Gelenkpaares, wobei jedes Gelenkpaar ein langes Gelenk und ein kurzes Gelenk aufweist.

24. CMM nach Anspruch 23, wobei das lange Gelenk in jedem Gelenkpaar um 90° zu dem kurzen Gelenk angeordnet ist.

25. CMM nach Anspruch 1, enthaltend ein siebtes Gelenk in der Messsonde (28).

26. CMM nach Anspruch 1, wobei die Gelenke (16, 18, 30, 32, 34, 36) in den Gelenkkonfigurationen angeordnet sind, die aus 2-2-2, 2-1-2, 2-2-3 und 2-1-3 ausgewählt sind.

27. CMM nach Anspruch 1, einschließend:

einen elektronischen Kennungsschip (120), der dem mindestens einen Gelenk (16) zum alleinigen Identifizieren dieses Gelenks (16) zugeordnet ist.

28. CMM nach Anspruch 1, wobei die zwei Leseköpfe (92) um etwa 180° auseinander um eine Achse der drehbaren Welle (60) positioniert sind.

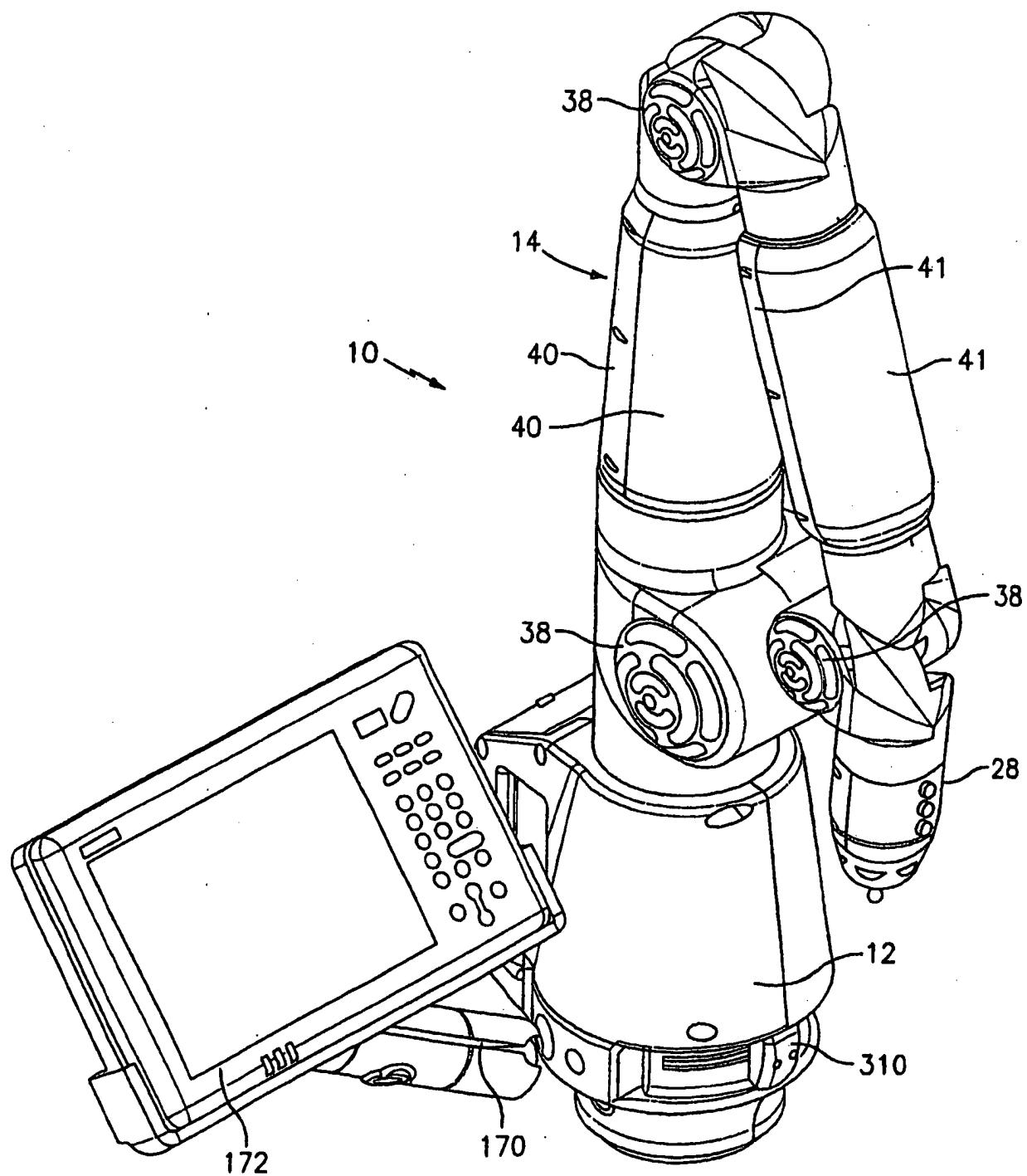
29. CMM nach Anspruch 1, wobei die zwei Leseköpfe (92) Lösungswirkungen verursachen, die gemittelt werden können, um eine fertige feste Winkelmessung zu erhalten.

30. CMM nach Anspruch 1, wobei die drehbare Welle (60) an dem zweiten Gehäuse (62) befestigt ist, und wobei das Lager (50, 52) innerhalb des ersten Gehäuses (64) gehalten ist und die drehbare Welle (60) zur Drehung um ihre Achse hält.

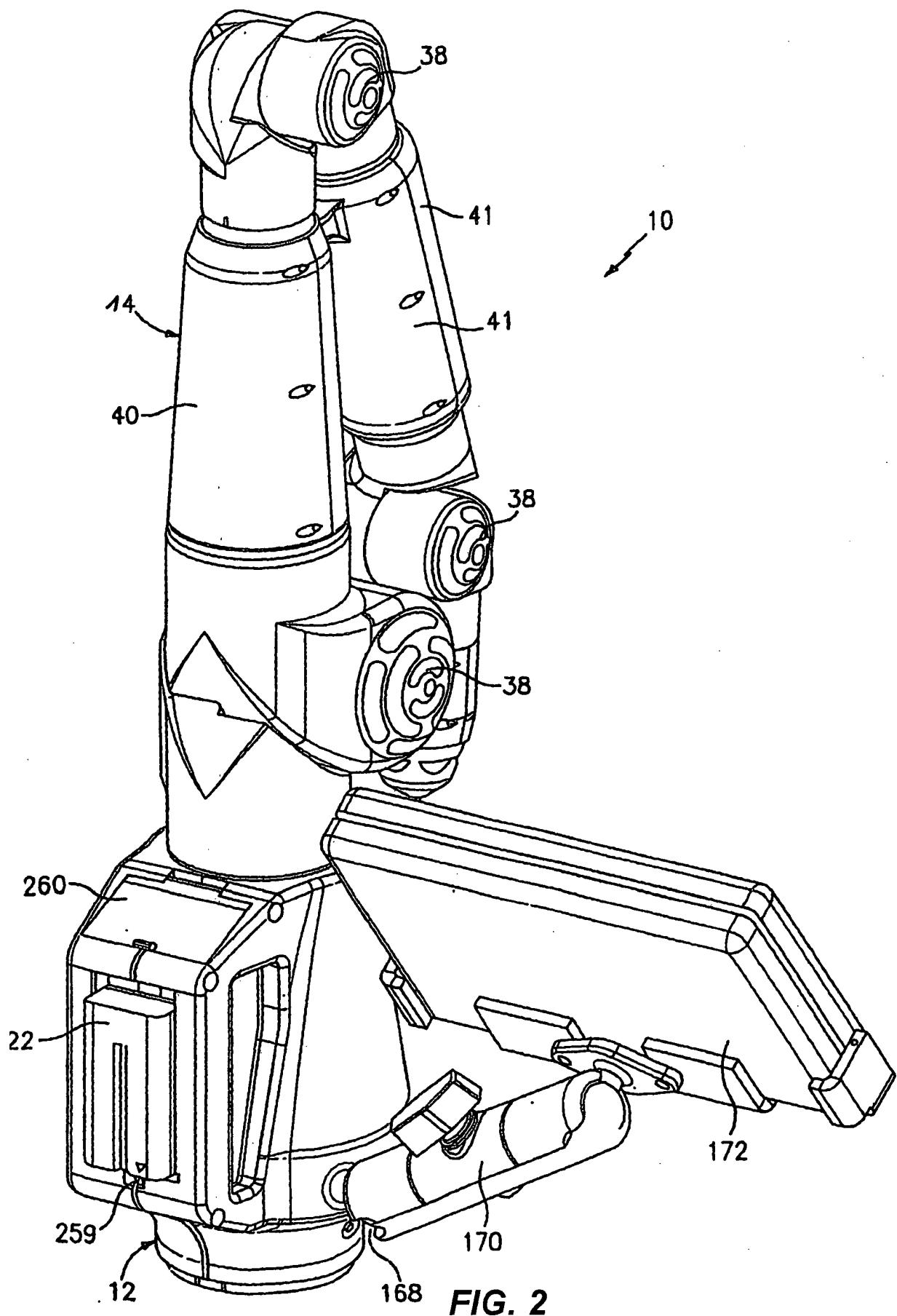
31. CMM nach Anspruch 30, wobei die Leseköpfe (92) um etwa 180° auseinander um die Achse der drehbaren Welle (60) positioniert sind.

32. CMM nach Anspruch 30, wobei die mindestens zwei Leseköpfe (92) Lösungswirkungen verursachen, die gemittelt werden können, um eine fertige feste Winkelmessung zu erhalten.

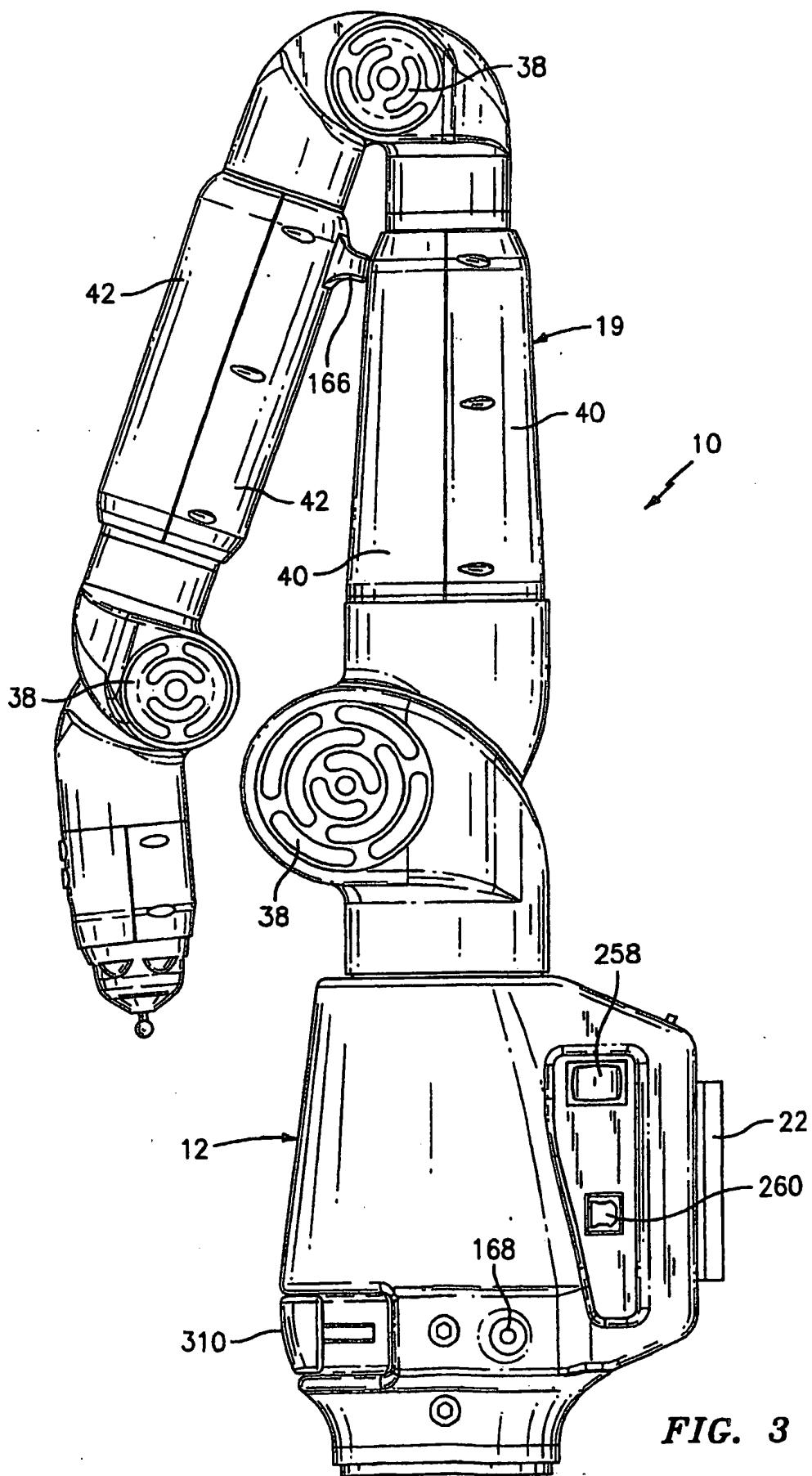
Es folgen 46 Blatt Zeichnungen

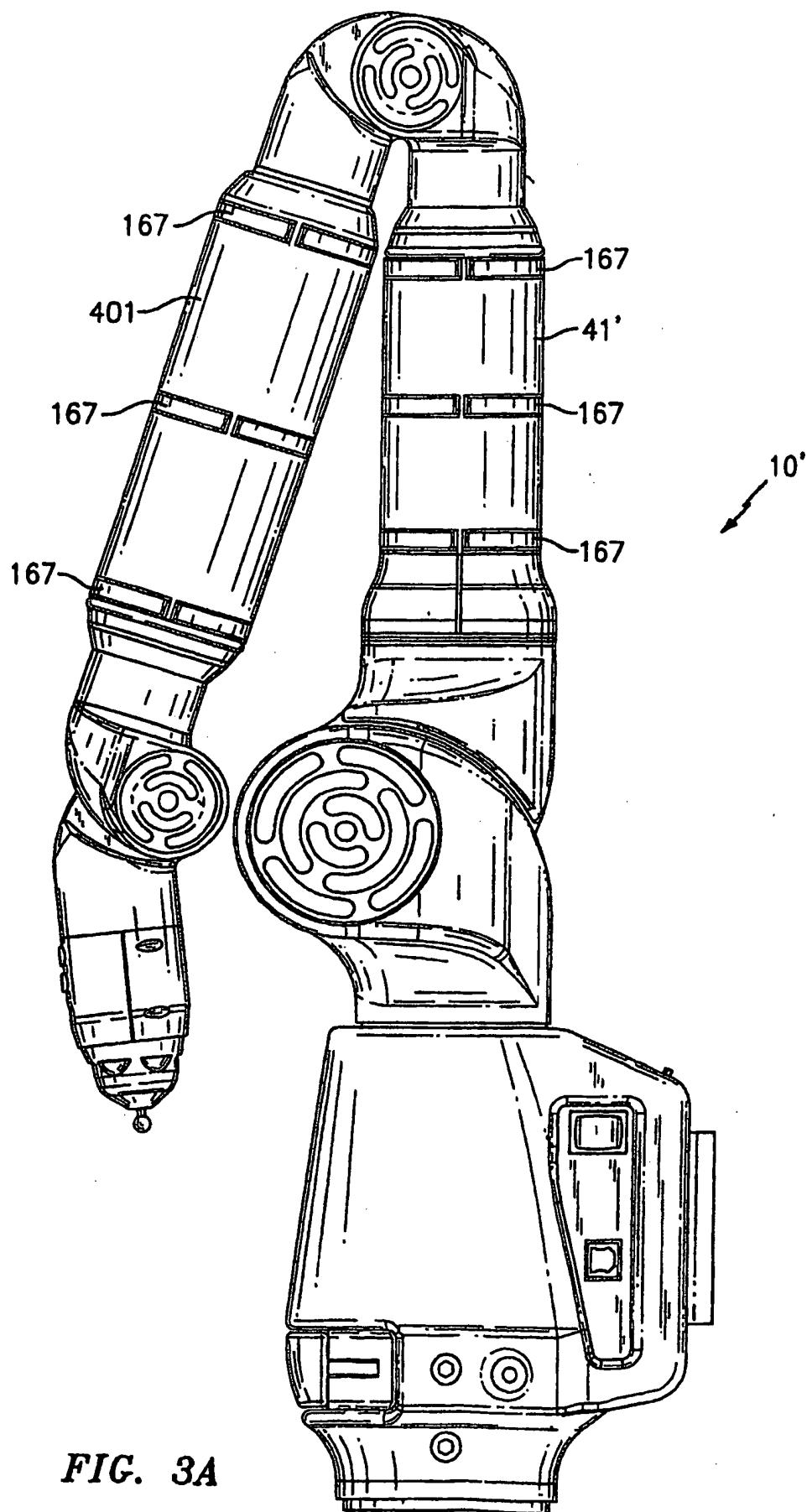


*FIG. 1*

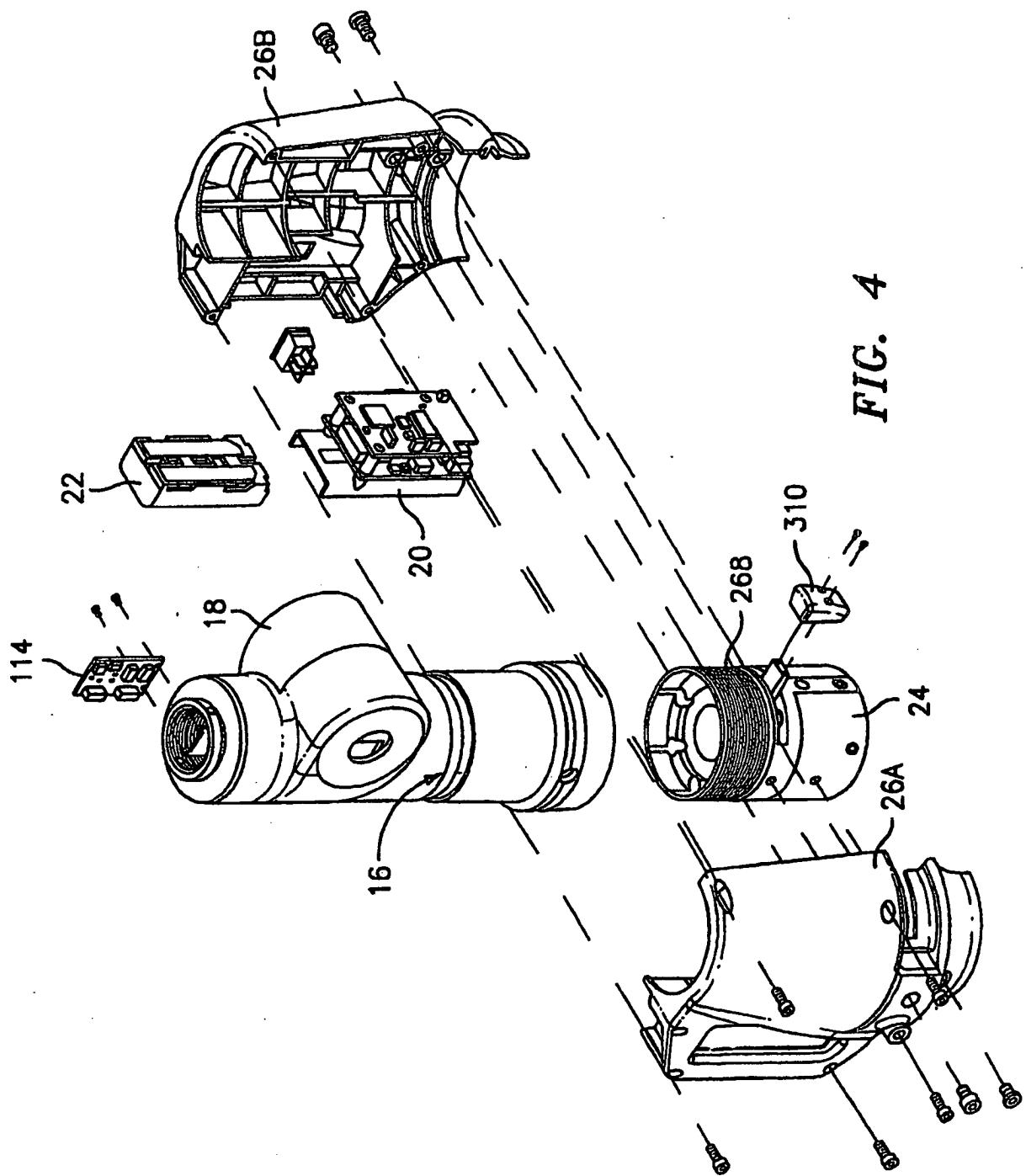


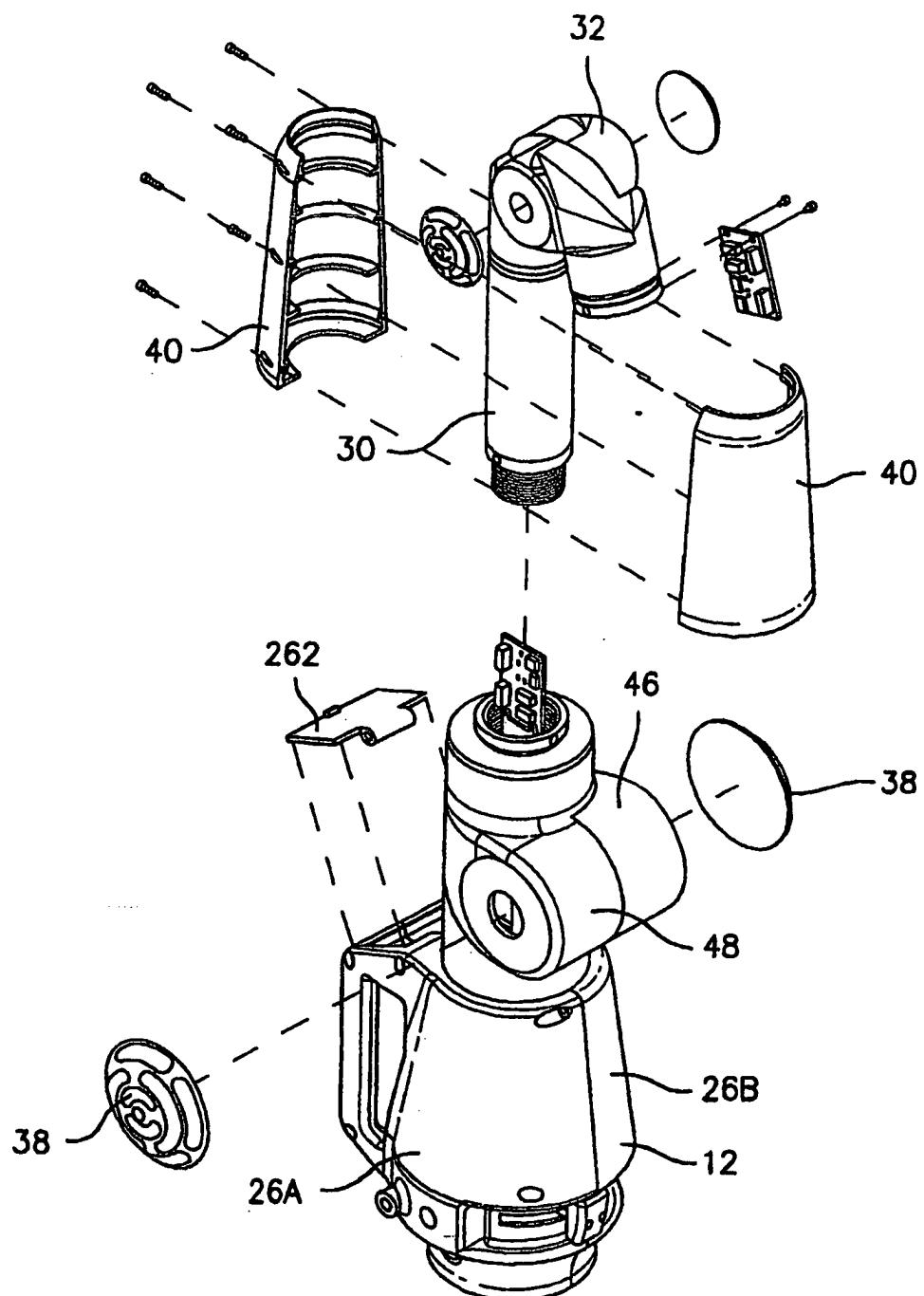
**FIG. 2**



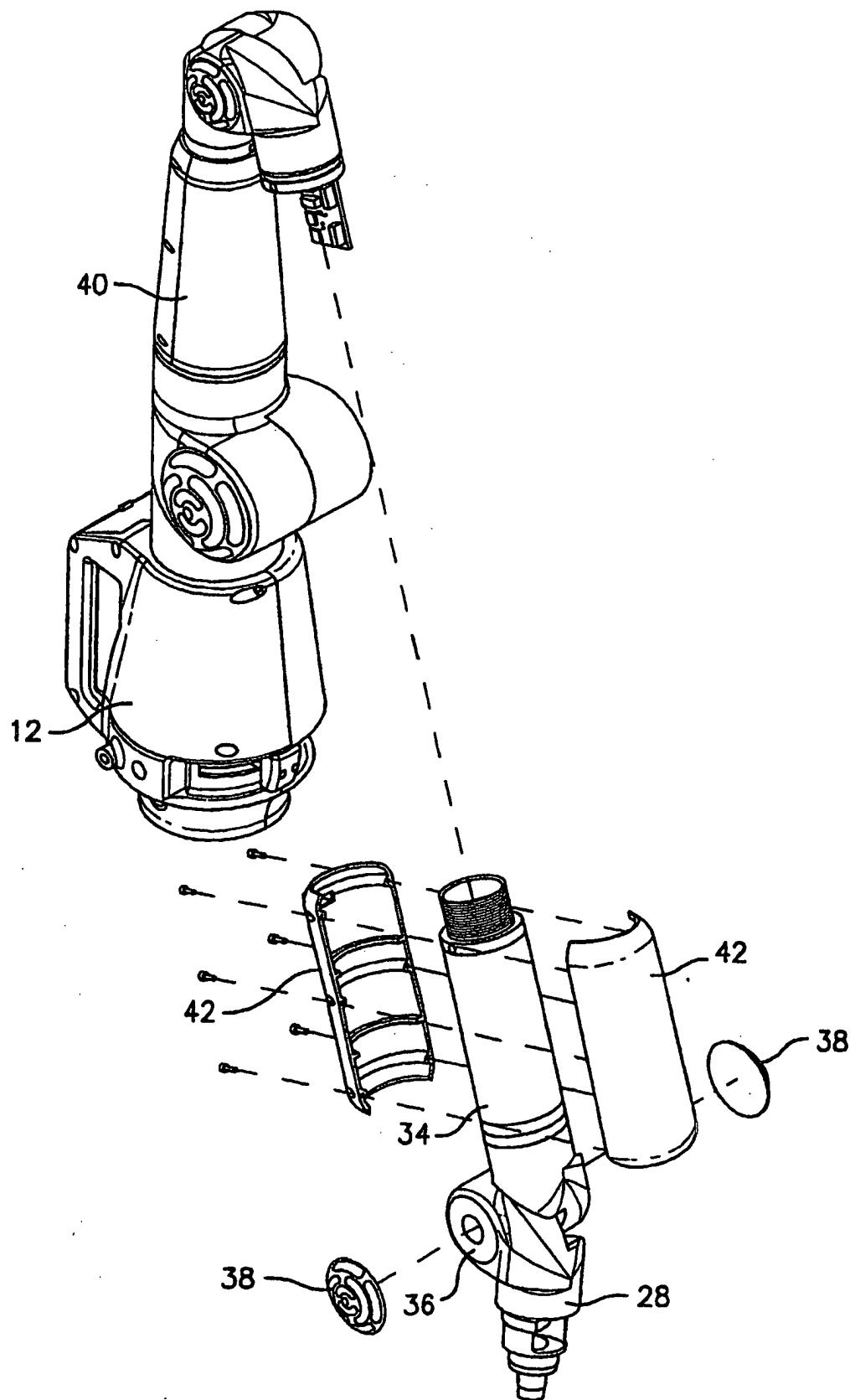


**FIG. 3A**





*FIG. 5*



*FIG. 6*

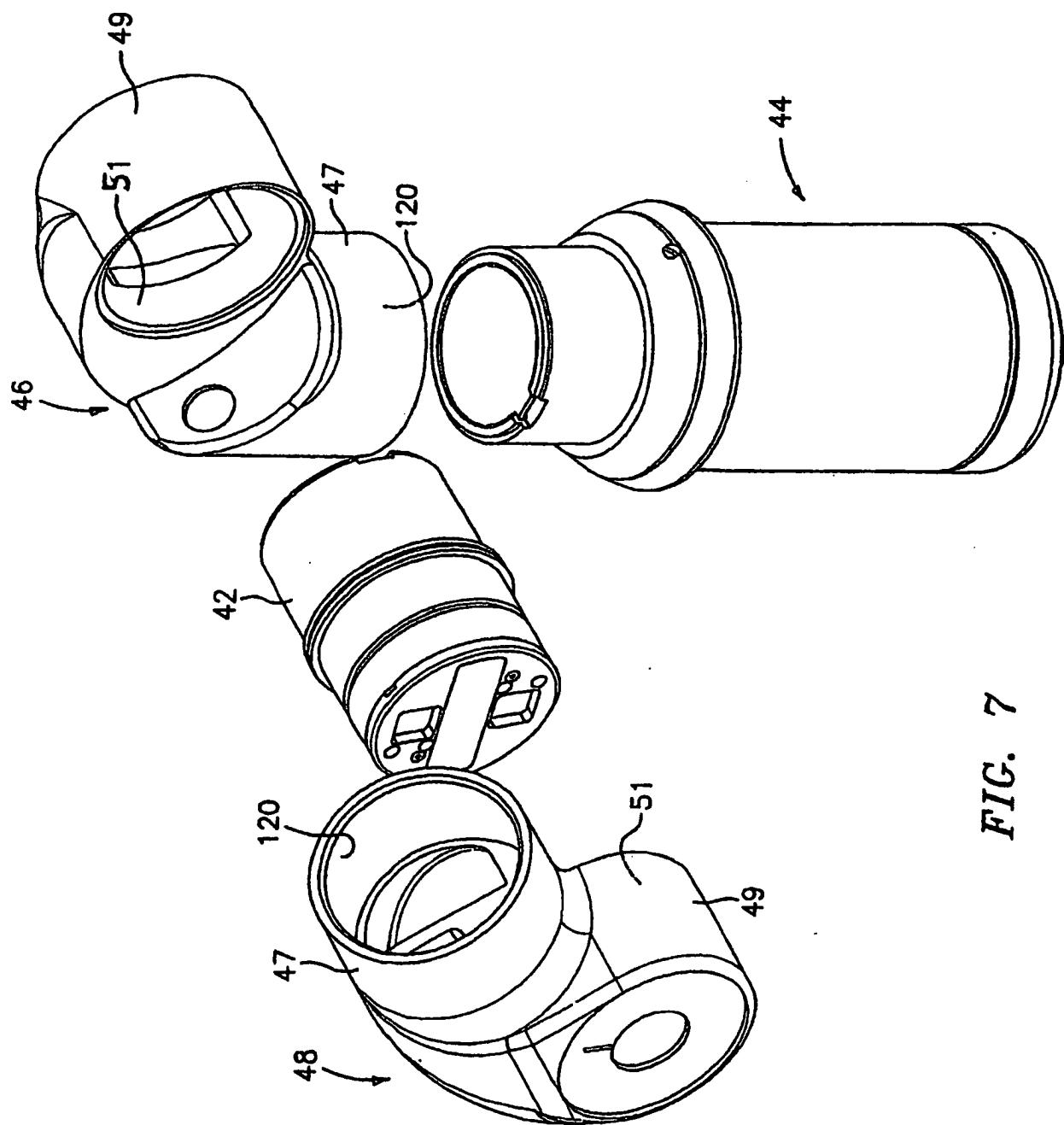


FIG. 7

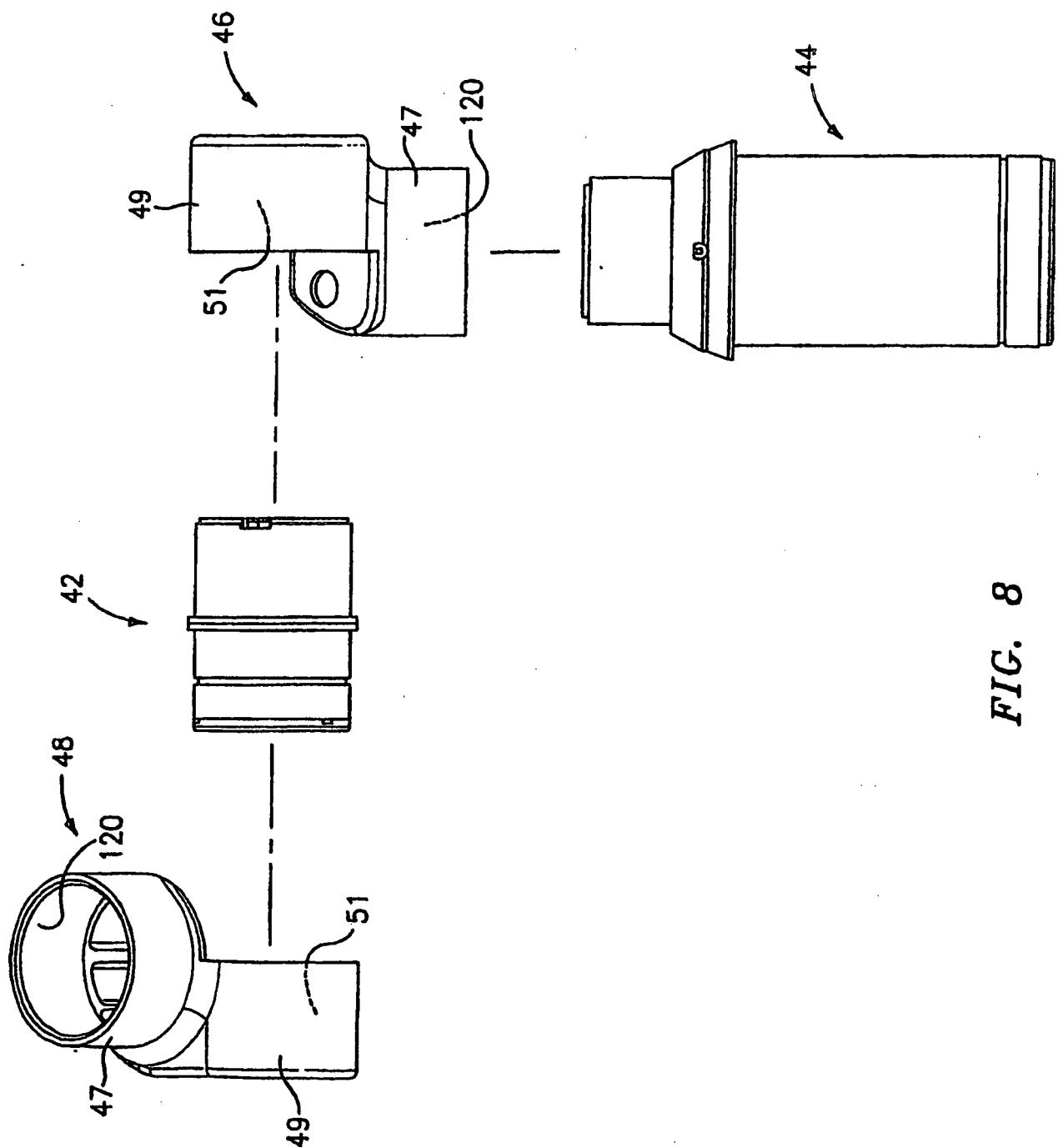
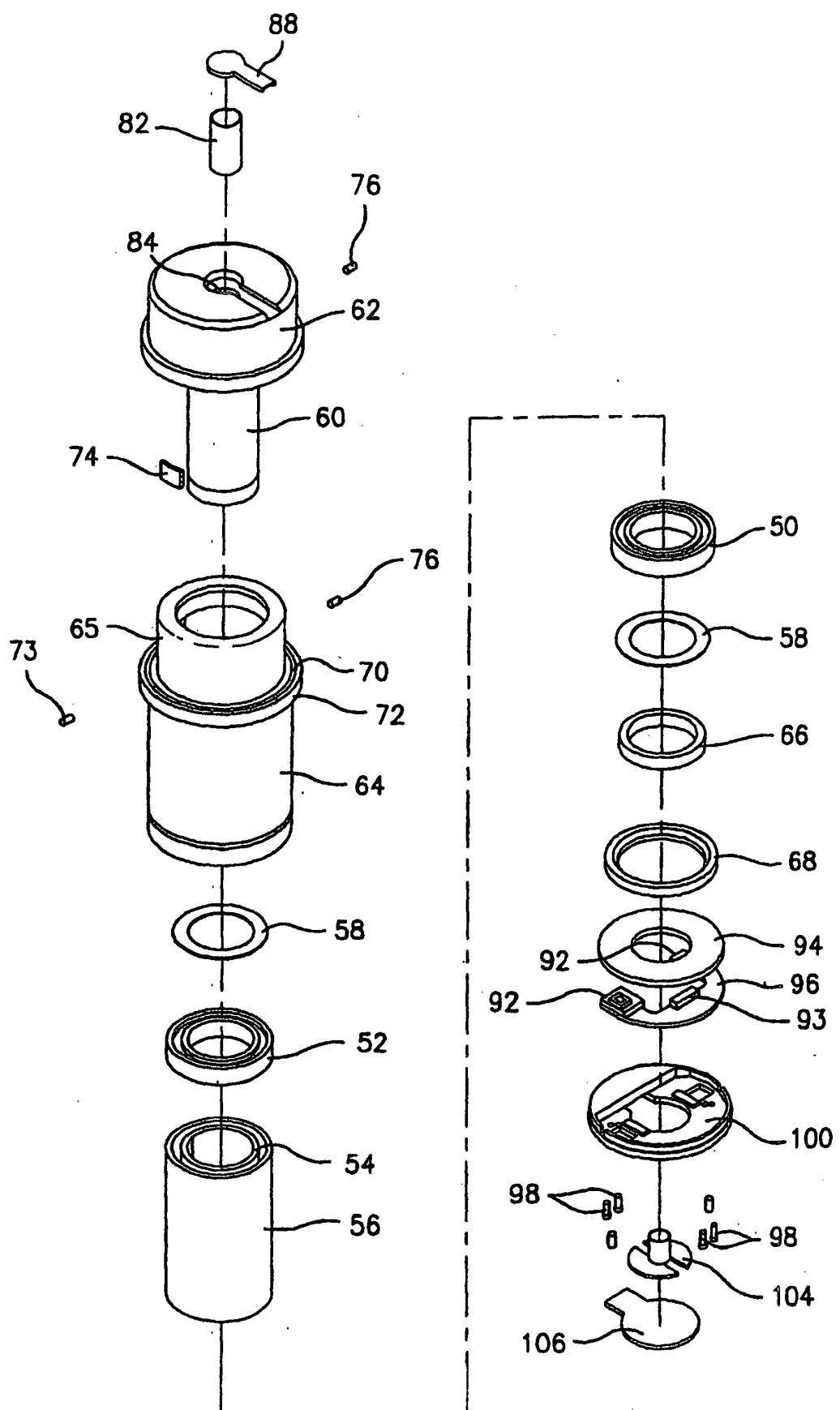


FIG. 8



**FIG. 9**

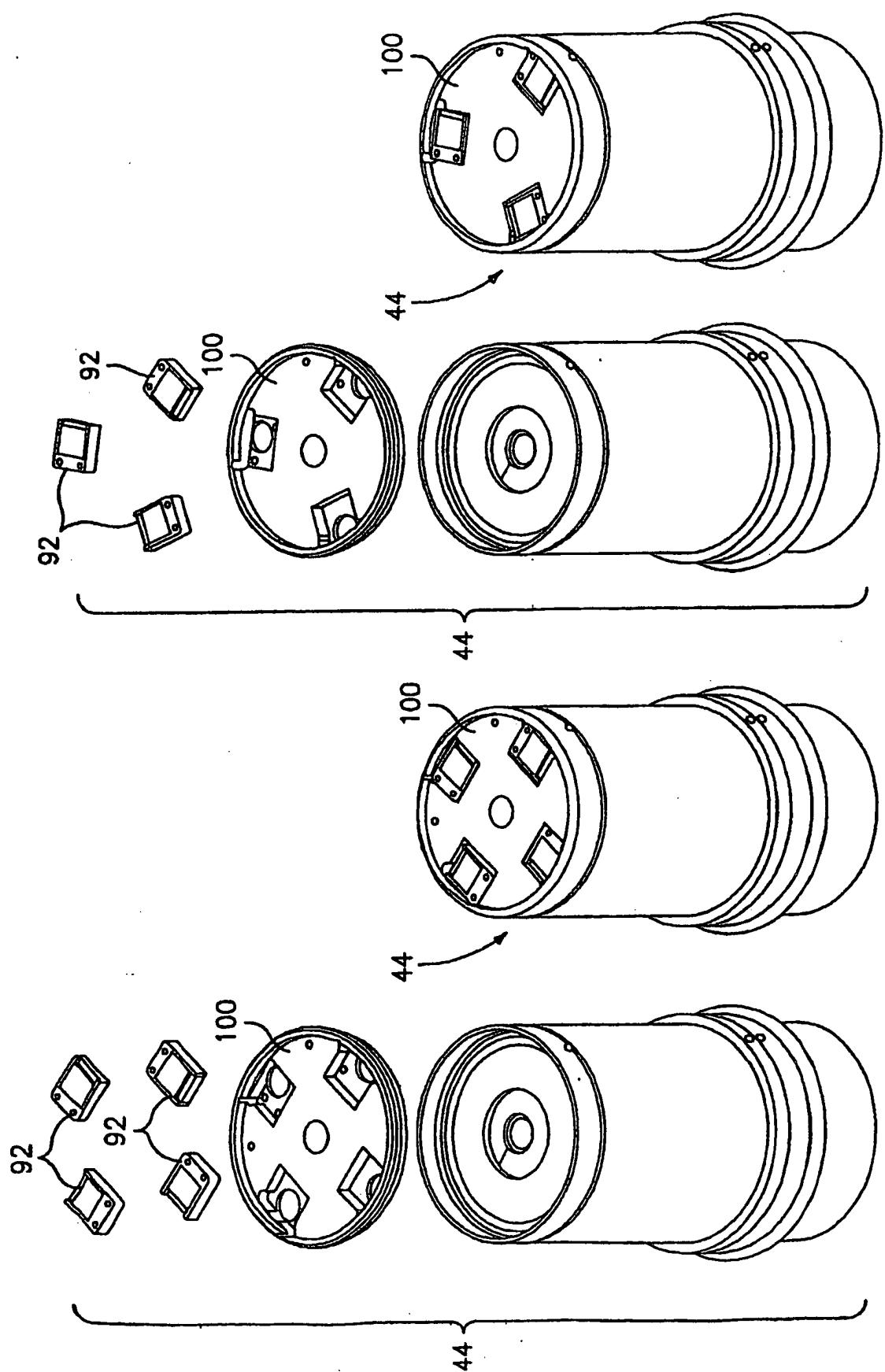
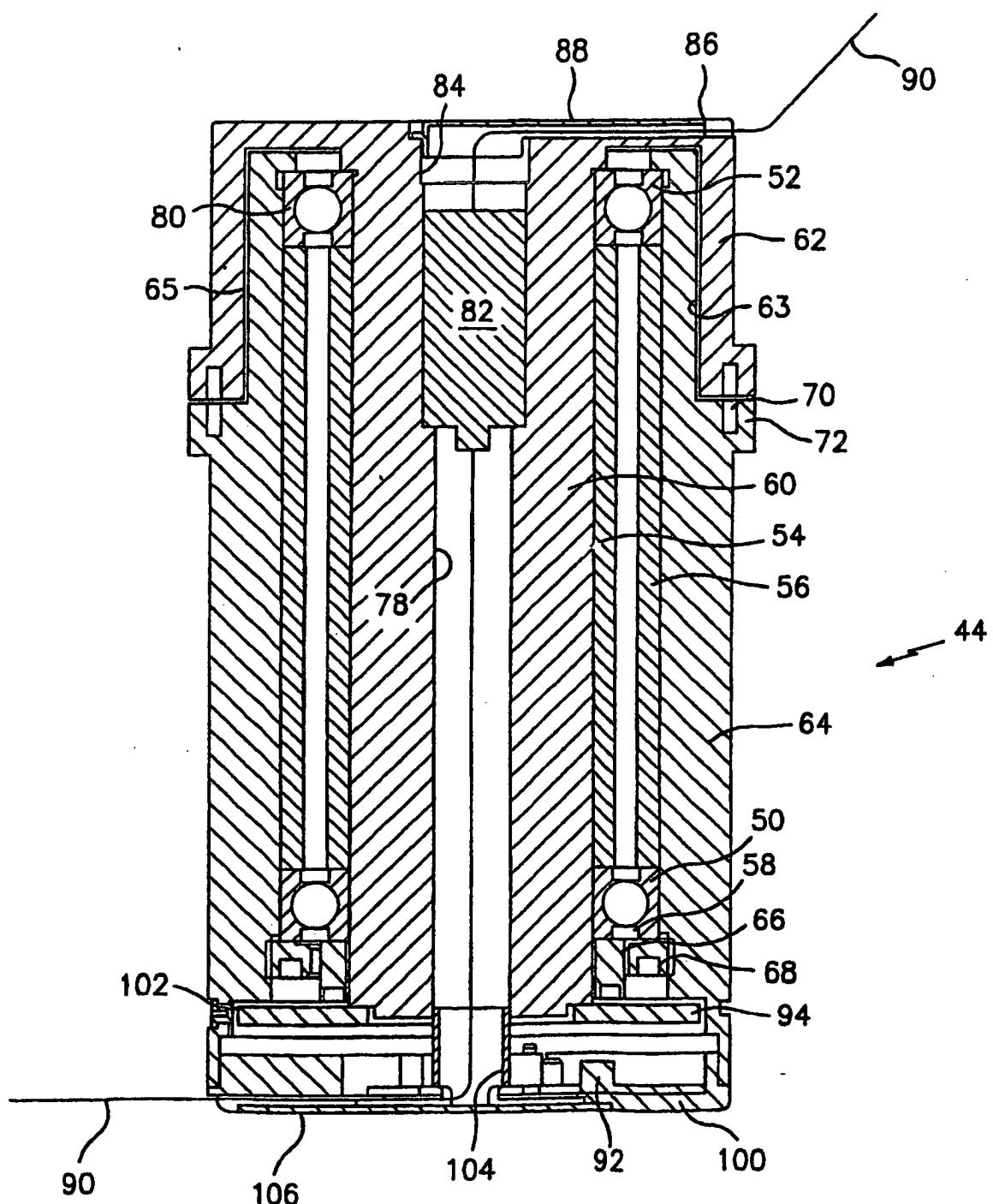
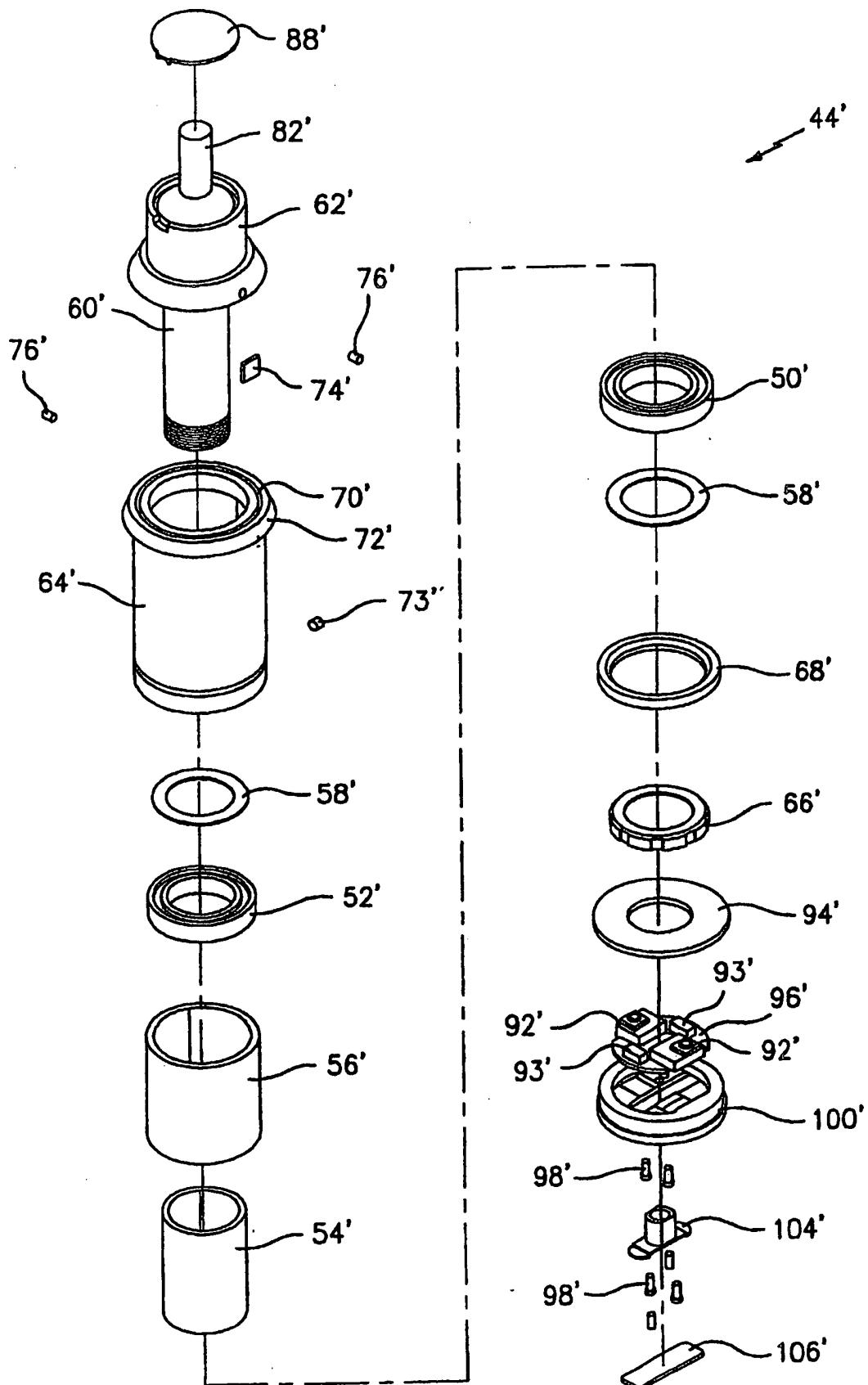


FIG. 9B FIG. 9C

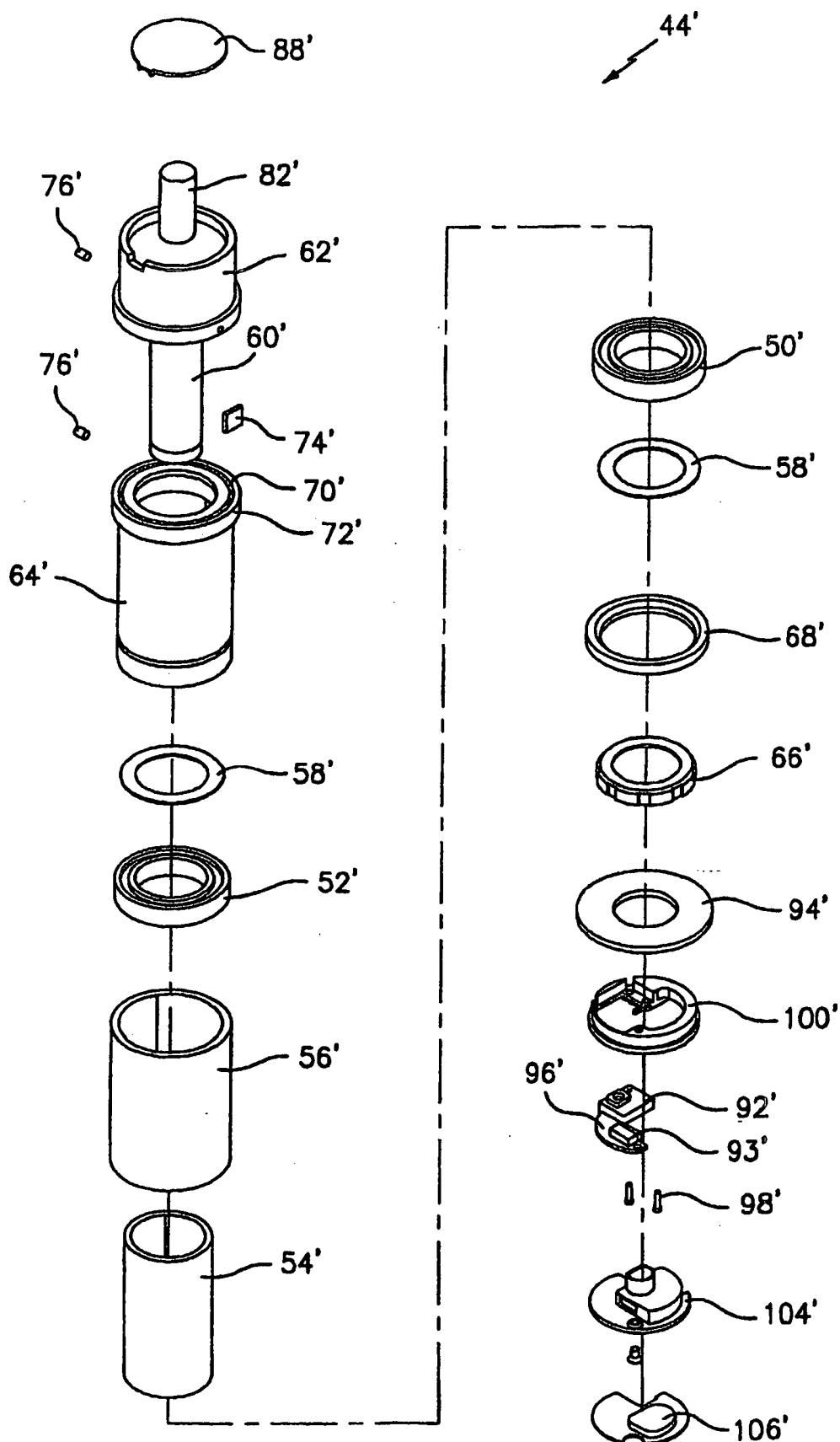
FIG. 9D FIG. 9E



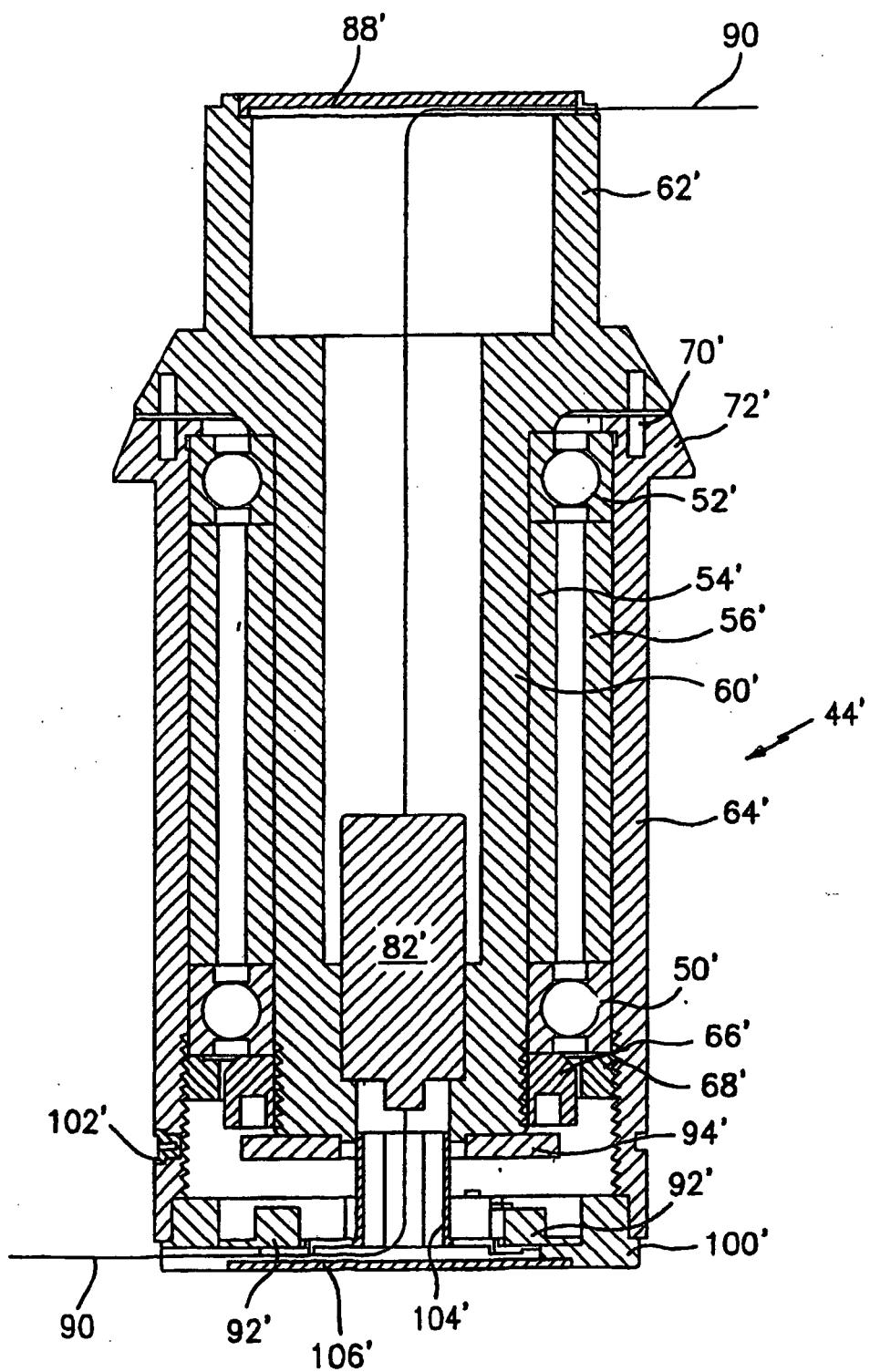
*FIG. 10*



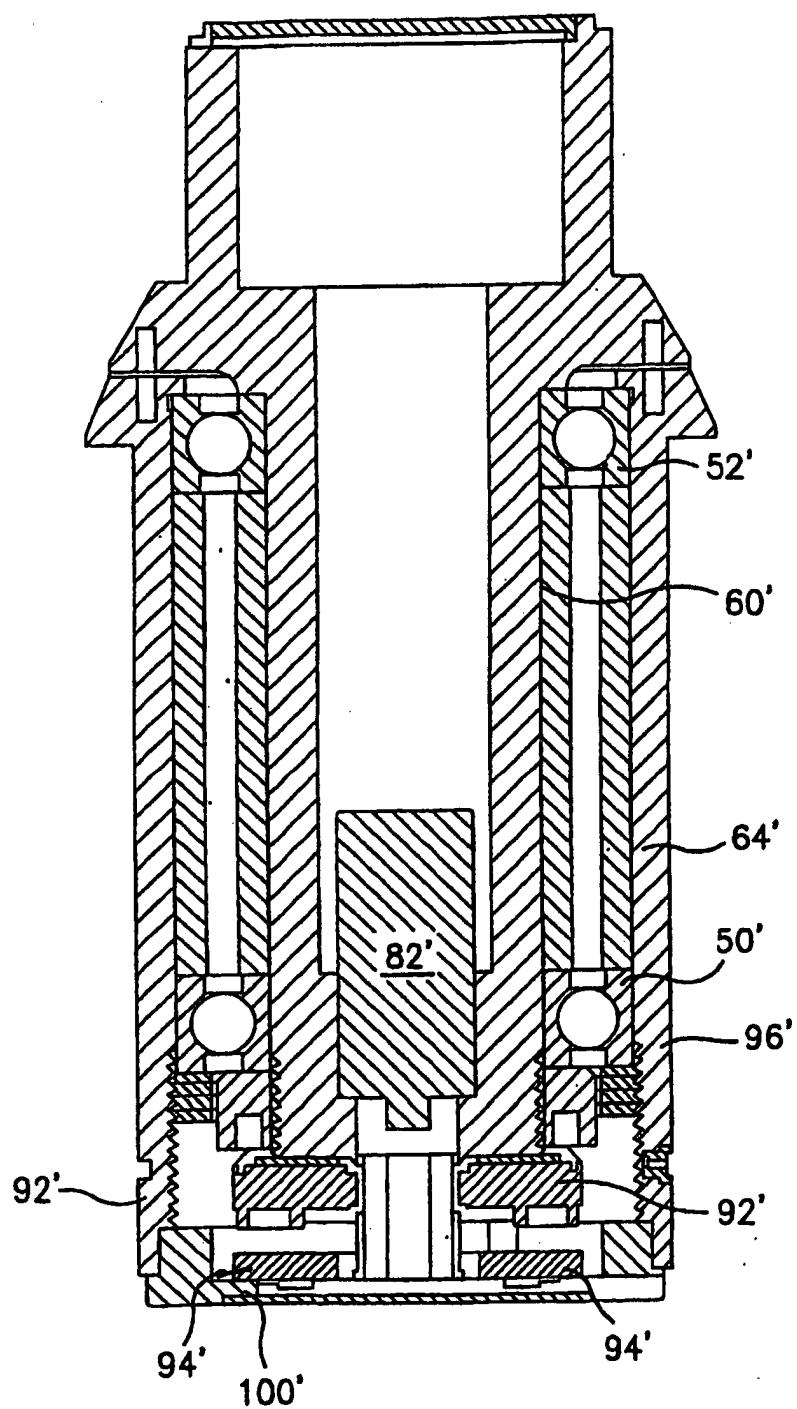
*FIG. 11*



**FIG. 11A.**



*FIG. 12*



*FIG. 12A*

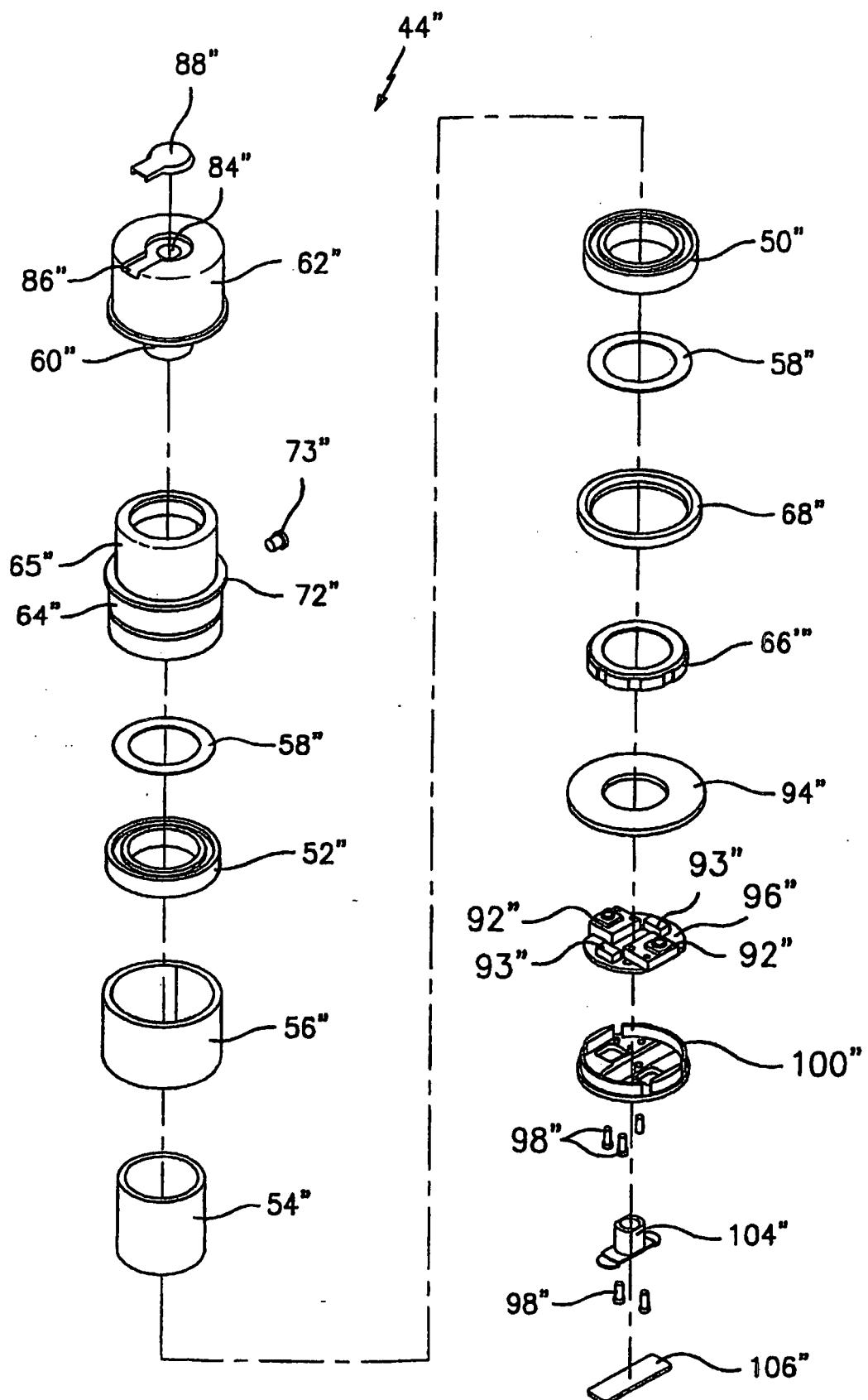


FIG. 13

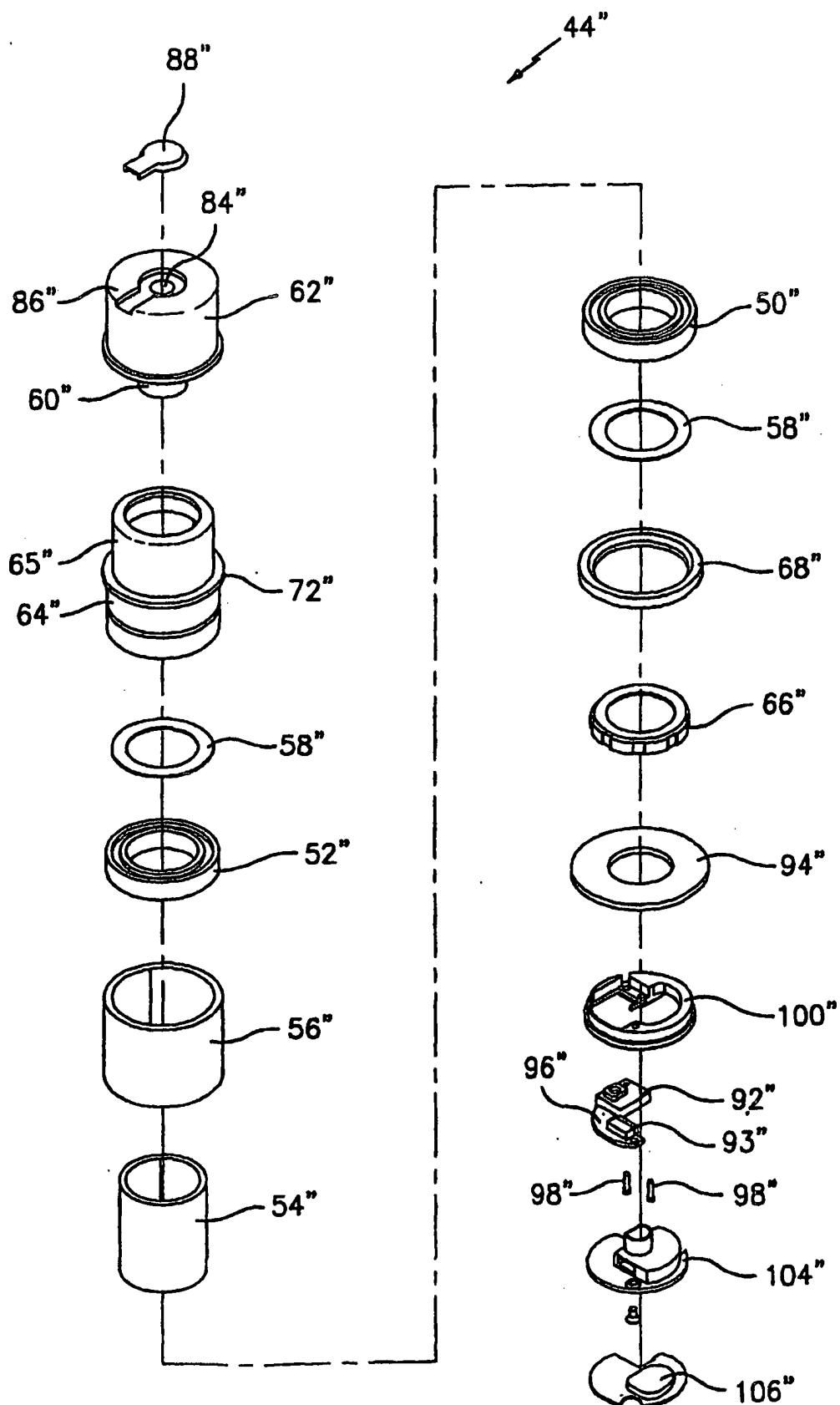
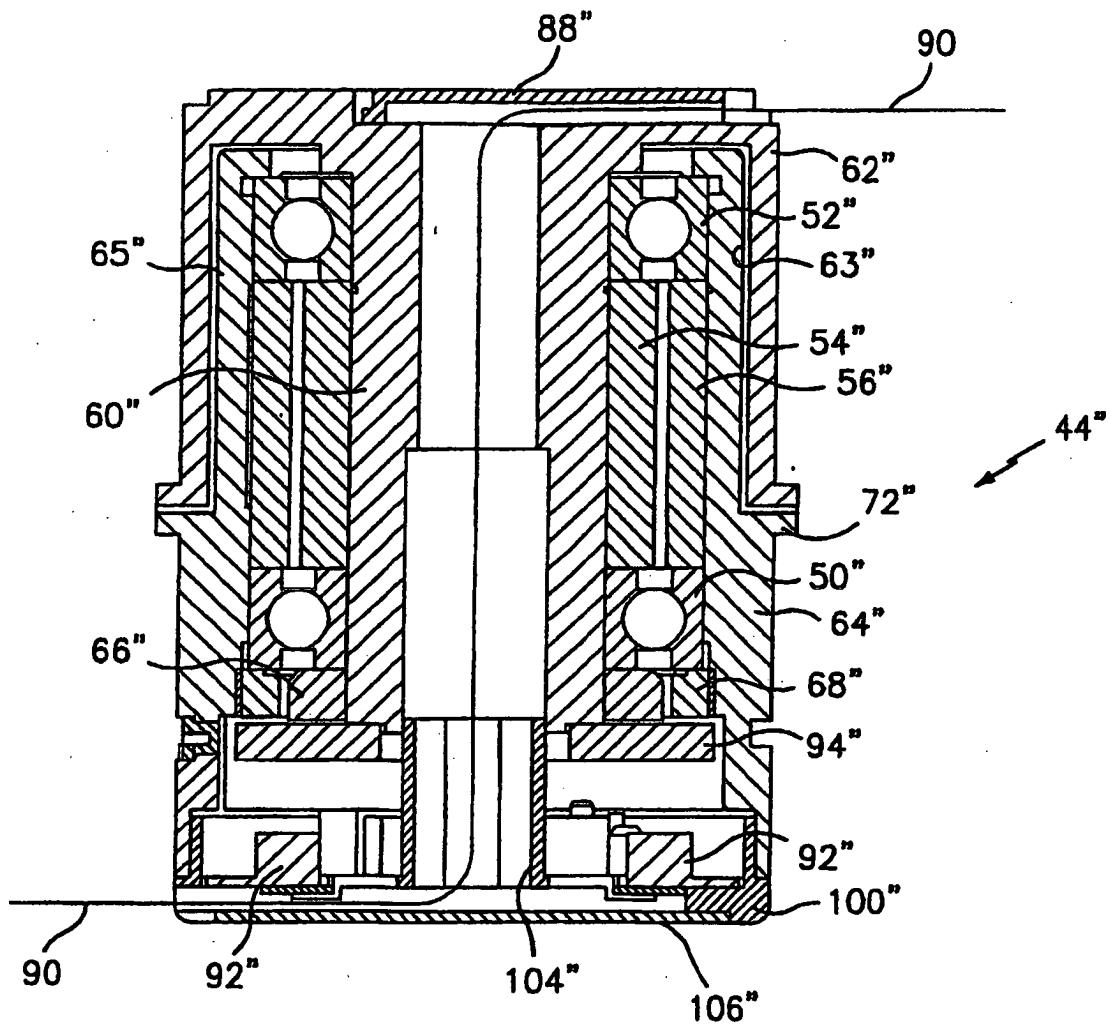
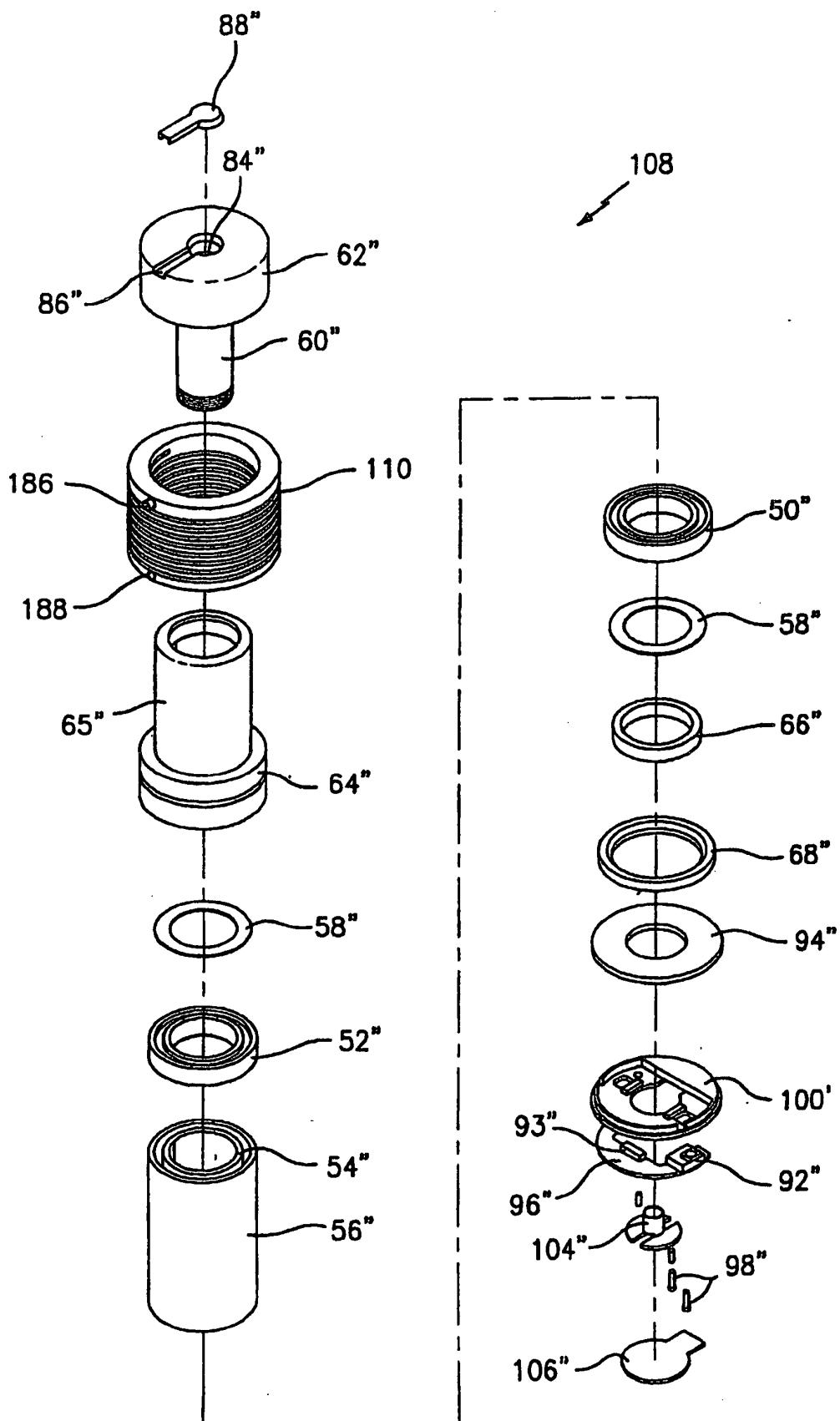


FIG. 13A



*FIG 14*



*FIG. 15*

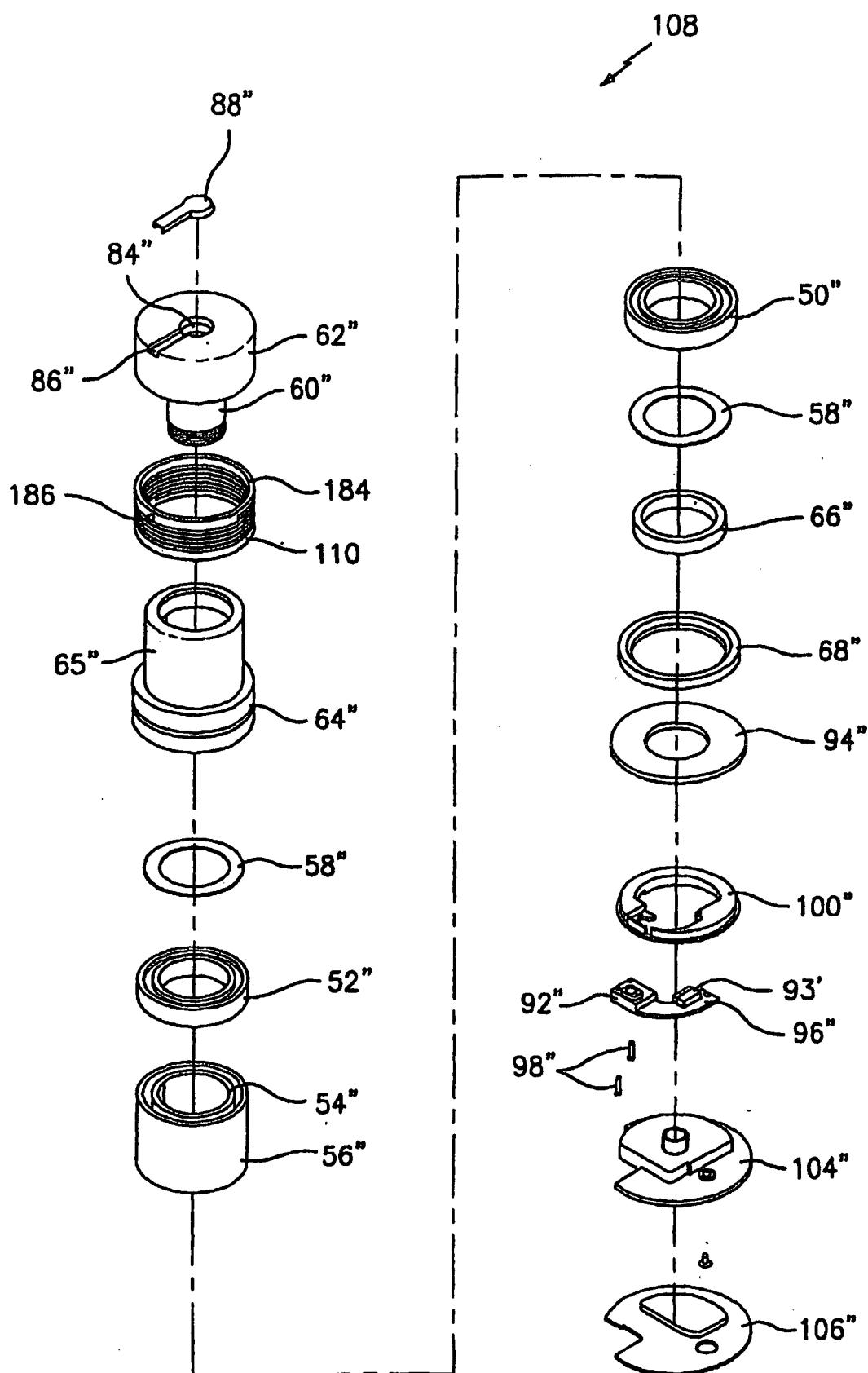
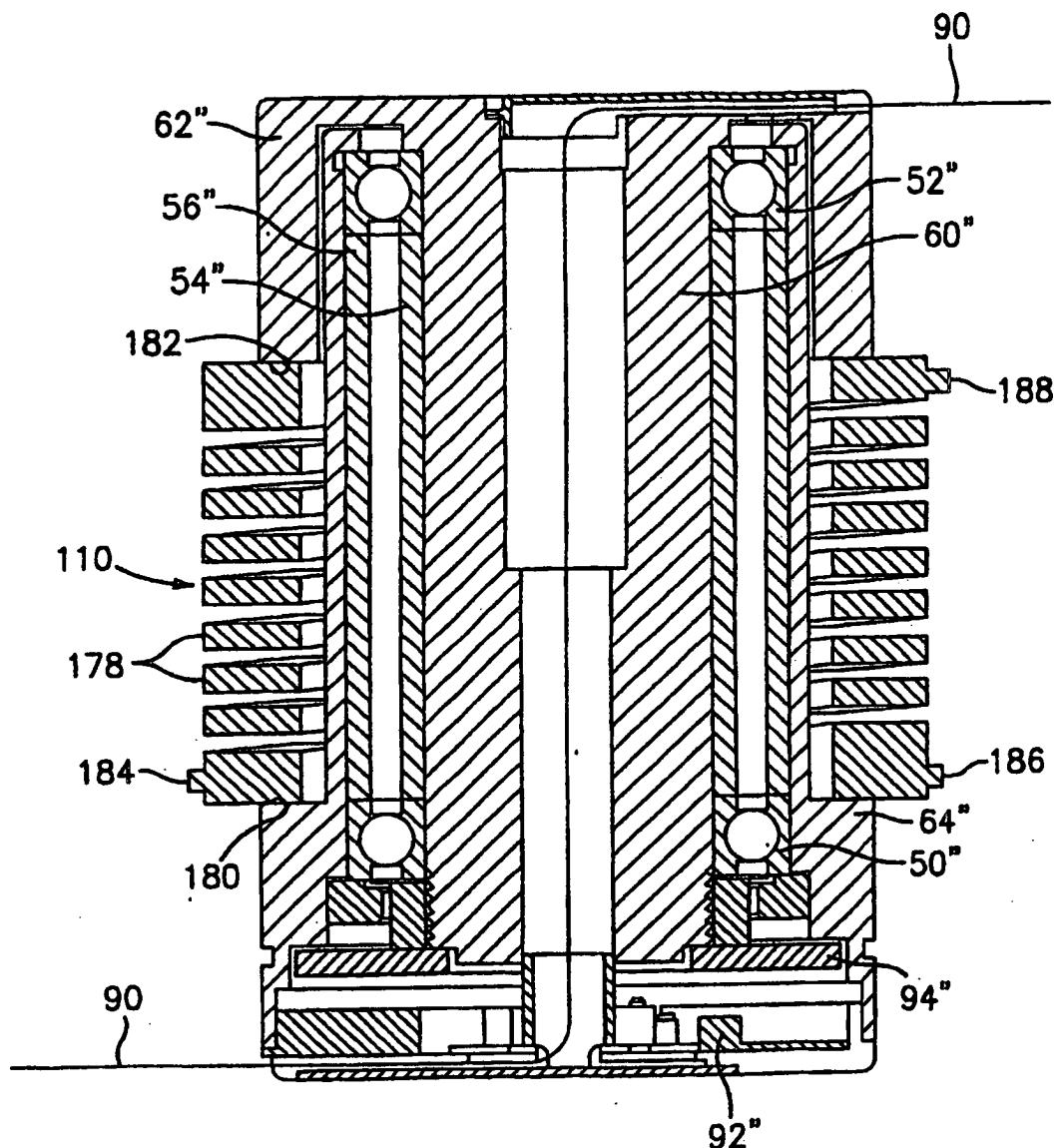
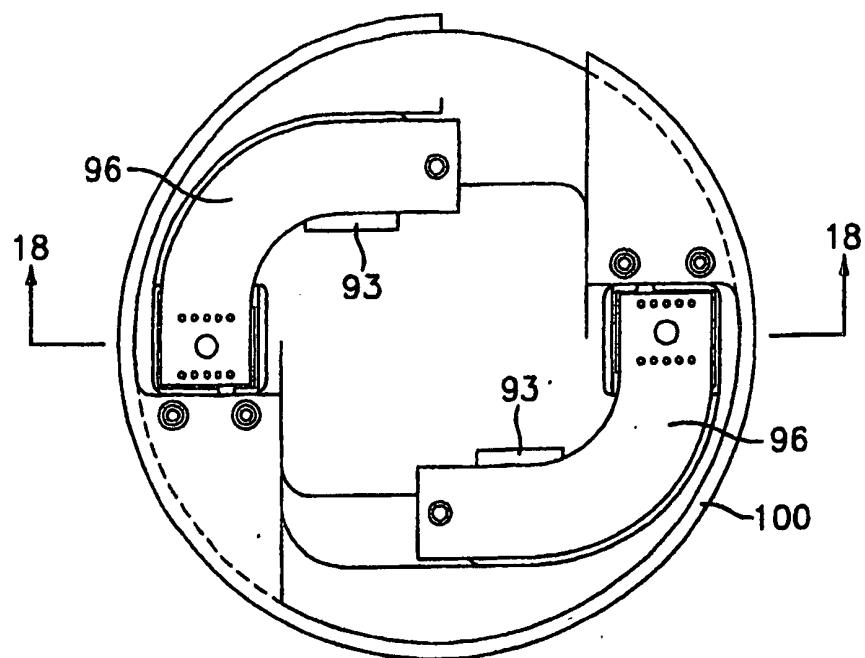


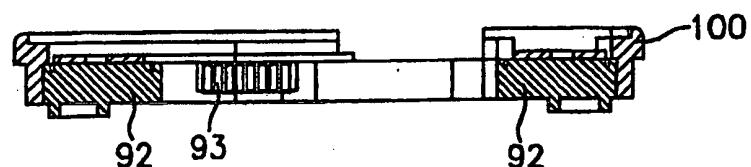
FIG. 15A



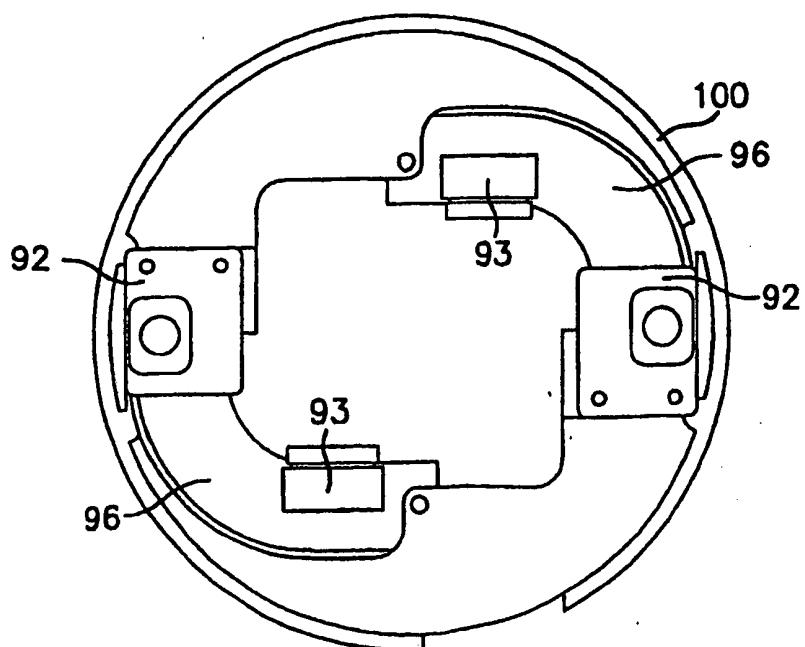
*FIG. 16*



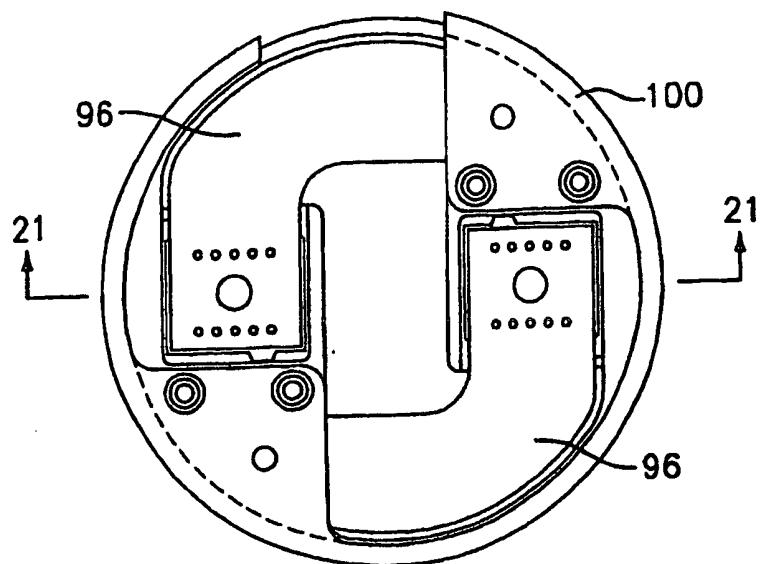
*FIG. 17*



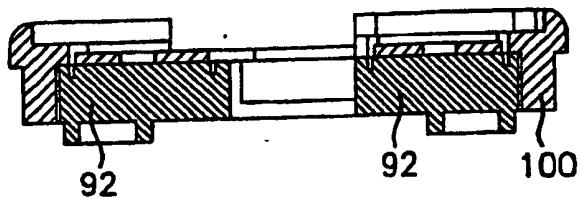
*FIG. 18*



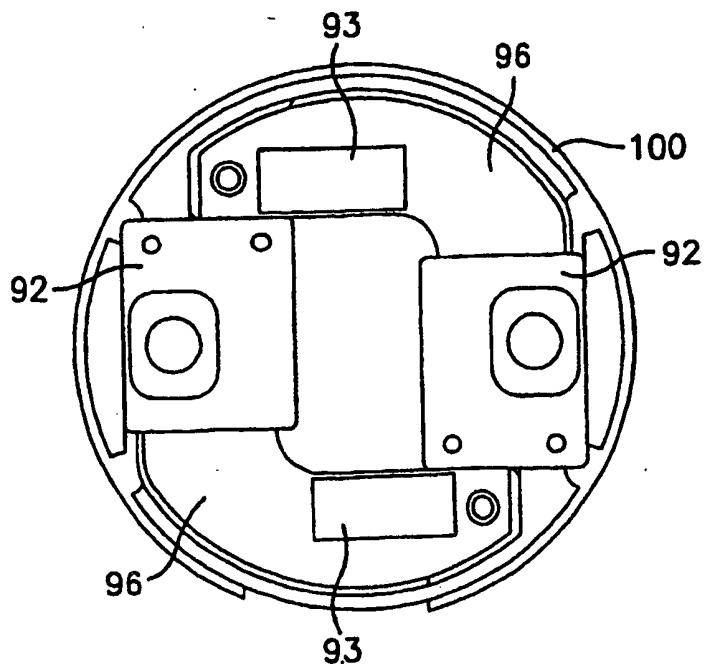
*FIG. 19*



***FIG. 20***



***FIG. 21***



***FIG. 22***

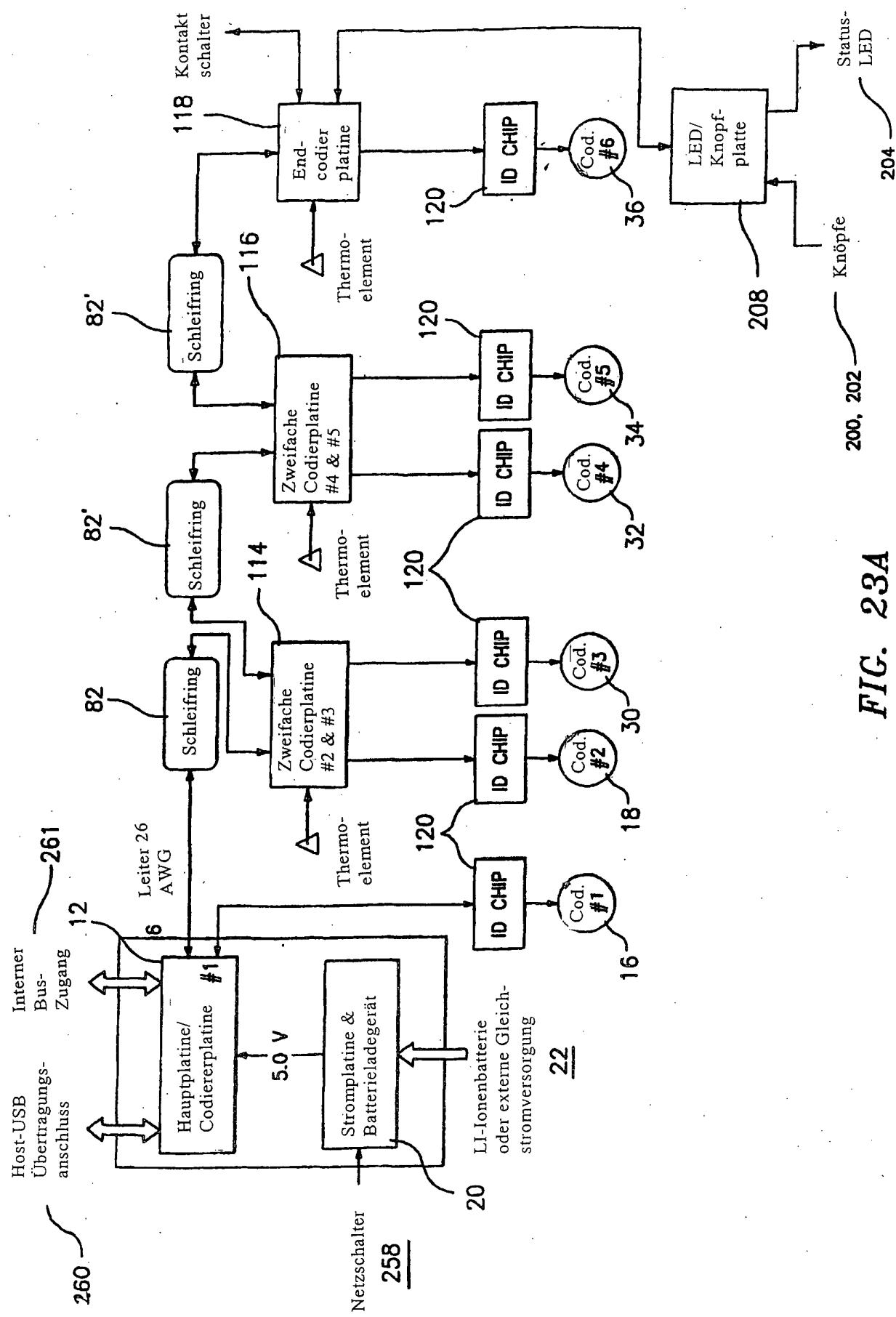


FIG. 23A

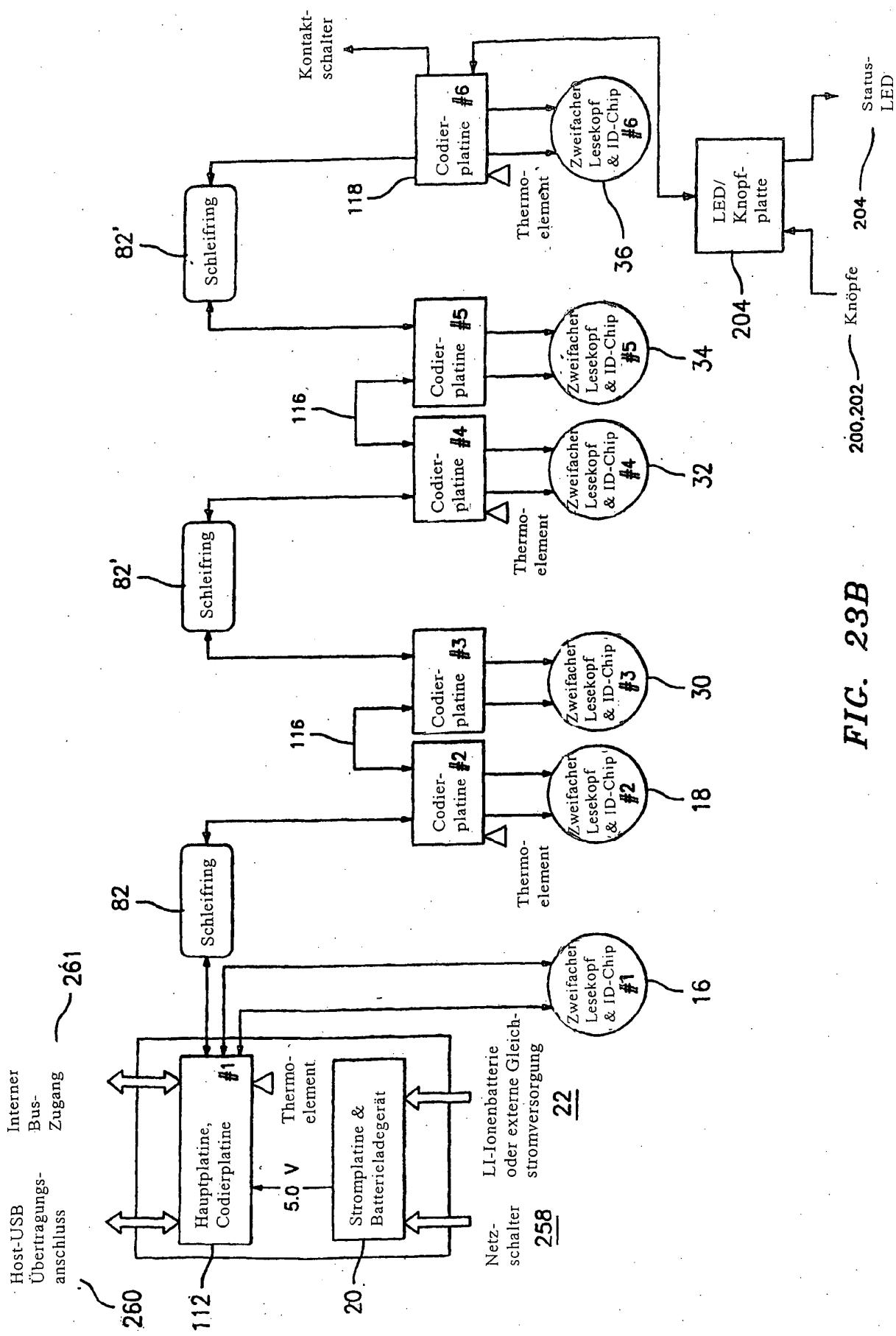
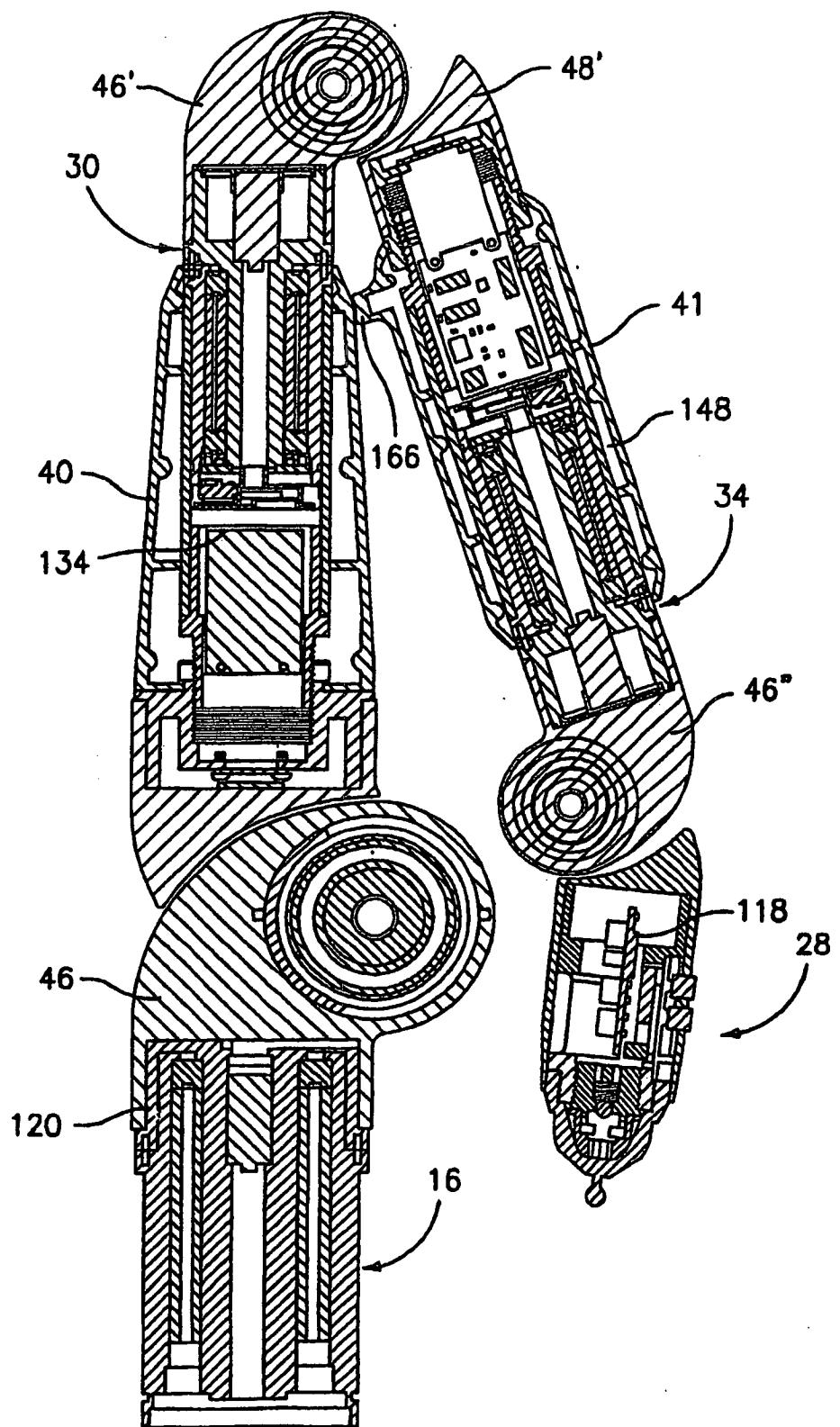
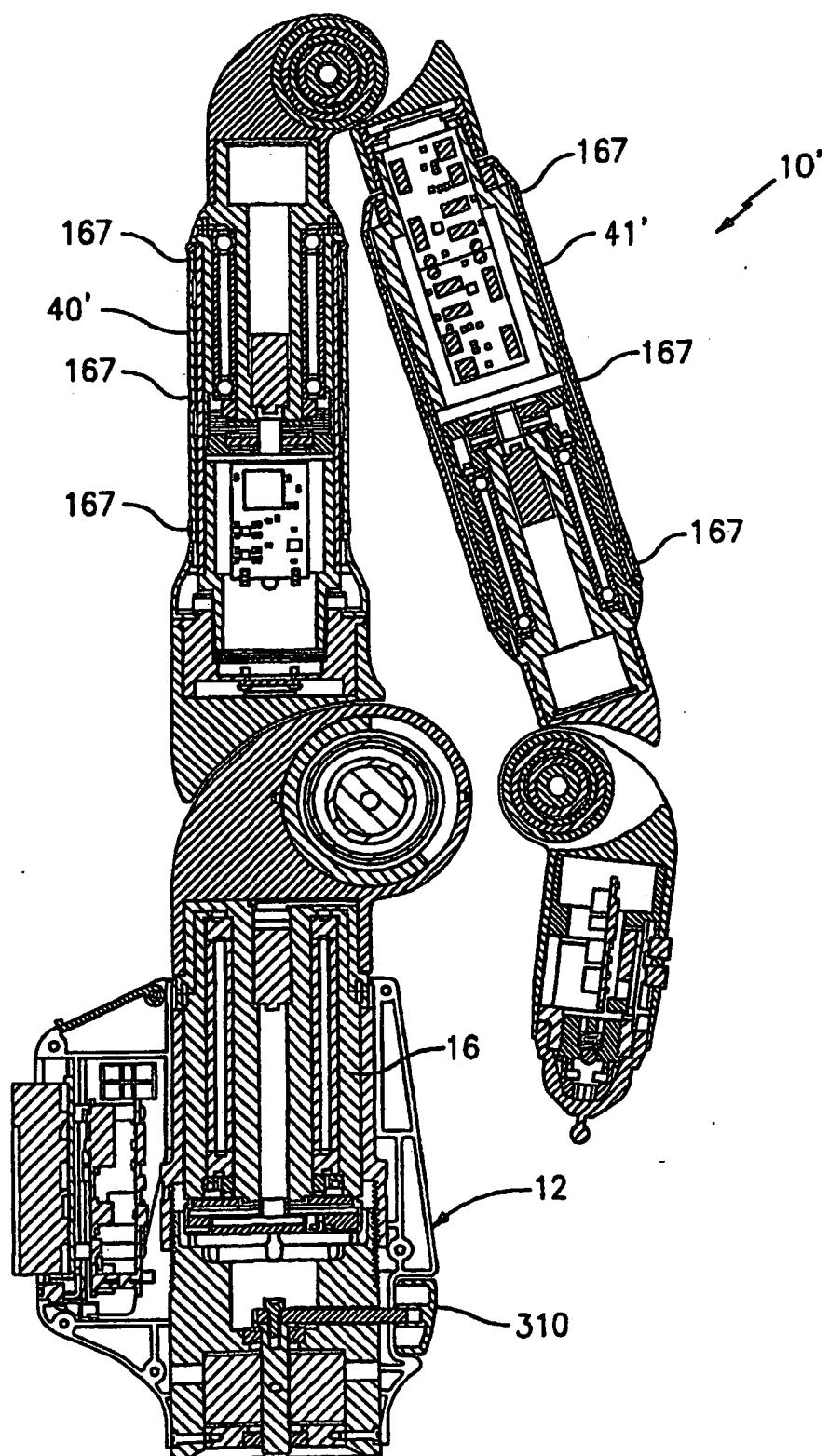


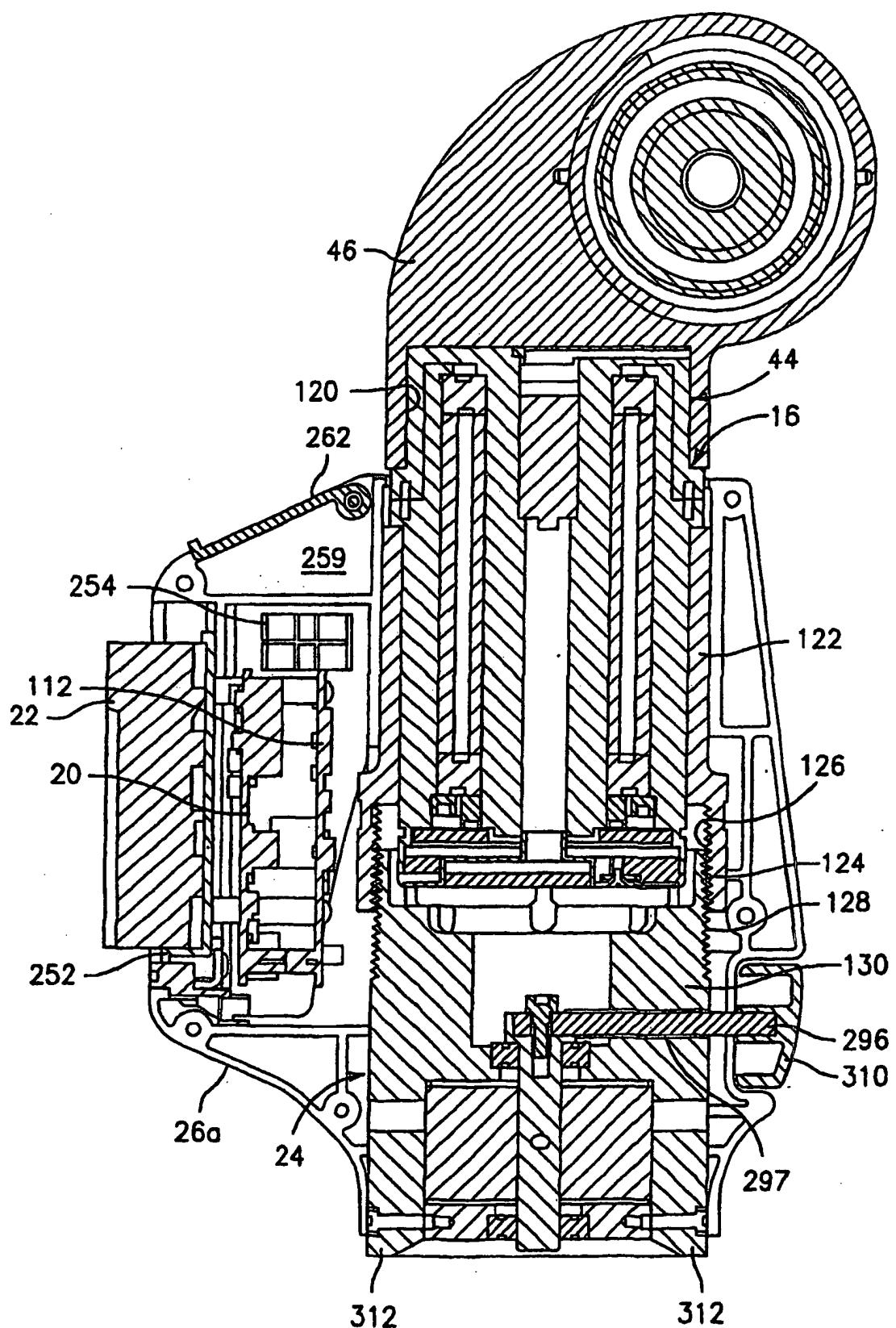
FIG. 23B



*FIG. 24*



**FIG. 24A**



*FIG. 25*

FIG. 25B

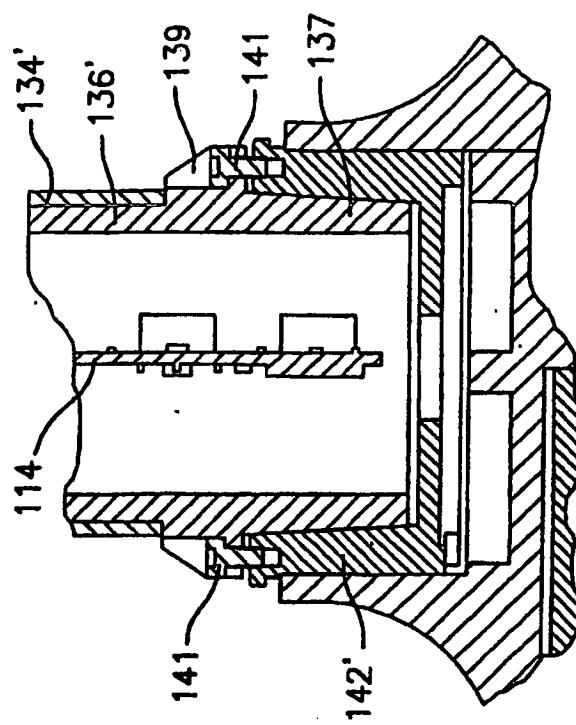
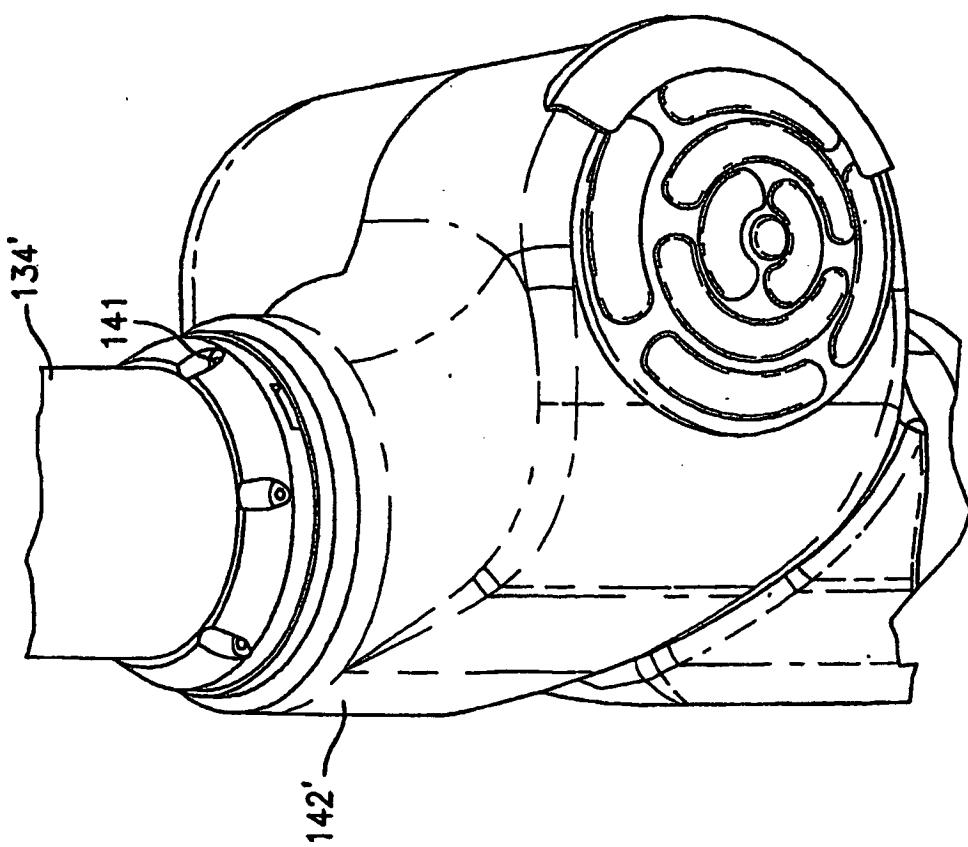


FIG. 25A



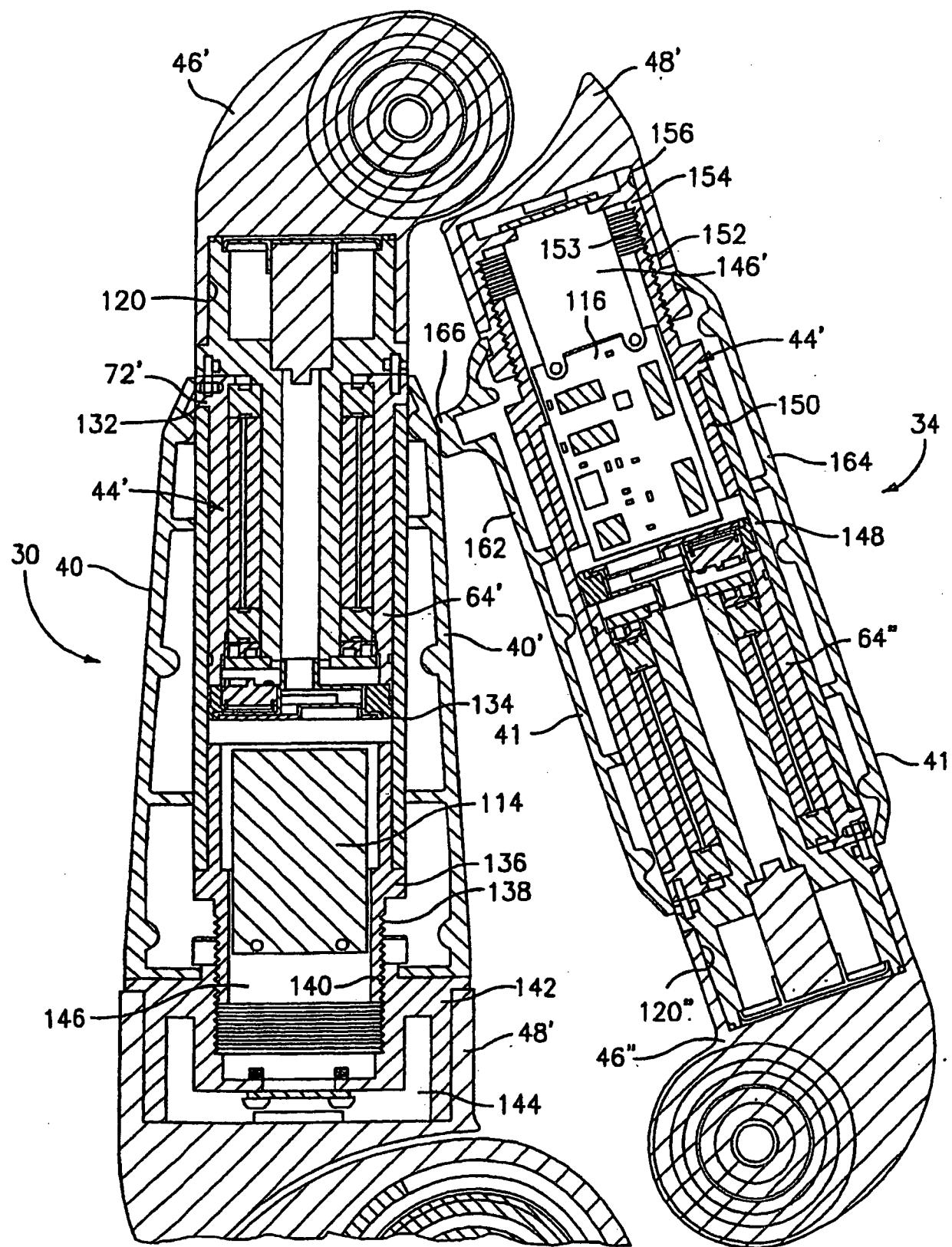
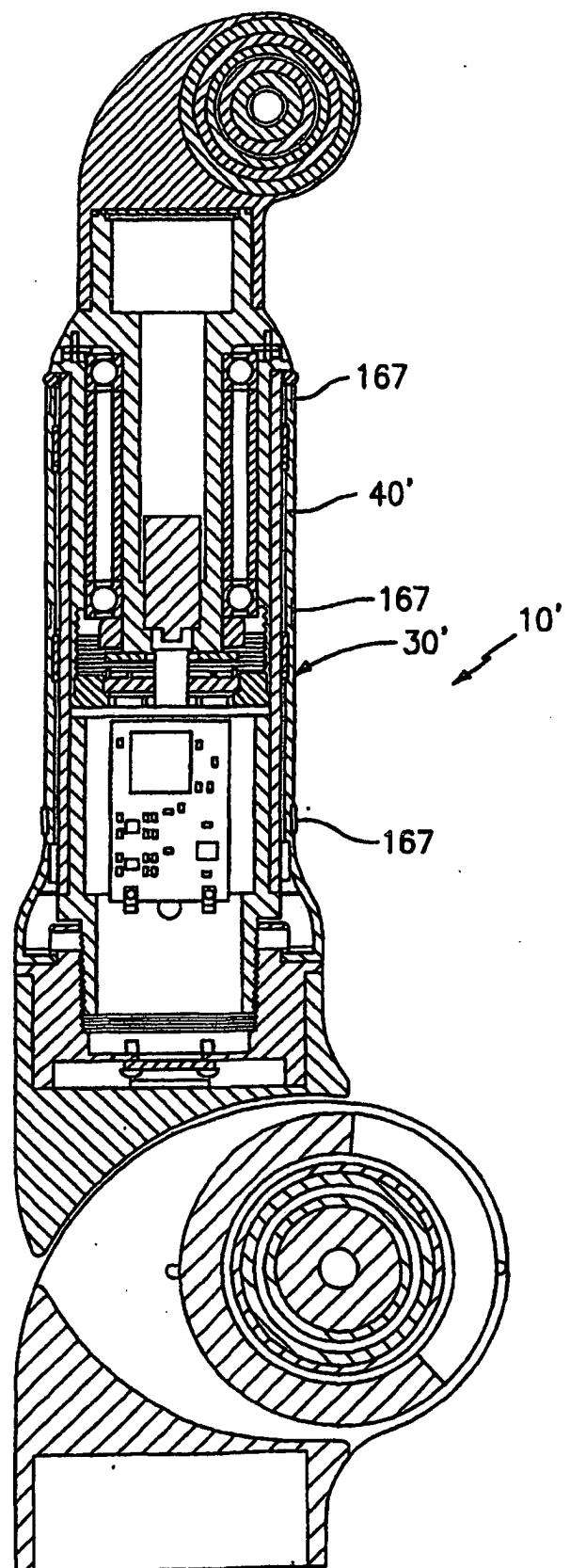
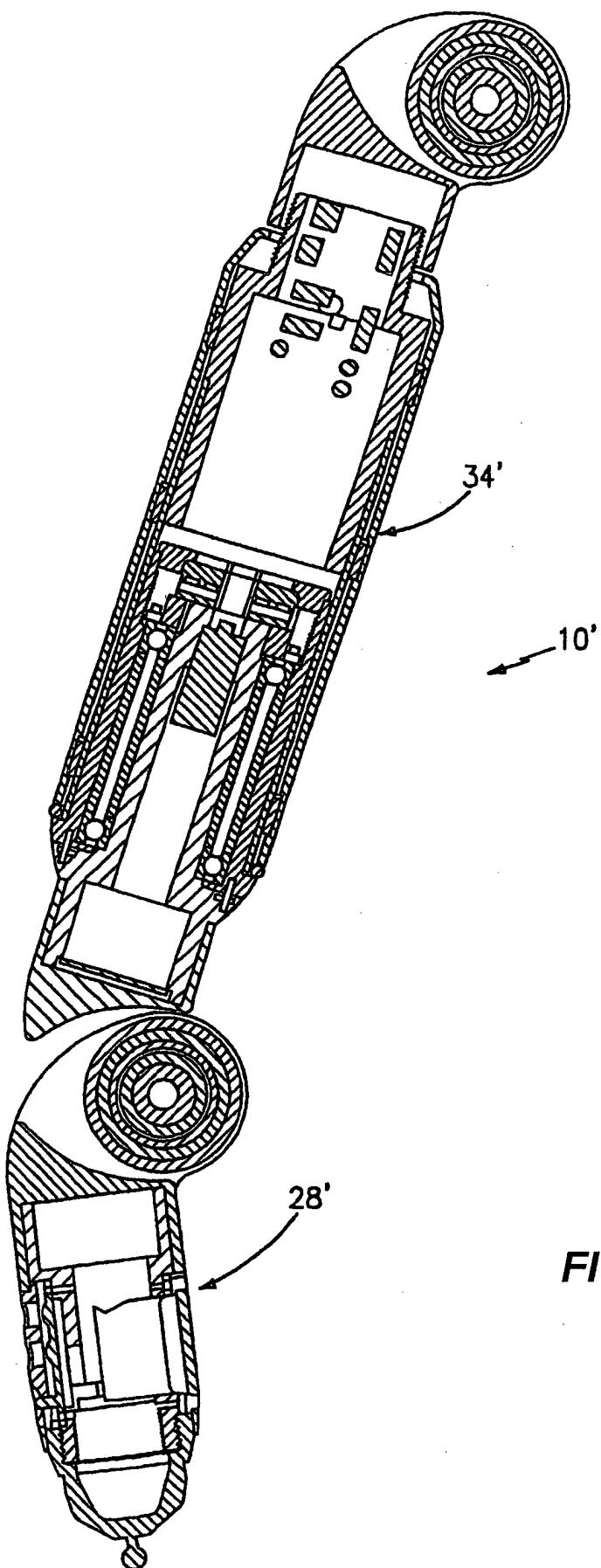


FIG. 26



***FIG. 26A***



**FIG. 26B**

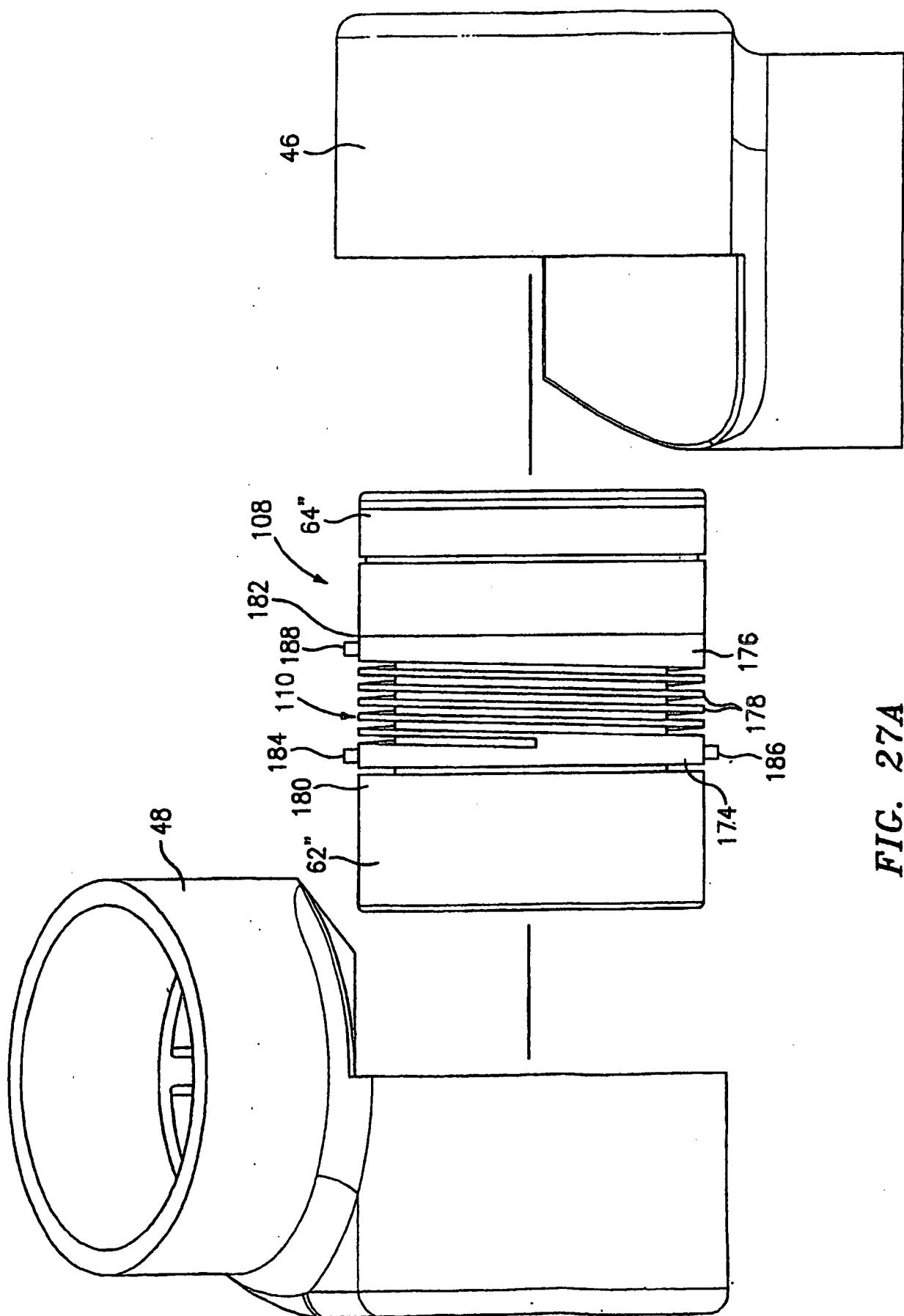


FIG. 27A

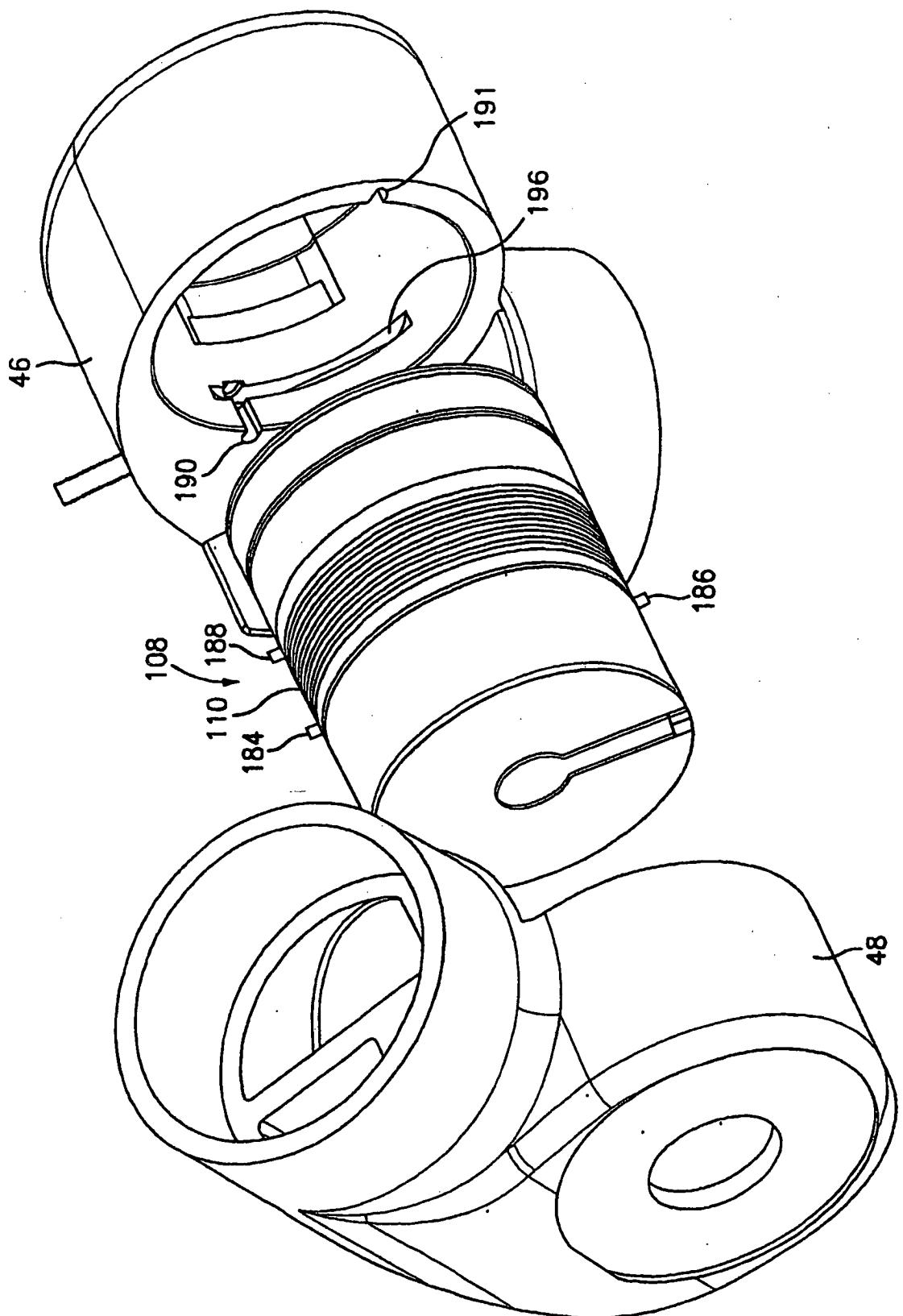
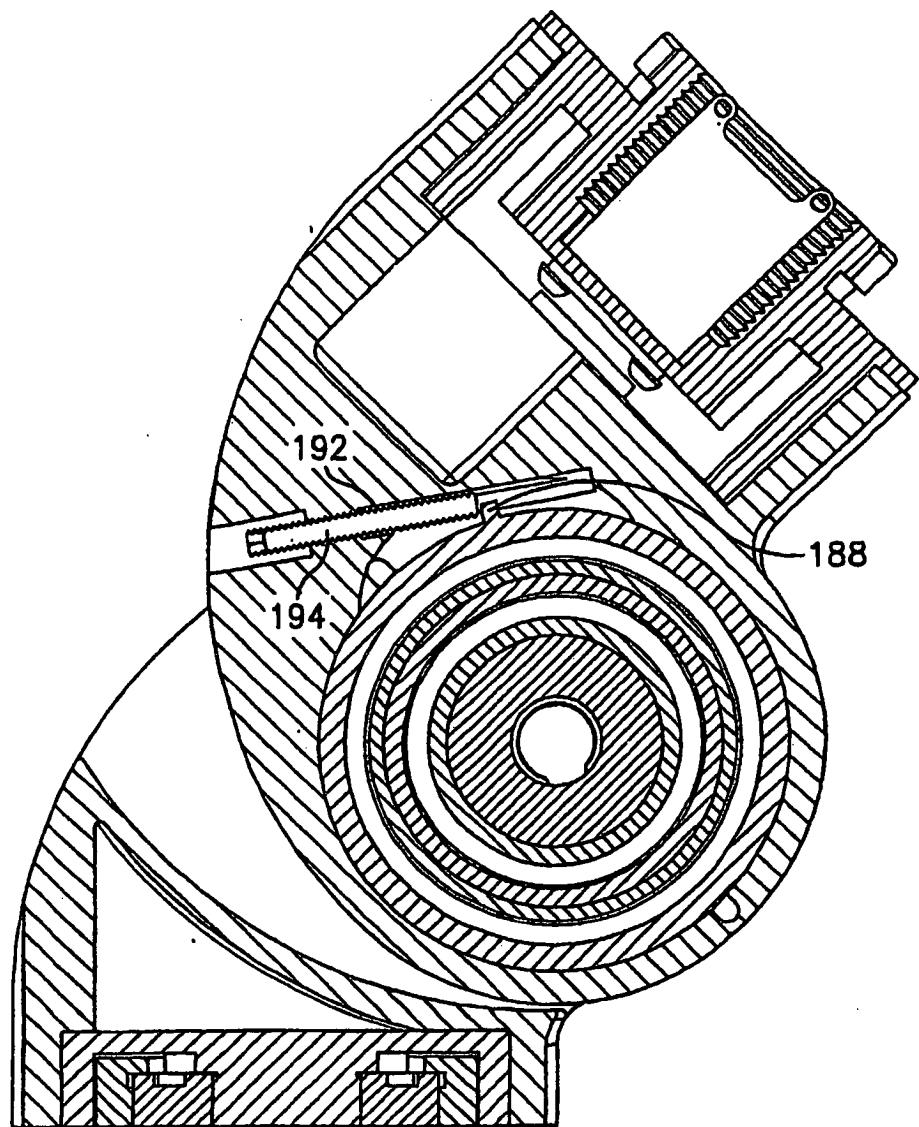


FIG. 27B



***FIG. 28***

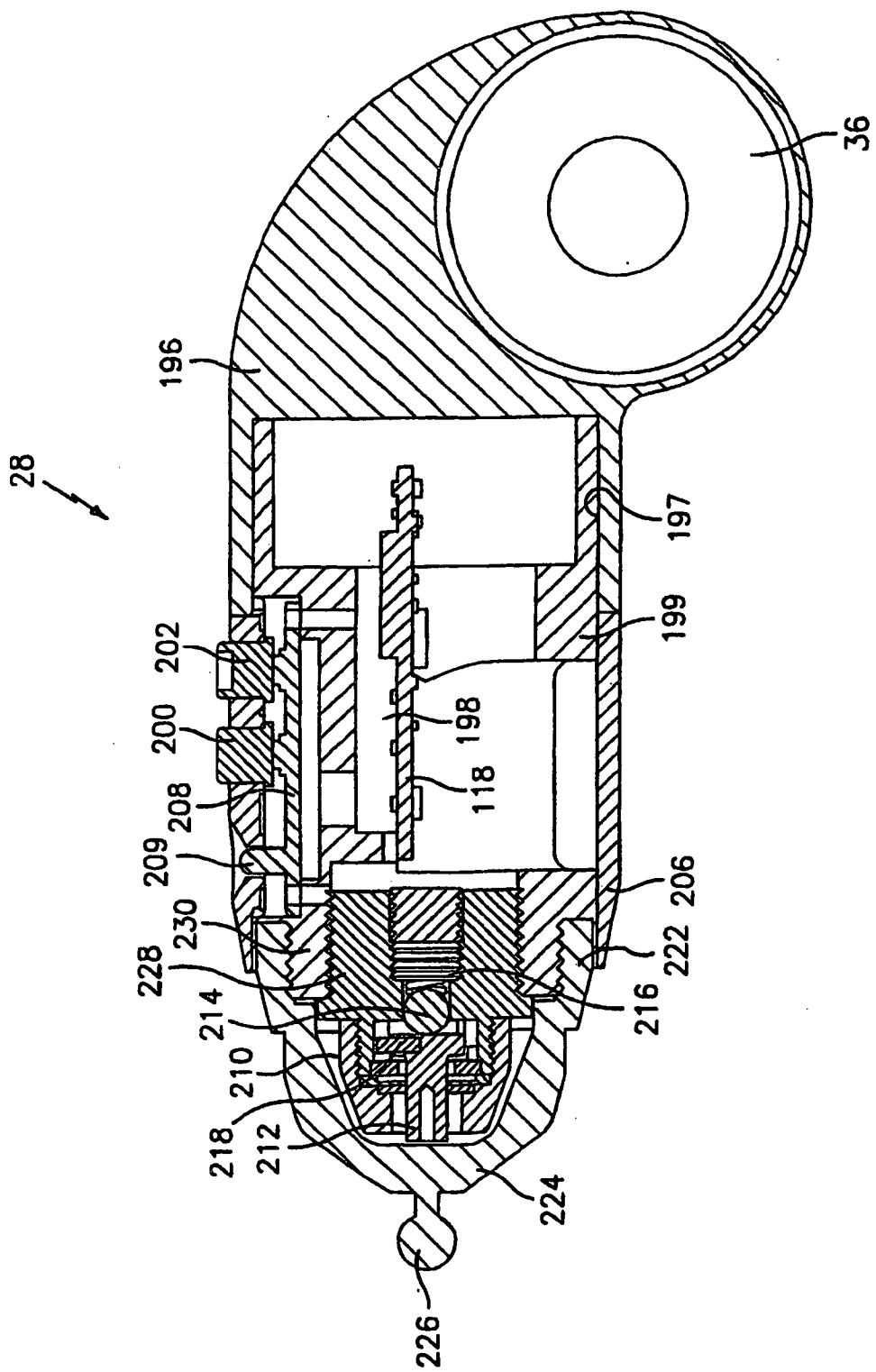
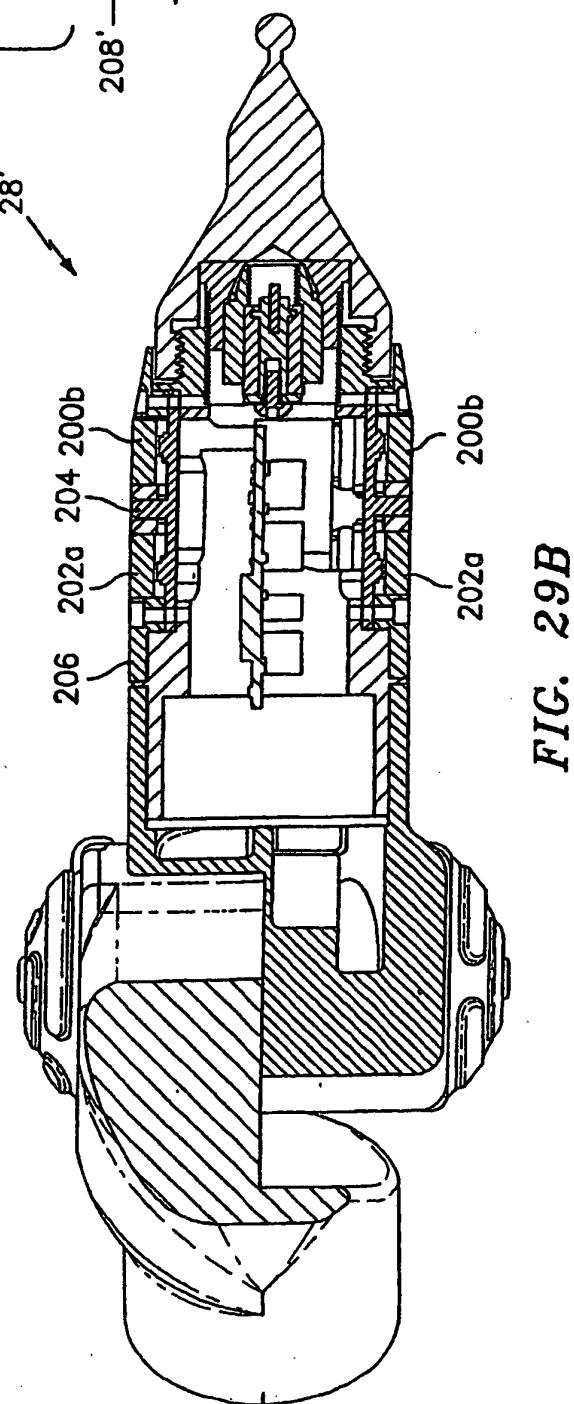
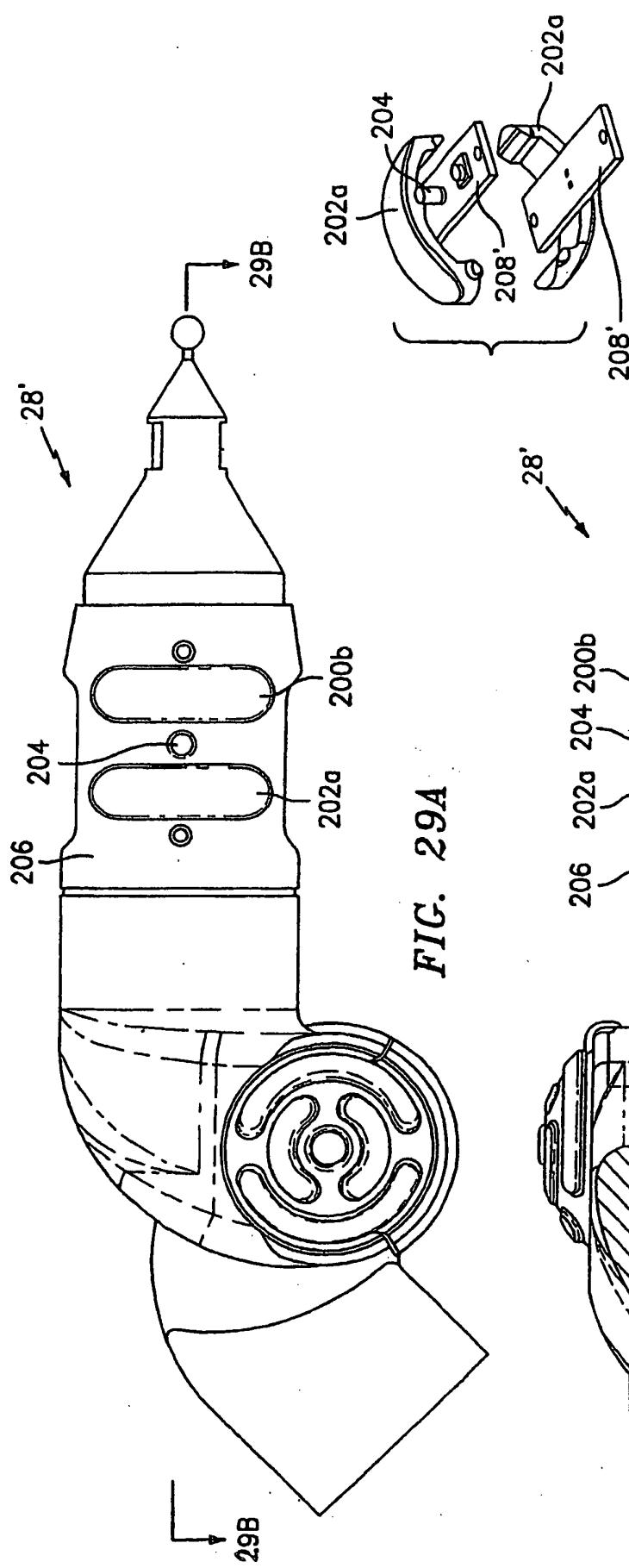
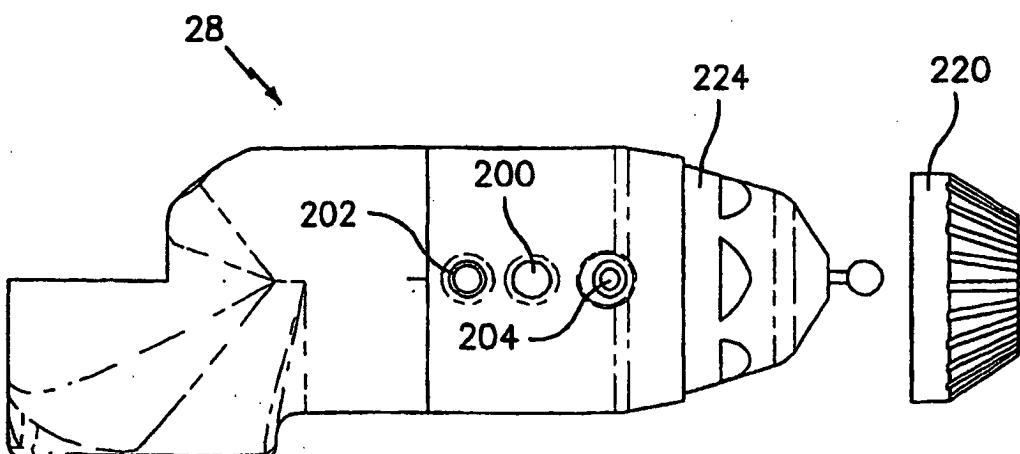
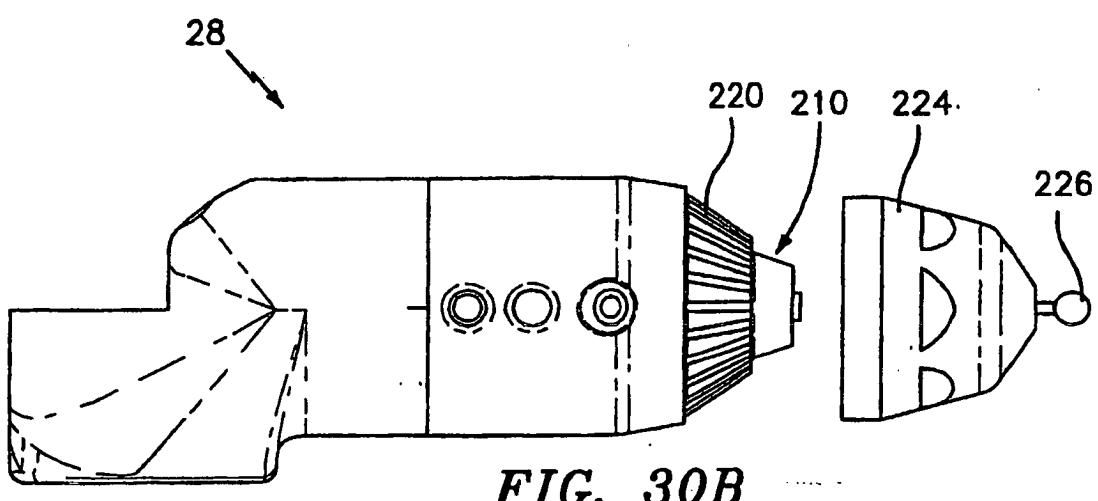
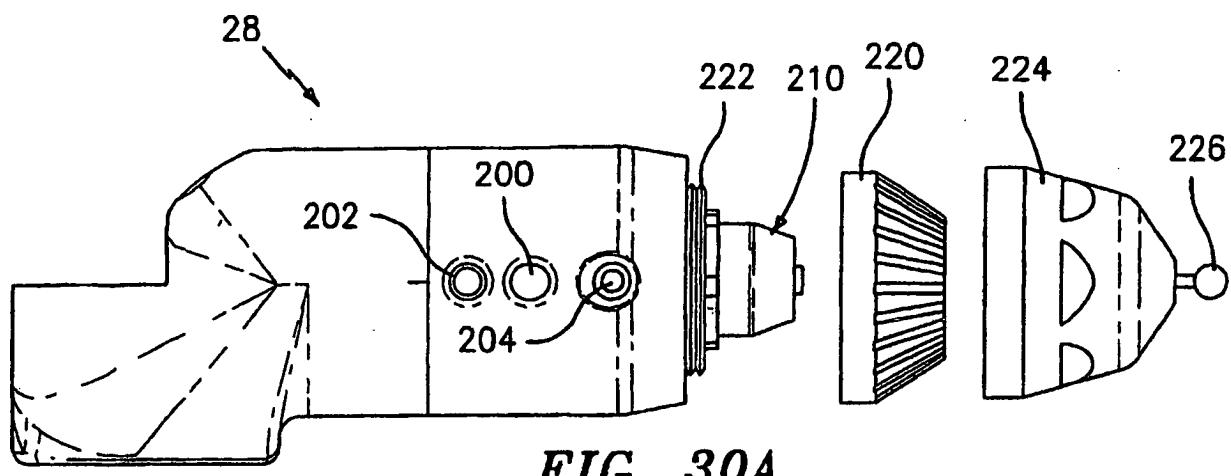


FIG. 29





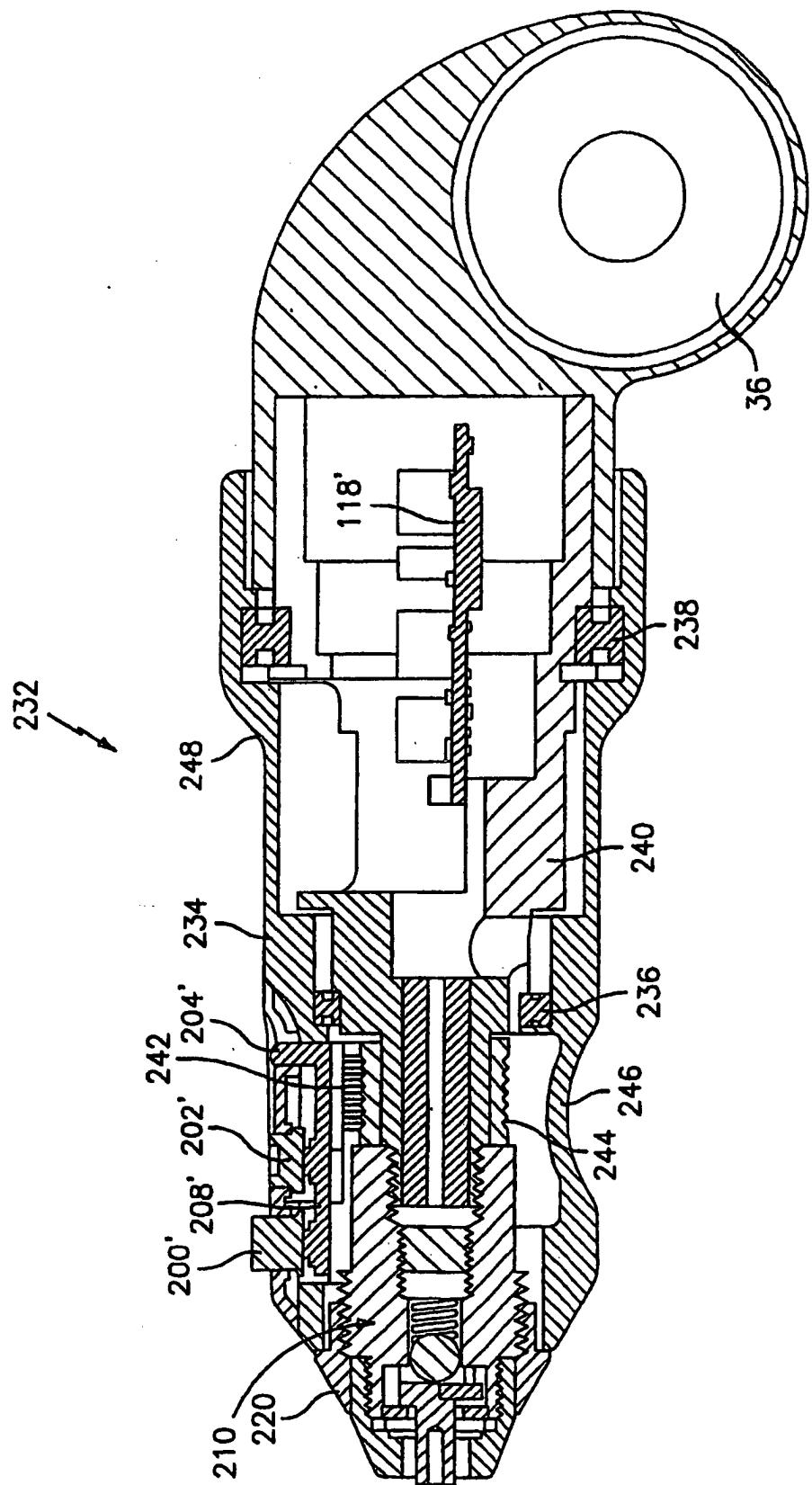
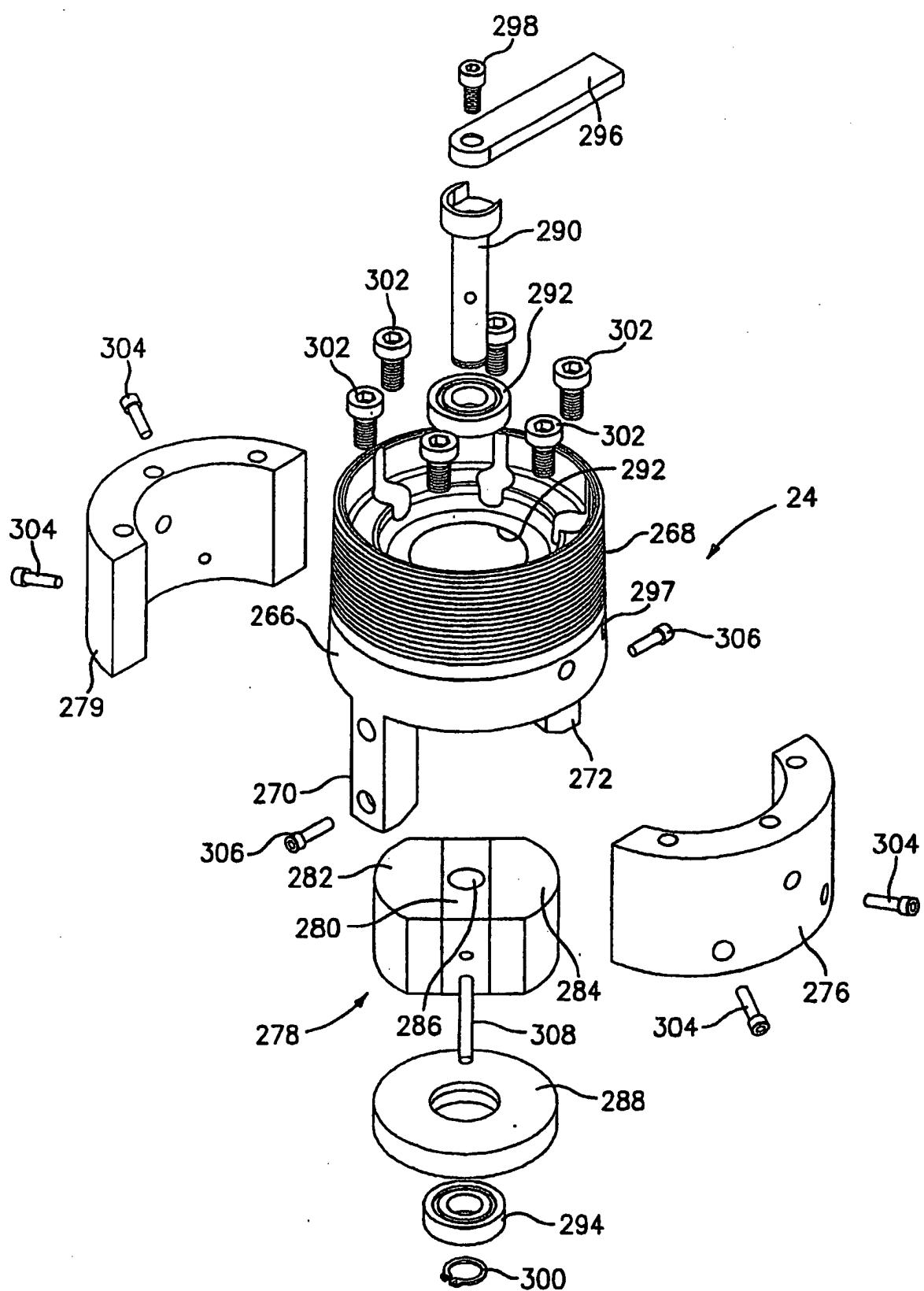
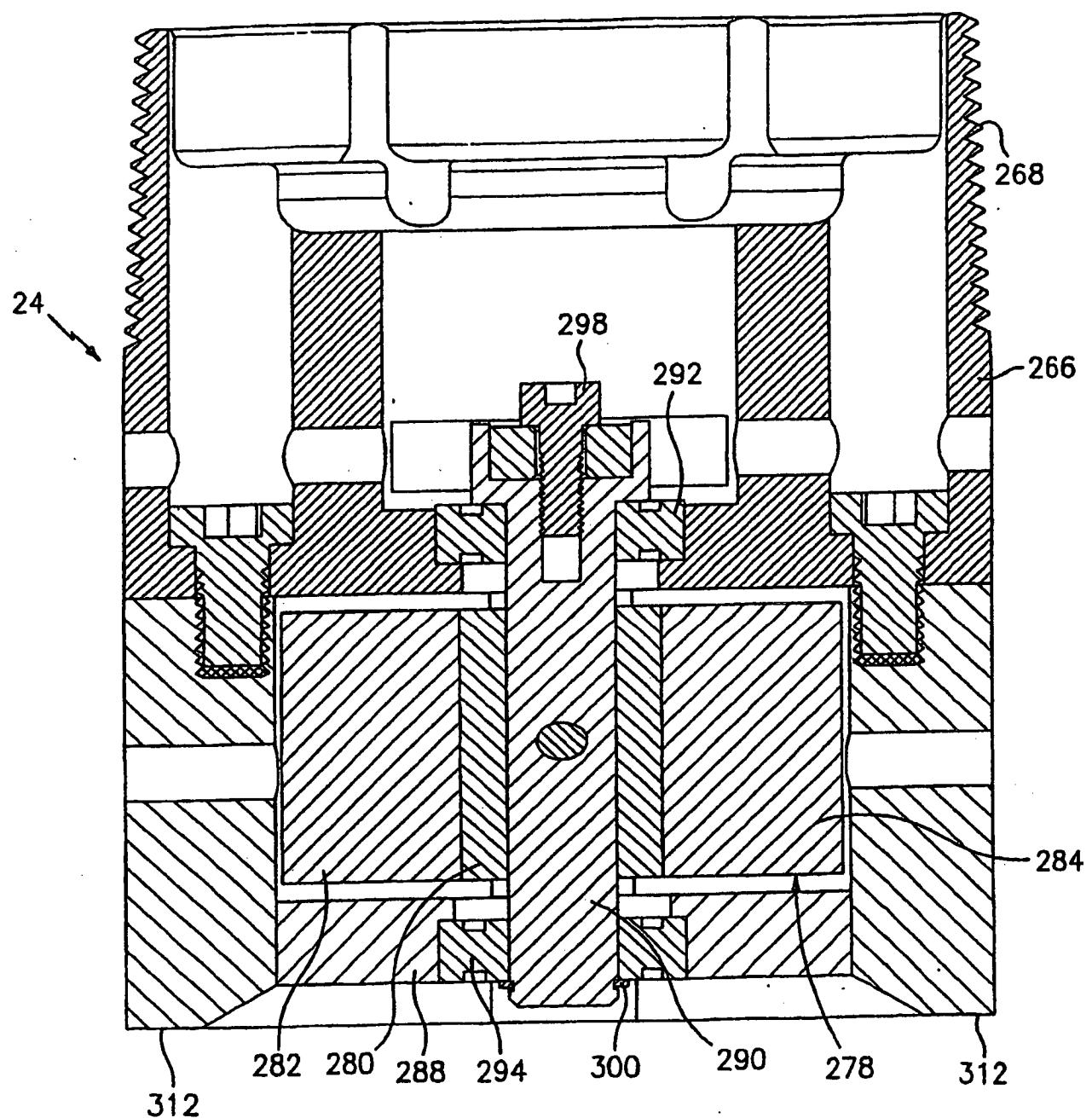


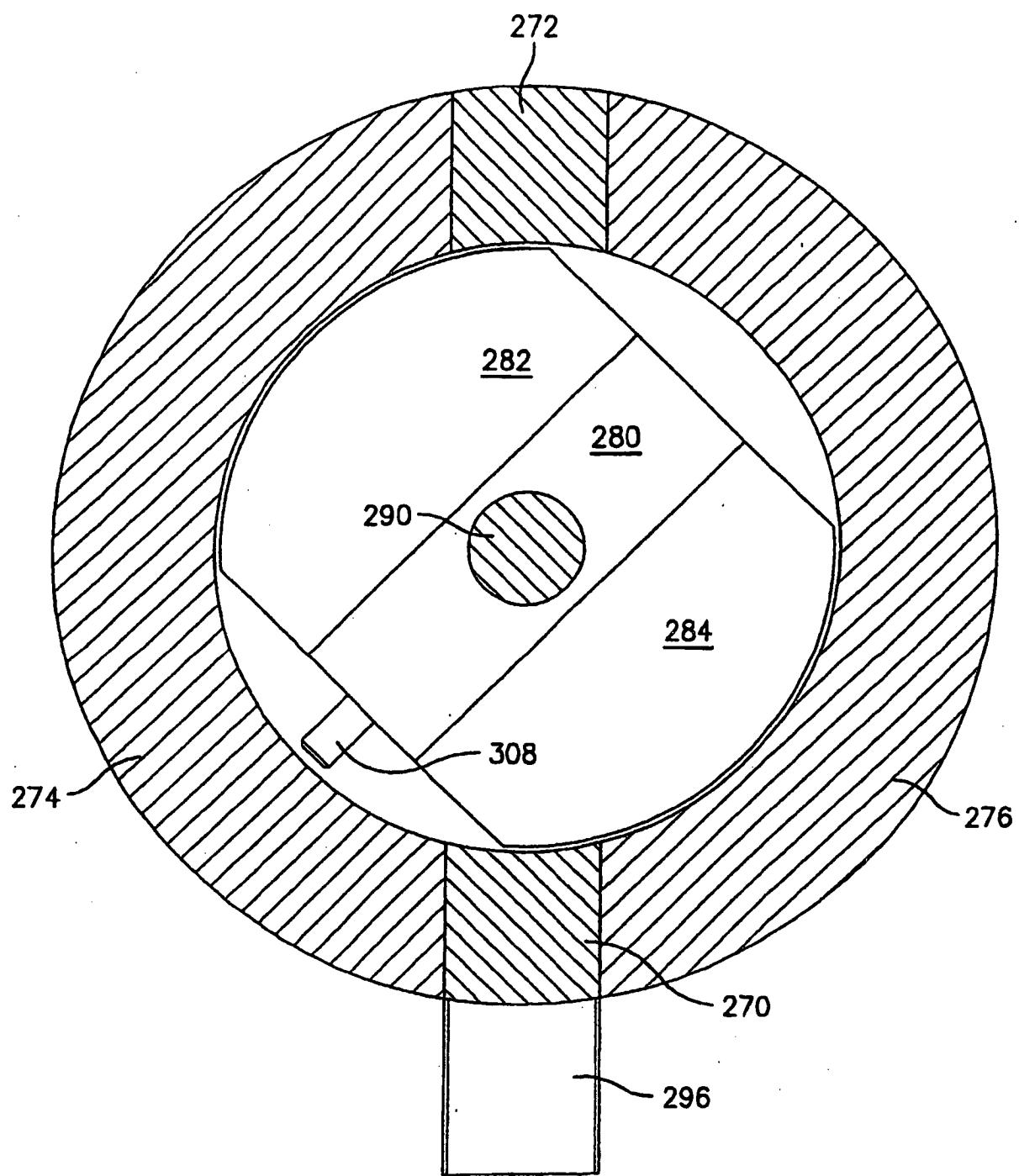
FIG. 31



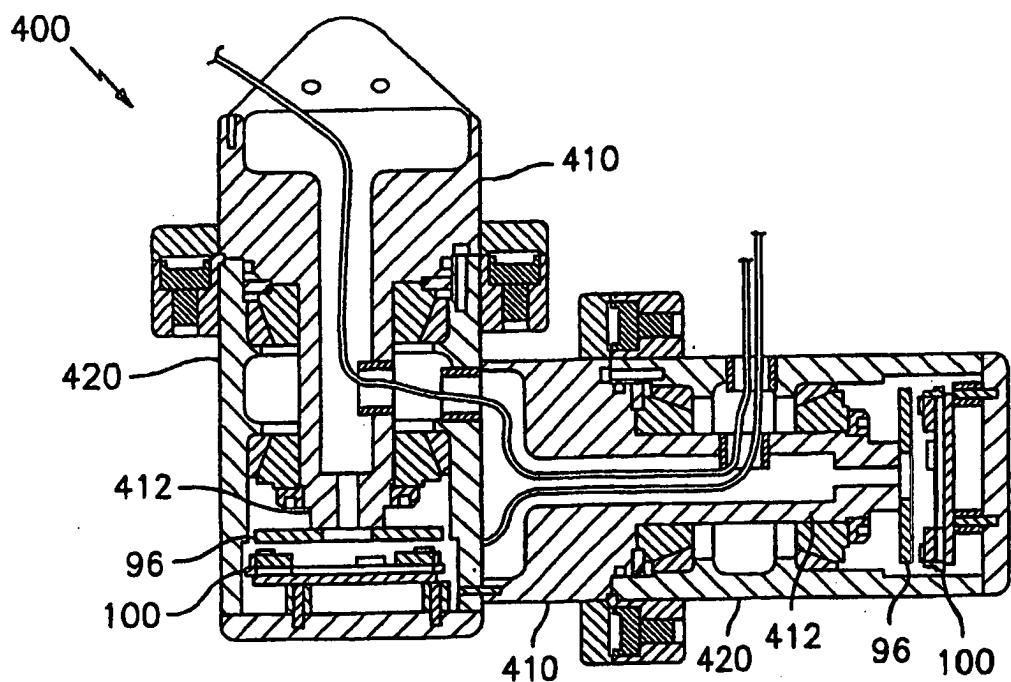
**FIG. 32**



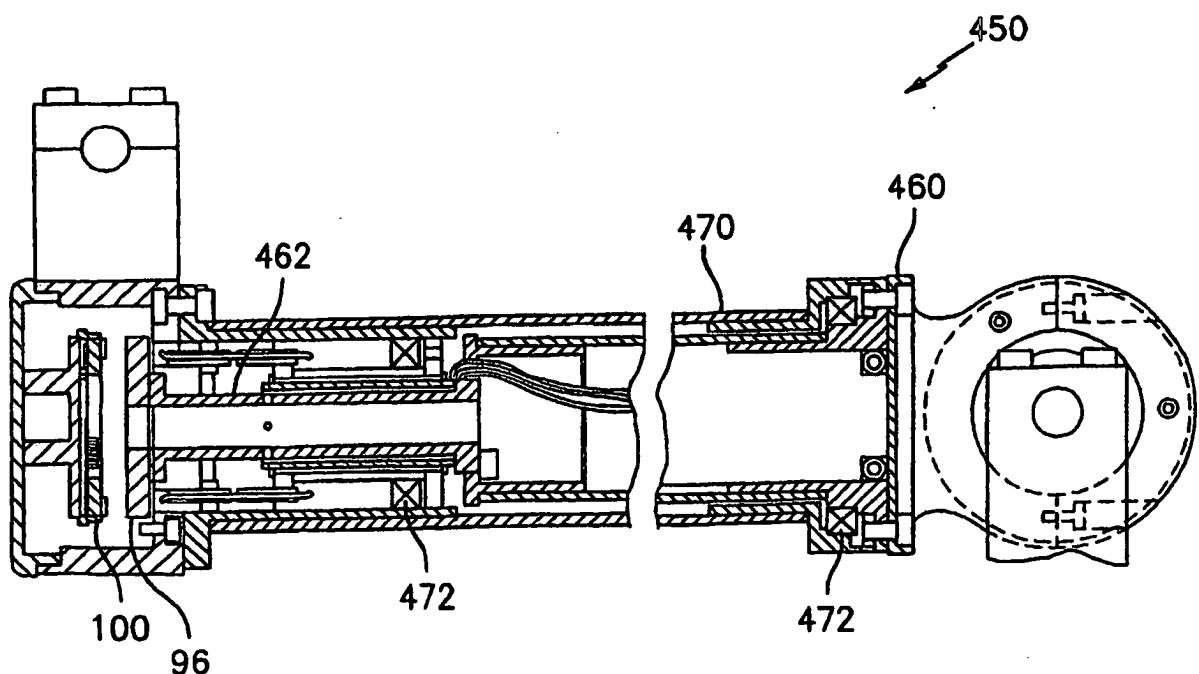
*FIG. 33*



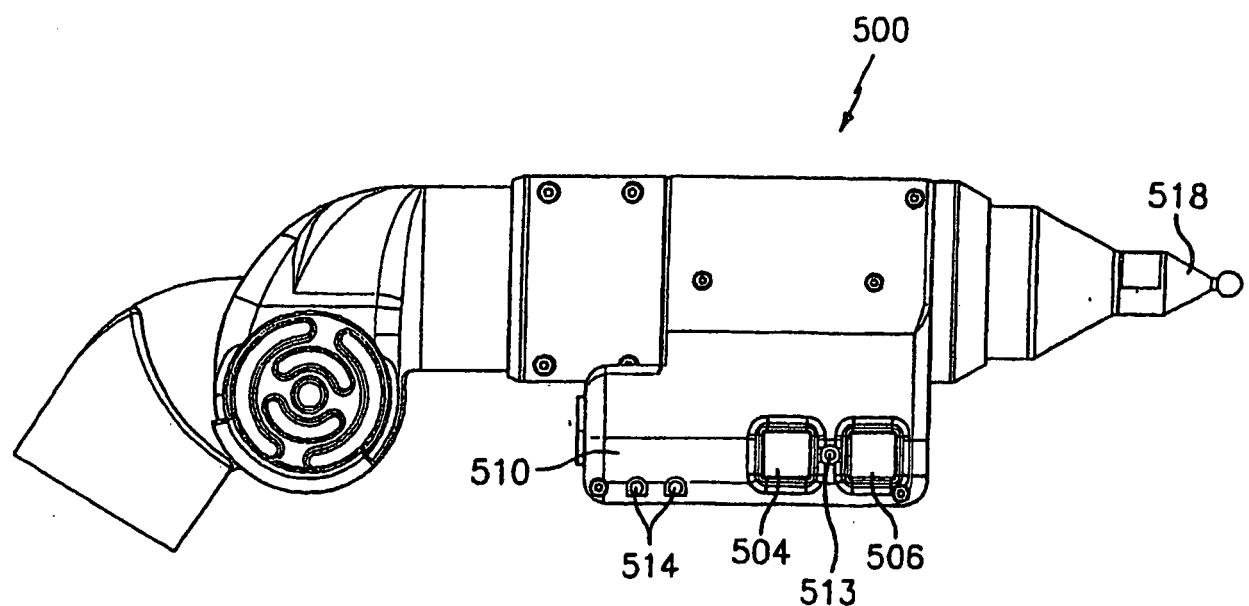
*FIG. 34*



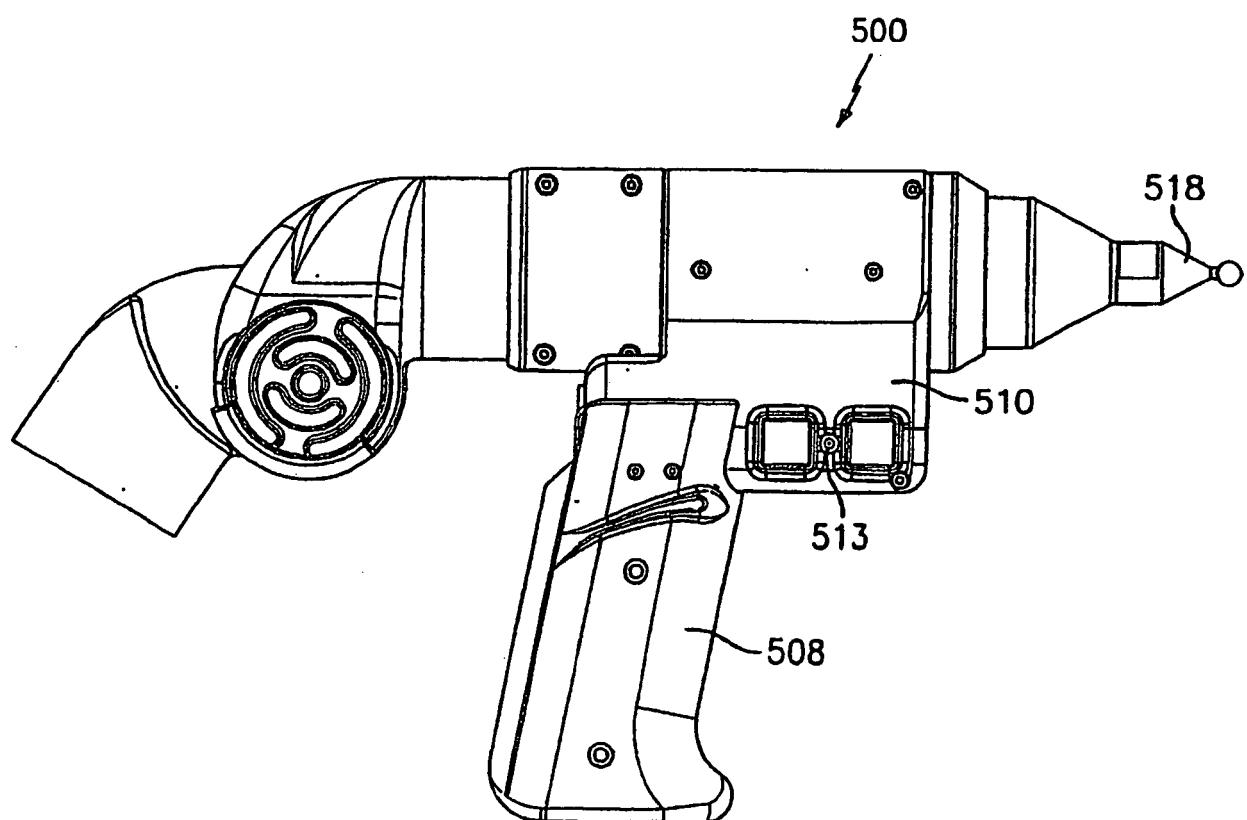
**FIG. 35**



**FIG. 36**



*FIG. 37*



*FIG. 38*

