(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 32 304 T2** 2004.10.21

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 837 649 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 32 304.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US95/08225**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 926 136.3**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 96/039935**
(86) PCT-Anmeldetag: **10.07.1995**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **19.12.1996**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.04.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **10.12.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.10.2004**

(51) Int Cl.[7]: **A61B 5/00**

(30) Unionspriorität:
484904 **07.06.1995** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:
Grable, Richard J., Sunrise, Fla., US

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

(74) Vertreter:
Leine & Wagner, 30163 Hannover

(54) Bezeichnung: **SCHICHTBILDER ERZEUGENDES LASERDIAGNOSTIKGERÄT**

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 eingelegt, 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

[0001] Die Erfindung betrifft ein medizinisches, bilderzeugendes Diagnosegerät, insbesondere eine Einrichtung zur Durchführung von Mammographien, die gepulste Infrarotlaser als Strahlungsquelle verwendet.

[0002] Brustkrebs ist eine Haupttodesursache der weiblichen amerikanischen Bevölkerung. Eine wirksame Behandlung dieser Krankheit ist erst nach einer Früherkennung bösartiger Tumorgeschwüre möglich. Die Hauptanstrengungen konzentrieren sich gegenwärtig darauf, Massenuntersuchungen der Bevölkerung auf Symtome von Brusttumorgeschwüren durchzuführen. Derartige Massenuntersuchungen erfordern hochentwickelte, automatische Einrichtungen, um zuverlässig den Untersuchungsprozeß durchzuführen.

[0003] Die Auflösung absorbierter Röntgenstrahlen der gegenwärtigen Röntgenfotografieverfahren ist ungenügend, um eine ausreichende Früherkennung von bösartigen Brusttumorgeschwüren zu gewährleisten. Untersuchungen haben gezeigt, daß die Wahrscheinlichkeit der Metastasenbildung bei Brusttumorgeschwüren über 1 cm Größe stark zunimmt. Tumorgeschwüre dieser Größe erzeugen selten ausreichenden Kontrast in einer Mammographie, um erfaßt zu werden. Um einen erfaßbaren Kontrast in einer Mammographieaufnahme zu erhalten, sind Abmessungen von 2–3 cm erforderlich. Kalziumeinlagerungen, die zur indirekten Erfassung von Tumorgeschwüren bei der konventionellen Mammographie verwendet werden, treten nur in Zusammenhang mit Tumorgeschwüren großer Größe auf. Aus diesen Gründen ist unter diesen Bedingungen die bildgebende Mammographie relativ ineffektiv bei der Erfassung.

[0004] Die meisten Mammographieeinrichtungen, die zur Zeit in Kliniken und Hospitälern verwendet werden, erfordern Brustkompressionstechniken, die unkomfortabel und häufig schmerzvoll für die Patientinnen sind. Zusätzlich erzeugen Röntgenstrahlen ionisierende Strahlung, die einen weiteren Risikofaktor bei der Verwendung von Mammographietechniken, wie sie heute generell verwendet werden, einführt.

[0005] Die Verwendung von Ultraschall wurde in der US 4,075,883 vorgeschlagen, was erfordert, daß die Brust in einer mit Flüssigkeit gefüllten Untersuchungskammer eingetaucht ist. US 3,973,126 erfordert ebenfalls, daß die Brust in eine mit Flüssigkeit gefüllte Kammer für ein Röntgenstrahlabtastverfahren eingetaucht ist.

[0006] Die EP-A-0 336 208 offenbart eine Abtastkammer zur Verwendung beim Abtasten von menschlichem Gewebe mit einem Rahmen, einer Laserquelle zur Erzeugung eines das Gewebe durchdringenden Laserstrahls, Fotodetektoren, die denen angepaßt sind, den Laserstrahl nach Durchdringen des Gewebes zu detektieren, einer drehbaren Platte, wobei der Laserstrahl von der Platte derart ausgerichtet wird, daß der Laserstrahl einen kompletten Umlauf um die Öffnung vollführt, wenn die Platte sich in Drehung befindet, wobei die Fotodetektoren in einem Bogen auf der Platte angeordnet sind.

[0007] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine bildgebende Einrichtung bereitzustellen, die Licht und/oder Nahinfrarot in Verbindung mit einem Hochgeschwindigkeitslaser verwendet, so daß die Nachteile der aus dem Stand der Technik bekannten Röntgeneinrichtungen vermieden werden.

[0008] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Mammographieeinrichtung bereitzustellen, bei der die Patientin auf dem Bauch in einer nach unten gerichteten Position liegt, um die weibliche Brust in der Untersuchungskammer derart aufzunehmen, so daß das maximale Gewebevolumen ausgehend von der Behälterwand aufgenommen ist, um dadurch eine maximale exponierte Fläche ohne Kompression der Brust bereitzustellen.

[0009] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, eine bildgebende Lasereinrichtung bereitzustellen, die eine Avalanche-Fotodiode verwendet, die mit einem hochgenauen Integrator mit geringen Verlustströmen für ein empfindliches Erfassungssystem verbunden ist.

[0010] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, eine bildgebende Lasereinrichtung mit einer Multiplextechnik bereitzustellen, um ein effektives Sammeln der Untersuchungsdaten zu ermöglichen.

[0011] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, eine bildgebende Lasereinrichtung bereitzustellen, die nahinfrarote Laserimpulse mit Femtosekunden Pulsweite verwendet.

[0012] Erfindungsgemäße Mammographieeinrichtungen umfassen eine nichtionisierende Strahlungsquelle mit sehr kurzen Impulsen im Nah-Infrarot-Wellenlängenbereich ausgehend von einem Festkörperlaser, der von einem Gaslaser angeregt wird. Der Patient liegt nach unten gerichtet auf einer horizontalen Plattform, wobei

eine Brust sich durch eine Öffnung in der Plattform erstreckt, um frei in eine Abtastkammer herabzuhängen. Ein optisches System wandelt die Laserimpulse in einen horizontal fächerförmig geformten Strahl um, der das Brustgewebe durchdringt. Die Brust wird um volle 360 Grad, beginnend an dem Abschnitt der Brust abgetastet, der am nahesten des Körpers der Patientin ist, und wird schrittweise nach unten vertikal fortgeführt, wobei die Abtastung bei jedem vertikalen Schritt wiederholt wird, bis eine komplette Abtastung der vollständigen Brust komplettiert wurde. Diese Lichtimpulse werden nach dem Durchdringen des Brustgewebebes erfaßt, in ein elektrisches Signal umgewandelt und aufgezeichnet und/oder angezeigt, um ein normales oder abnormales Bild des Brustgewebes bereitzustellen.

[0013] Diese und andere Vorteile der Erfindung werden durch die folgende detaillierte Beschreibung offensichtlich. Die Erfindung ist durch den angefügten Satz von Patentansprüchen definiert.

[0014] **Fig.** 1 ist eine perspektivische Ansicht der Erfindung und zeigt die einen Patienten tragende Plattform und die Bedienkonsole;

[0015] **Fig.** 2 ist eine teilweise als Schnittdarstellung ausgeführte Seitenansicht der Patiententragplattform der **Fig.** 1 und zeigt eine Patientin, die für eine mammographische Untersuchung angeordnet ist, wobei eine der Brüste in der Abtastkammer angeordnet ist;

[0016] **Fig.** 3A ist eine teilweise Schnittdarstellung einer Seitenansicht der Abtastkammer;

[0017] **Fig.** 3B ist eine schematische Darstellung der Abtastkammer in **Fig.** 3A;

[0018] **Fig.** 4 ist eine Draufsicht auf die Abtastkammer, die die Brust der Patientin umläuft;

[0019] **Fig.** 5 ist eine perspektivische Darstellung eines obersten Abschnitts der Abtastkammer in **Fig.** 4;

[0020] **Fig.** 6 ist eine vergrößerte Darstellung der Abstützvorrichtung für die drehbare Platte, die Teile der Abtasteinrichtung trägt;

[0021] **Fig.** 7 ist eine schematische perspektivische Darstellung eines Fotodiodendetektorenarrays, das in der Erfindung verwendet wird;

[0022] **Fig.** 8A und 8B sind schematische Schaltdiagramme der Detektorschaltkreise, die in der Erfindung verwendet werden;

[0023] **Fig.** 9 ist ein Funktionsblockdiagramm des elektrischen Systems, das in der Erfindung verwendet wird;

[0024] **Fig.** 10 ist ein Funktionsblockdiagramm der Detektorelektronik und Multiplexer in **Fig.** 9;

[0025] **Fig.** 11 ist eine schematische Aufsicht auf eine drehbare Platte, die den drehenden Polygonspiegel trägt und zeigt einen fächerförmigen Laserstrahl, der durch den rotierenden Spiegel an einer von 4000 Positionen der rotierenden Platte erzeugt wird;

[0026] **Fig.** 12 ist ein Ablaufdiagramm der Datenerfassung, die in der Erfindung verwendet wird;

[0027] **Fig.** 13 ist ein Ablaufdiagramm der in der Erfindung verwendeten Datenrekonstruktion;

[0028] **Fig.** 14 ist ein Beispiel eines Abbildes einer weiblichen Brust unter Verwendung der Erfindung;

[0029] **Fig.** 15 ist ein elektrisches Schaltkreisdiagramm eines Halte- und Zeitgatterschaltkreises;

[0030] **Fig.** 16 ist ein Schaltkreisdiagramm eines Laserimpulsaufnahmeschaltkreises, der in der Erfindung verwendet wird;

[0031] **Fig.** 17A ist ein Funktionsblockdiagramm eines Haltekontrollschaltkreises, der einen Ausgang für den Halte- und Zeitgatterschaltkreis der **Fig.** 15 bereitstellt;

[0032] **Fig.** 17B ist eine typische Antwortkurve eines Fotodetektors und zeigt die Anstiegskante der Kurve, an der die Messung während der Datenerfassung durchgeführt wird;

[0033] **Fig.** 18A ist eine Darstellung einer Folge von Laserimpulsen;

[0034] **Fig.** 18B ist eine Darstellung der Antwort des Avalanche-Fotodiodendetektors auf die Pulsfolge der **Fig.** 18A;

[0035] **Fig.** 18C ähnelt **Fig.** 18B und zeigt die Auswahl eines Komparatorschwellwertes;

[0036] **Fig.** 18D ist eine Darstellung einer Impulsfolge, basierend auf dem Komparatorschwellwert der **Fig.** 18C;

[0037] **Fig.** 19 ist eine Darstellung der Antwort der Avalanche-Fotodetektoren auf eine Laserimpulsfolge, die Luft durchdrungen hat;

[0038] **Fig.** 20 ist eine Darstellung der Antwort der Avalanche-Fotodiodendetektors auf eine ein Medium verlassende Laserimpulsfolge, wie Brustgewebe;

[0039] **Fig.** 21 ist eine schematische Darstellung des Abstandes, der zur Kalkulation der Ankunftszeit der Laserimpulse verwendet wird;

[0040] **Fig.** 22 ist eine perspektivische Darstellung einer weiteren Ausführungsform der Tragstruktur für eine orbitalförmige Platte, die in der Erfindung verwendet wird;

[0041] **Fig.** 23 ist eine perspektivische Darstellung mit entfernten Bestandteilen des Antriebsmechanismus' zum Absenken oder Anheben der Stützplatte, die in **Fig.** 22 gezeigt ist;

[0042] **Fig.** 24 ist ein Querschnitt durch die Stützplatte der **Fig.** 22 mit einer orbitalförmigen Platte, die in der Montageposition eingebaut ist;

[0043] **Fig.** 25 ist eine perspektivische Darstellung mit entfernten Abschnitten der orbitalförmigen Platte, die in der Stützstruktur der **Fig.** 22 verwendet wird und zeigt die Anordnung der Optik, die in der Erfindung verwendet wird;

[0044] **Fig.** 26A ist eine schematische Darstellung von das Gewebe durchdringenden Photonen und zeigt die ballistischen, schlangenförmigen oder diffusen Bahnen der Photonen durch das Gewebe;

[0045] **Fig.** 26B ist eine typische Antwortkurve eines Avalanche-Fotodetektors und zeigt die von ballistischen, schlangenförmigen oder diffusen Photonen erzeugte Abschnitte nach dem Verlassen des Gewebes;

[0046] **Fig.** 27A ist eine schematische Darstellung der Ankunftszeit des Laserstrahls an dem Detektor im freien Raum; und

[0047] **Fig.** 27B ist eine schematische Darstellung der Ankunftszeit des Laserstrahls an den Detektoren beim Durchdringen von Gewebe.

[0048] **Fig.** 28 ist eine schematische Darstellung, die einen oszillierenden Spiegel zeigt, der durch ein Galvanometer angetrieben wird, um einen Laserstrahl über den Abtastkreis zu verschwenken.

[0049] Bezugnehmend auf die **Fig.** 1 und 2 umfaßt eine erfindungsgemäße Einrichtung R gemäß der Erfindung eine Bedienkonsole **10**, die Bildschirme **12** und **14** umfassen kann. Eine Tragplattform **16** für Patienten liegt über eine Verkleidung **18**, die die Elektronik und Optik der Erfindung aufnimmt. Die Plattform **16** weist eine Öffnung **20** auf, die es erlaubt, eine der Brüste **15** einer Patientin durch die Öffnung zu positionieren und in der Abtastkammer **22** herabzuhängen. Ein von einem Argon-Ion-Pumplaser **21** und einem Ti:Saphirlaser **23** erzeugter Laserstrahl wird verwendet, um die Brust der Patientin in der Abtastkammer **22** abzutasten.

[0050] Eine detaillierte Beschreibung des Abtastmechanismus' in der Abtastkammer **22** wird nun gegeben. Bezugnehmend auf die **Fig.** 3A, 4, 5 und 6 ist eine offene Oberseite, wobei ein Kastenbauteil **24** unmittelbar unterhalb der Öffnung **20** in der Plattform **16** angeordnet und beinhaltet die Abtastkammer **22**, deren vertikale Achse an der Mitte der Öffnung **20** ausgerichtet ist. Eine ringförmige Platte **26** ist für Drehungen in der Kammer **22** auf Stützen **28** und **30** (**Fig.** 6) getragen, die ihr erlauben, schrittweise oder indiziert um das Innere der Abtastkammer **22** zu rotieren. Der indizierte Antrieb zum Erzeugen dieser Drehung ist mit Bezugszeichen **32** in

Fig. 4 versehen.

[0051] Ein Tellerrad **33**, das an dem Umfang der ringförmigen oder orbitalförmigen Platte **26** befestigt ist, wirkt mit dem Antrieb **32** zusammen, um die orbitalförmige Platte **26** indiziert zu drehen, wie in **Fig.** 4 gezeigt. Die Abtastkammer **22** kann vertikal abwärts von der obersten Position, wie in **Fig.** 3 gezeigt, durch Mittel wie mit Gewinde versehenen Antriebsstangen **34** bewegt werden, die wirksam an dem Kastenbauteil **24** an Verbindungspunkten **36** und Muttern **37** befestigt sind. Die Antriebsmotoren **39** sind wirksam mit den mit Gewinde versehenen Stangen **34** durch konventionelle Mittel wie Treibriemenanordnung **41** verbunden, wie in **Fig.** 3 gezeigt. Drehung der mit Gewinde versehenen Stangen **34** bewirkt das Absenken oder Anheben der Abtastkammer **22**. Die Antriebsmotoren **39** sind an dem Kastenbauteil **24** durch Standardmittel, wie Klammern, befestigt und werden durch einen Motor **43** gesteuert.

[0052] Bezugnehmend auf die Optik der Einrichtung R trägt die ringförmige Platte **26** an ihrer oberen Oberfläche einen Polygon-Multifacetten-Spiegel **38**, wie in den **Fig.** 3, 4 und 5 gezeigt. Der Spiegel **38** ist um seine eigene vertikale Achse drehbar. Ein Ring **45** von Fotodetektor-Arrays **40** ist an der oberen Oberfläche der Abtastkammer **22** angeordnet und umläuft den Pfad, der von dem Spiegel **38** zurückgelegt wird, wenn er sich entlang des orbitalförmigen Pfades bewegt, der durch die Umdrehung der Platte **26** erzeugt wird. Die Arrays **40** sind befestigt und stationär angeordnet in bezug zu der Abtastkammer **22**. Der Ring **45** ist vorzugsweise konzentrisch zu der orbitalen Bahn des Spiegels **38**.

[0053] Die Schrittmotoren **39** werden verwendet, um die Schrauben **34** zu drehen, um die Abtastkammer **22** nach jeder kompletten orbitalen Bewegung des Polygon-Spiegels **38** durch sukzessive Zunahme oder in dünnen Schichten vertikal abwärts zu bewegen, um sukzessive die exponierten Abschnitte der Brust des Patienten der gepulsten Laserstrahlung auszusetzen, bis die gesamte Brust bestrahlt wurde.

[0054] Die Laser **23** und **21**, die die Strahlung für das Abtasten der Brust liefern, können in der Verkleidung **18** angeordnet sein, wie in **Fig.** 2 gezeigt. Das kohärente gepulste Licht von den Festkörperlasern wird von den Lasern auf den Polygon-Multifacetten-Spiegel **38** durch Mittel wie eine Reihe von Spiegeln und Prismen gelenkt. Der drehende Polygon-Spiegel **38** erhält die Laserstrahlintensität, aber verursacht keine Divergenz des Strahls und hält die kontrollierte Ausrichtung zwischen dem projizierten Laserstrahl und dem jeweiligen Detektor **62** aufrecht. Ein Spiegel **46** richtet den ankommenden Laserstrahl **44** auf einen Spiegel **48**, der den Strahl zu einem Stapel von keilförmigen Prismen **50** lenkt, die den Strahl an einem Winkel drehen und ihn durch eine Öffnung **52** in der orbitalförmigen Platte **26** richten. Zwei zusätzliche Spiegel **54** und **56**, die an der Platte **26** befestigt sind, lenken den Strahl zu dem drehenden Polygon-Spiegel **38** um, der einen fächerförmigen Strahl **55** für jede Umlaufposition des Spiegels **38** erzeugt, wie in den **Fig.** 4 und 5 gezeigt. Ein Gestell **35** wird von der Platte **26** getragen und trägt die Kantenprismen **50**. Das Gestell **35** rotiert mit der Platte **26**, so daß die Kantenprismen **50** immer auf die gleiche Art in bezug zu der Platte **26** ausgerichtet sind, wenn sie rotieren.

[0055] Bezugnehmend auf **Fig.** 3B wird die Drehgeschwindigkeit des Multifacetten-Spiegels **38** verwendet, um den fächerförmigen Laserstrahl zu erzeugen, der durch Systemelektroniken **55** kontrolliert wird und auf einer konstanten Geschwindigkeit gehalten wird. Eine hohle Gleitring-Baugruppe **53** wird verwendet, um die Elektroniksignale dem Polygon-Antriebsmotorcontroller **55** zuzuführen. Während der Polygon-Spiegel **38** im Inneren des Gehäuses rotiert, wird die ganze Spiegel-Baugruppe um die Umlaufbahn im Inneren des Rings der Detektor-Arrays **40** gedreht. Die Umlaufgeschwindigkeit der Polygon-Spiegel-Baugruppe (nicht die Geschwindigkeit der Umdrehung des Spiegels selbst) wird durch den Antriebsmotor **32** kontrolliert und seinen Motorcontroller. Die orbitale Position der Polygon-Spiegel-Baugruppe wird durch die Verwendung eines Heim-Detektor **57** und eines Dreh-Encoders des Antriebsmotors **32** bestimmt. Der Heim-Encoder stellt einen starren Referenzpunkt zur Verfügung, der in Verbindung mit dem Dreh-Encoder verwendet wird, um die Position der Polygon-Baugruppe **38** zu bestimmen. Daher sind für jeden Ort an der Umlaufbahn der Polygon-Baugruppe **38** die Detektoren **62** in dem Detektor-Ring, die durch den fächerförmigen Laserstrahl **55** bestrichen werden, bestimmt.

[0056] Femtosekundenlange Impulse (annäherungsweise 106 fs Dauer) Nah-Infrarot-Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 800 bis 900 Nanometer (nm) werden von dem Ti:Saphir-phasengesteuerten Laser **23** produziert. Die durchschnittliche Laserleistung beträgt 750 Milliwatt (mw) mit einer Wiederholungsrate von annäherungsweise 76,5 Megahertz (MHz). Die Energie, die in jedem Laserimpuls enthalten ist, beträgt annäherungsweise 9,9 Nanojoules (nj) und die Impulsenergie beträgt 67 Kilowatt (kw). Der Ti:Saphirlaser **23** wird durch einen 7 Watt Argonlaser **21** unter Verwendung aller Spektrallinien angeregt.

[0057] Durch Drehen des Polygon-Spiegels **38** mit hoher Geschwindigkeit, z. B. in der Größenordnung von

6000 Umdrehungen pro Minute, wird der fächerförmig geformte Strahl **55** erzeugt, und die Weite des Fächers ist derart, daß annäherungsweise 25% des Fotodioden-Detektor-Arrays **40** an jeder indizierten Drehposition der Platte **26** beleuchtet werden. Vorzugsweise ist der Spiegel **38** an 4000 Positionen um den 360-Grad-Kreis indiziert. Dieses Abtastmuster wird dann in verschiedenen vertikalen, niedrigeren Positionen sukzessive oder in dünnen Scheiben wiederholt, bis die Abtastkammer von dem Antriebsmotor **39** nach unten indiziert abgesenkt ist.

[0058] Die Laserstrahl-Detektor-Arrays **40** sind in den Ring **45** an der oberen Oberfläche der Abtastkammer **22** und um die herabhängende Brust angeordnet, wie in **Fig.** 3, 4 und 5 gezeigt. Jedes Array **40** umfaßt eine Anzahl von Avalanche-Fotodioden **62**, wie in **Fig.** 7 gezeigt. Die Anzahl der Fotodioden **62** gibt die Anzahl der fächerförmigen Laserstrahlprojektionen vor, die erfaßt werden können, wenn der fächerförmige Laserstrahl **55** über die Brust schwenkt.

[0059] Die Detektoren **62** von jedem Array **40** sind auf einem Substrat **64** angeordnet. Die Arrays **40** sind als Band eines Kreises um die orbitalförmige Platte **26** angeordnet, wie in **Fig.** 4 gezeigt. Jedes Array **40** hat 25 individuelle Avalanche-Fotodiodendetektoren **62**. Es sind 24 Detektor-Arrays **40**, die einen Ring von Laserstrahldetektoren bilden, die 600 Avalanche-Fotodiodendetektoren bereitstellen.

[0060] Jede der Fotodioden **62** ist mit einem Detektorschaltkreis **39** verbunden, wie in **Fig.** 8A gezeigt. Die Avalanche-Fotodioden **62** sind umgekehrt gebiased, um eine Verstärkung des detektierten Signals zu bewirken. Jeder umgekehrt gebiaste Detektor **62** wird als Stromquelle verwendet, wobei die bereitgestellte Stromstärke eine Funktion der Anzahl der Photonen **66** des Laserlichts ist, die auf jeden Detektor **62** auftreffen. Die Anzahl der Photonen, die jeden Detektor **62** erreichen, bilden einen großen dynamischen Bereich von ungeschwächt, wenn die Photonen nicht durch das Brustgewebe blockiert werden, bis zu signifikanter Schwächung, wenn die Photonen durch und eventuell aus der Brust heraustreten. Ein strombegrenzender Widerstand **68** wird verwendet, um die Stromstärke zu kontrollieren, die durch den Detektor **62** fließen kann und dadurch einen übergroßen Stromfluß verhindert, wenn der Laserstrahl unbeachtlich ist, was den Detektor **62** sonst zerstören könnte. Ein Entkopplungskondensator **70** geeigneter Größe wird verwendet, um Ladung zu speichern, um die für den Detektor **62** erforderliche Energie bereitzustellen, der auf eine schnelle steigende Folge von Impulsen der Photonintensität antwortet.

[0061] Der an jedem Detektor **62** bereitgestellte Strom wird an jedem Array **40** ein- oder ausgeschaltet an einen Operationsverstärkerschaltkreis **72** oder einen elektronischen Integrator **73**, wie in den **Fig.** 8A und 8B gezeigt. Der Operationsverstärkerschaltkreis **72** wird als Stromspannungswandler verwendet, um eine direkte Stromspannung am Ausgang **74** bereitzustellen, die proportional zu dem Eingangsstrom ist, die an jedem Detektor **62** bereitgestellt ist. Daher kann eine DC-Spannung erzeugt werden, um die Intensität des auf den einzelnen Detektor **62** auftreffenden Laserstrahls wiederzugeben.

[0062] Eine schnelle Schottky-Diode **76** bildet einen Schalter für jeden Detektor **62**. Die Schottky-Diode **76** wird ein- oder ausgeschaltet durch Leitung des Halteschaltkreises und wird untenstehend beschrieben, wobei sie am Punkt **77** verbunden ist.

[0063] Der Detektorschaltkreis **69** und verschiedene Kontrollschaltkreise, die erforderlich sind, um das Ausgangssignal jedes Detektors **62** zu kontrollieren, sind als Detektorelektronik **82** bezeichnet, wie in **Fig.** 9 gezeigt. Der Ausgang dieser Detektorelektronik **82** wird einem Multiplexer **84** zugeführt, wobei der Ausgang einem Analog/Digitalkonverter **86** zugeführt wird. Der Ausgang des Konverters **86** wird dann einem Computer **88** zugeführt. Die von der Detektorelektronik **82** aufgenommenen Daten werden von dem Computer **88** verwendet, um ein Bild der abgetasteten Brust durch Rekonstruktionsalgorithmen zu bilden, die unten beschrieben werden und aus der Computertomographietheorie abgeleitet sind. Die digitalisierten Scheibendaten werden zu einem Bild durch den Computer **88** unter Verwendung von Rekonstruktionsalgorithmen gewandelt, das dann an einem Monitor **90** in Monochrom oder Pseudo-Color wiedergegeben wird. Die unaufbereiteten Scheibendaten und Bilddaten können auf einer Festplatte **92** oder in einem anderen Speichermedium, unter Verwendung eines Diskettenlaufwerkes **94**, eines Bandlaufwerkes **96** oder eine CD-ROM-Laufwerkes **98** gespeichert werden.

[0064] Bezugnehmend auf **Fig.** 10, umfassen die Detektorelektronik **82** Detektorschaltkreise **69**, die von einem Halte- und Zeitgatterschaltkreis **102** kontrolliert werden, der durch einen Haltekontrollschaltkreis **104** kontrolliert wird. Der Haltekontrollschaltkreis **104** wird durch den Computer **88** und einen Impulsaufnahme-Schaltkreis **106** synchronisiert zu den Ausgangsimpulsen des phasengesteuerten Ti:Saphirlasers **23**. Nur die Anstiegskantenkomponente der Detektorantwortkurve der von dem fächerförmigen Laserstrahl **55** stimulierten

Detektoren, die durch die Brust durchdringen, werden von dem elektronischen Integrator **72** oder einem Operationsverstärker mit dem Detektorschaltkreis **69** aufgezeichnet, wie untenstehend beschrieben. Diese Technik erlaubt die Auswahl nur weniger, bestimmter Photonen und ist bedeutsam für die wirksame Arbeitsweise der Einrichtung R.

[0065] Es sind zwei Halte- und Zeitgatterschaltkreise **102** für jedes Detektor-Array **40** vorgesehen, wobei jeder Detektor **62** in einem Detektorschaltkreis **100** enthalten ist.

[0066] Ein Multiplexer-Schaltkreis **108** ist für jedes Detektor-Array **40** vorgesehen. Jedes Detektor-Array hat 25 Fotodiodendetektoren **62**. Der Ausgang von jedem Multiplexer-Schaltkreis **108** ist zu einem Multiplexer-Schaltkreis **110** zugeführt. Jeder Multiplexer-Schaltkreis **108** wird verwendet, um die Detektorausgangssignale auszuwählen, die zu der orbitalen Position des drehenden Polygon-Spiegels **38** passen. Die Detektorausgänge von dem Multiplexer-Schaltkreis **110** werden durch den Analog/Digital-Konverter **86** zu einem 12-Bit-Digitalwort umgewandelt. Der digitale Wert jeder Detektorausgangsspannung wird für jede Orbitalposition des drehenden Spiegels **38** abgespeichert. Ein Pufferschaltkreis **112** ist zwischen den Multiplexer-Schaltkreisen **108** und **110** zwischengeschaltet.

[0067] Bezugnehmend auf **Fig.** 11 werden Daten bei jeder Vertikal- oder Scheibenposition der Abtastkammer **22** an 4000 Positionen des Polygon-Spiegels **38** auf seiner Umlaufbahn um die Brust aufgenommen, wenn die orbitalförmige Platte **26** zu jeder dieser 4000 Positionen rotiert, allgemein gekennzeichnet durch den Pfeil **114**. Ein Kreis wird dann von der Umlaufbahn des Polygonspiegels **38** gezeichnet. Der Kreis der Detektor-Arrays **40** bleibt fixiert an seinem Ort, während der Spiegel **38** um seine eigene Achse rotiert, generell gekennzeichnet durch den Pfeil **116**, und wird um die Brust der Patientin gedreht. Der Spiegel **38** ist in einer seiner 4000 Positionen in **Fig.** 11 gezeigt. In jeder der 4000 Positionen wird durch die Drehung des Polygon-Spiegels **38** der Laserstrahl über ein Sichtfeld **118** geschwenkt, das einen Abtastdurchmesser **120** umfaßt, in dem die Brust angeordnet sein muß. Das Sichtfeld **118** umfaßt ein Viertel oder 150 der Detektoren **62**. Praktisch wird eine Über-Abtastung, die 152 oder mehr Detektoren für jede Umlaufposition umfaßt, für eine verbesserte Datenerfassung verwendet.

[0068] Der Computer **88** synchronisiert die Rotation des Polygon-Spiegels **38**, die Auswahl der spezifischen Detektoren **62** durch die Multiplexer-Schaltkreise **108** und **110**, und des Analog/Digital-Konverters **86** Umwandlungskreises, um die Laserstrahlintensität bei jedem angestrahlten Detektor **62** zu messen. Durch diesen Prozeß wird an jeder der 4000 Positionen in einem Umlauf des Spiegels **38** der Ausgang der wenigstens 150 ausgewählten Detektoren **62** gemessen, in ein digitales Format umgewandelt und als Teil der digitalisierten Scheibendaten gespeichert. Die digitalisierten Scheibendaten enthalten außerdem Umcodierungsinformationen in bezug zu den 4000 Positionen, an welchen Detektoren **62** gemessen wurden.

[0069] Da nur 600 Detektoren **62** und Daten von 4000 Posi tionen bei jeder Vertikal- oder Scheibenposition der Abtastkammer **22** gesammelt werden, ist eine Technik nötig, um auszuwählen, welche der 600 Detektorausgangssignale aufgezeichnet werden. Die Multiplexer-Schaltkreise **108** und **110** werden verwendet, um auszuwählen, welchen der individuellen Detektoren **62** in jedem Detektor-Array **40** als Teil der 150 oder mehr Detektoren für jede der 4000 Positionen verwendet werden.

[0070] Bezugnehmend auf **Fig.** 4 sind für die gezeigten Positionen des Spiegels **38** 150 Detektoren für die Messung ausgewählt. Das Verhältnis zwischen den 4000 Positionen des Spiegels **38** und den 600 Detektoren ist 6,67. Aufgrund dieses Verhältnisses werden für 7 folgende Positionen des Spiegels **38** die gleichen 150 Detektoren **62** für eine Messung ausgewählt. Für die nächsten 7 Positionen des Spiegels **38** können 2 durch 151 der Detektoren **62** ausgewählt werden. Die Schrittweite, mit der die Detektoren **62** durch den Analog/Digital-Konverter **86** ausgewertet werden, wird durch einen Datensammelalgorithmus überwacht, der unten beschrieben wird, und den Computer **88**. Die genaue Beziehung zwischen den Positionen des drehenden Spiegels **38** und dem spezifischen Detektor **62** ist durch die mathematische Beziehung zwischen der Polygon-Spiegel-Befestigungsposition und dem fixierten Ring der Detektor-Arrays **40** und dem individuellen Zählsystem gegeben, das für das Programm adaptiert ist.

[0071] Die aufgenommenen Daten für jede vertikale Position des drehenden Spiegels **38** werden als Scheiben-Daten bezeichnet. Diese Daten werden verwendet, um ein Bild (**Fig.** 14) der abgetasteten Brust durch Rekonstruktionsalgorithmen zu erzeugen, die aus der Computertomographietheorie abgeleitet wurden, wie untenstehend beschrieben.

[0072] Bezugnehmend auf **Fig.** 12 wird nun der Aufnahmealgorithmus erläutert, der in der Erfindung verwen-

det wird, um die Daten für jede Scheibe zu sammeln.

[0073] Der die Abtastung durchführende Bediener plaziert die zu untersuchenden Patientin auf dem Abtasttisch **16**, wobei eine Brust durch die Öffnung **20** in der Abtastkammer **22** herabhängt, wie in **Fig.** 2 gezeigt.

[0074] Wenn der Bediener die Abtastung startet, werden verschiedene vorgegebene Parameter in das Programm geladen. Die Drehgeschwindigkeit und die Anzahl der Facetten des Spiegels **38** sind zwei Basiswerte. Die Anzahl der Spiegelfacetten ist ein physikalischer Parameter, der nicht einfach geändert werden kann, ohne daß die Polygon-Spiegel-Baugruppe gewechselt wird. Die Möglichkeit, die Drehgeschwindigkeit bei Schritt **122** zu verändern, ist in dem Fall gegeben, daß zukünftige Ereignisse diesen Wechsel wünschenswert machen und ein Wechsel der Geschwindkeit schnell erfolgen kann. Die mögliche Rotationsgeschwindigkeiten sind 6000, 8000, 10000 und 12000 Umdrehungen pro Minute (n/min).

[0075] Die Einrichtung R verwendet einen 12-Facetten-Spiegel **38** und eine Spiegeldrehgeschwindigkeit von 6000 Umdrehungen pro Minute, oder 100 Umdrehungen pro Sekunde (n/sek). Die Zeit, die eine Facette benötigt, um den auftreffenden Laserstrahl durch einen Fächerstrahl **55** zu bewegen, kann wie folgt berechnet werden:
Drehgeschwindkeit: 100 n/sek.

[0076]

1n = 1/100 n/sek. = 0,01 sek./n

Zeit für 1 Facette:

0,1 sek./12 Facetten = $8{,}33 \times 10^{-4}$ sek. (833 µsek.)

[0077] Die Möglichkeit, den Polygonspiegel **38** mit einer anderen Anzahl von Facetten auszuwechseln, wird erleichtert durch die Möglichkeit, die Fächerzeit in Schritt **124** vorzugeben.

[0078] Da eine Differenz zwischen der mechanischen Position, dem bestreichenden Laserstrahl **55** und der elektronischen Position gegeben ist, ist ein anderer Parameter, FACET DELAY, in Schritt **126** vorgebbar. Dieser Parameter wird während des Initialscanner-Setup etabliert und kann von einem Wert von 0 bis 833 µsek. reichen.

[0079] Der Laserstrahlfächer beschreibt einen Winkel (etwas mehr als 90°) der Detektoren **62**. Mit 600 Detektoren in einem Detektorring repräsentieren 90° ein Viertel des Detektors **62** oder 150 Detektoren.

[0080] Da die benachbarten Facetten des Polygon-Spiegels **38** nicht eine scharfe Kante an der Linie des Übergangs bilden, aber durch den Radius verbunden sind, ist eine größere Anzahl als Detektoren **62** vorgesehen im Betrieb. Die Zeit, die der fächerförmige Laserstrahl über einen Detektor schwenkt, (im folgenden Facet Dwell) wird wie folgt berechnet:

833 µsek./150 Detektoren = 5,6 µsek./Detektor.

[0081] Der aktuelle Facet Dwell wird während des Initialscanner-Setup bestimmt und in Schritt **128** eingeführt.

[0082] Idealerweise sind alle Detektoren **62** wirksam. Jedoch können in einer Praxissituation bestimmte Detektoren **62** defekt sein. Die Bedingung, die innerhalb bestimmter Grenzen toleriert werden kann, solange die spezifische Position des defekten individuellen Detektors bekannt ist, ist bekannt. Der defekte Detektor kann während eines Qualitätskontrollabtast-Vorganges identifiziert werden. Der defekte Detektor kann dann bei Schritt **130** ignoriert werden.

[0083] Der Rekonstruktionsalgorithmus, der nun beschrieben wird, erfordert die Überabtastung von einem ideal 90°-Fächer der Detektoren **62**. Die Größe der Überabtastung wird während des Initialscanner-Setup bestimmt und in Schritt **132** eingeführt.

[0084] Die individuelle Verstärkung der Detektoren **62** kann variieren, und diese Variation wird für jeden Rekonstruktionsalgorithmus angepaßt. Jedoch wird ein Gesamt-Verstärkungswert während des initialen Scanner-Setup bestimmt, und dieser wird in Schritt **134** eingeführt.

[0085] Dem Bediener ist es möglich, bestimmte Informationen betreffend die spezielle Patientin, wie beispielsweise Name etc, einzugeben, wie auch ausgewählte spezielle Positionen, an denen eine Abtastung durchgeführt werden soll. Dies erlaubt ein wiederholtes Abtasten einer speziellen Position ohne ein wiederholtes Abtasten der gesamten Brust. Dieser Schritt ist allgemein mit **136** gekennzeichnet.

[0086] Nachdem diese Parameter und Daten eingegeben sind, wird die Bedienperson in Schritt **138** gefragt, ob die eingegebenen Informationen korrekt sind. Wenn "ja" eingegeben wird, beginnt die Abtastung.

[0087] Der erste Schritt der Abtastung ist das Zurückfahren der Abtastkammer **22**, die den drehenden Spiegel **38** und den Ring von Detektor-Arrays trägt, zu einer Ausgangsposition, die eine maximale Höhenstellung ist, wie in **Fig.** 3A gezeigt. Der Motorcontroller, die den Motor **39** steuert, sind zu der Hochstellung geschaltet und verbleiben in diesem Modus, bis die Ausgangspositionsschalter aktiviert sind. Dieser Schritt ist allgemein mit Schritt **140** und **142** gekennzeichnet.

[0088] Nachdem die Ausgangsposition erreicht wurde, überprüft der Computer bei Schritt **144**, ob der Laser eingeschaltet ist. Der Laser wird wieder gestartet bei Schritt **146**, wenn der Laser nicht eingeschaltet ist. Die Drehung des Polygon-Spiegels **38** wird in Schritt **148** initiiert und der Spiegel fährt fort zu rotieren mit der in Schritt **122** vorgegebenen Geschwindigkeit.

[0089] Das Programm fährt fort und setzt die Multiplex-Schaltkreise **108** und **110**, um die Detektoren **62** auszuwählen, die den Schritt **150** als Teil des Initialdatensammlungs-Fächers verwendet werden. Da Daten an 4.000 individuellen Positionen in der Umlaufbahn des Polygon-Spiegels **38** aufgenommen werden und da nur 600 Detektoren vorgesehen sind, wird der ausgewählte Detektorsatz für die Datenaufnahme während jedes Fächers für die Abtastgemoetrie bestimmt. Die unten stehende Tabelle illustriert dieses Konzept, wobei die aktuelle Indentifikationsnummer für jeden Detektor zu Erläuterungszwecken vereinfacht wurde.

Index = 4.000 Orbitalpositionen/600 Detektoren = 6,67 Fächer/Index

[0090] Das bedeutet, daß für jede Position oder Index des rotierenden Spiegels **38** und seinen Umlauf um die Patientinnenbrust sieben Laserstrahlfächer erzeugt werden, wobei jeder Fächer von den gleichen 150 Detektoren aufgenommen wird.

[0091] In der untenstehenden Tabelle sind die Detektoren **62**, die in dem Ring der Detektor-Arrays **40** angeordnet sind, mit 1, 2, 3, ... n ... 600 gekennzeichnet.

Fächer-Nummer	Erster Detektor	Letzter Detektor
1	525	75
2	525	75
3	525	75
4	525	75
5	525	75
6	525	75
7	525	75
8	526	76
9	526	76
10	526	76
11	526	76
12	526	76
13	526	76
14	526	76
15	527	77
16	527	77
17	527	77
18	527	77
19	527	77
20	527	77
21	527	77
--	---	--
3990	523	73
3991	523	73
3992	523	73
3993	523	73
3994	523	73
3995	523	73
3996	523	73
3997	524	74
3998	524	74
3999	524	74
4000	524	74

[0092] Für jeden Index oder Umlaufposition des drehenden Spiegels **38** beträgt die absolute Detektoranzahl **62** in dem Fächer 150. Zum Beispiel für die Fächer-Nummer 1 ist die Anzahl der Detektoren (600 – 525) + 75 = 150. Für die Fächer-Nummer 3999 ist die Anzahl der Detektoren (600 – 496) + 46 = 150.

[0093] Nachdem die Multiplex-Sequenz programmiert ist, beginnt der Fächerstrahl in Schritt **152** umzulaufen, aber die Datenaufnahme beginnt nicht, bis das Orbit-Flag-Signal in Schritt **154** erfaßt wurde. Das Orbit-Flag-Signal identifiziert die mechanische Position in der Umlaufbahn, wobei die Datenaufnahme über die Multiplex-Sequenz der abgetasteten Detektoren beginnt. Der Status für das Orbit-Flag ist 0 (Umlauf fortfahren) oder 1 (initiieren einer Datenaufnahmesequenz). Schritt **156** wird fortgeführt, bis das Orbit-Flag gleich 1 ist.

[0094] Die vorgegebene Facet-Period und die Facet-Delay-Period werden in Schritt **158** und **160** abgewartet, nachdem der erste Detektor **62** in dem Fächer ausgewählt wurde, um in Schritt **162** ausgelesen zu werden. Jedoch wird vor dem aktuellen Auslesen in Schritt **164** die Ignore-Detector-Table ausgelesen. Wenn der jeweilige Detektor für das Auslesen akzeptiert wird, wird der Abtastvorgang fortgesetzt. Wenn der jeweilige Detektor defekt ist, wird die Detektoradresse zu dem nächsten Detektor in der Multiplex-Sequenz in Schritt **168** inkrementiert.

[0095] Das Abtasten wird weitergeführt für die Wait-Facet-Dwell in Schritt **170**. Die Daten werden in Schritt **172** in eine jeweilige Position in dem Datensatz geschrieben. Die Anzahl der abgetasteten Detektoren in diesem Kreis wird in Schritt **174** untersucht, um zu bestimmen, ob der letzte Detektor in dem Fächer ausgelesen wurde. Wenn der letzte Detektor ausgelesen wurde, wird in Schritt **176** der Datensatz für einen teilweisen Datensatz für die Scheibe geschlossen, und das Programm bewegt sich zu der nächsten Scheibenposition. Wenn der letzte Detektor nicht erfaßt wurde, dann wird die Detektorzahl in Schritt **168** inkrementiert und die nächsten Fächerdaten aufgenommen. In Schritt **178** bewegt das Programm sich zu der nächsten Scheibenposition, nachdem in Schritt **164** der letzte Detektor ausgelesen wurde.

[0096] Nachdem der Scheibendatensatz geschlossen wurde, werden die Abtastkammer **22** mit dem Polygon-Spiegel **30** und dem Ring von Detektor-Arrays **40** nach unten zu der nächsten Scheibenposition bewegt. Der Computer **88** überwacht die Abwärtsbewegung. Der Zustand der nächsten Scheibenposition wird in Schritt **180** überwacht. Wenn die nächste Scheibenposition erreicht ist, ist festgelegt, ob die nächste Scheibenposition das Ende der Abtastposition in Schritt **182** ist. Der Computer **88** überwacht die Scheibenposition und überprüft, um festzulegen, ob der letzte Scheibendatensatz aufgezeichnet wurde. Wenn die Endscheibenposition erfaßt ist, dann ist dies das Ende der Brustabtastung. Wenn die Endscheibenposition nicht erfaßt ist, dann beginnt die nächste Scheibendatenaufzeichnung in Schritt **150**. Der Zyklus wiederholt sich dann, bis Daten für die Endscheibe aufgezeichnet wurden.

[0097] Bezugnehmend auf **Fig.** 13 wird ein Rekonstruktionsalgorithmus offenbart, der in der Erfindung verwendet wird. Der Rohdatensatz wird während des Datenaufzeichnungsprozesses, wie in **Fig.** 12 offenbart, aufgenommen. Die Rohdaten werden in Schritt **184** eingegeben, um Detektorfächer in Schritt **186** zu erzeugen. Um Verstärkungs- und Offsetvariationen für die verschiedenen Detektoren zu korrigieren, werden Polynominal-Linearisierungs-Korrekturen unter Verwendung der erhaltenen Information von der vorherigen Phantom-Abtastung in Schritt **188** verwendet. Der Linearisierungsdatensatz ist mit **190** gekennzeichnet.

[0098] Weil ein potentieller Offset zwischen der elektronischen und der mechanischen Mittelung gegeben ist, wird die Mittelungskorrektur in Schritt **192** für individuelle Detektoren und Detektor-Arrays durchgeführt. Zentrierungsinformationen sind von einer vorherigen Phantomabtastung, die allgemein mit **194** gekennzeichnet ist, erhalten worden.

[0099] Die Empfindlichkeit der individuellen Avalanche-Fotodioden **92** variiert, und diese Variation muß bei der Detektorempfindlichkeitskorrektur in Schritt **196** berücksichtigt werden. Einstellungen der Empfindlichkeit werden unter Verwendung der aufgenommenen Daten während der ersten Phantomabtastung durchgeführt, die allgemein mit **198** bezeichnet ist.

[0100] Eine Cosinuskorrektur wird durchgeführt aufgrund des Abfalls von jedem Detektorfächer im Schritt **200**. Andere Korrekturen für Verstärkungskontrolle und Anpassung werden ebenso hier durchgeführt. Jeder Detektorfächer ist mit einem Kernfilter umgeben in Schritt **202**, um den Datensatz für eine Rückprojektion weiterzuverarbeiten.

[0101] Der Rückprojektionsschritt **204** projiziert die Fächerdaten in eine Bildmatrix mit einer $1/r^2$-Gewichtung, die auf die Daten angewendet wird.

[0102] Nachdem die Daten in die Matrizen projiziert wurden, werden in Schritt **206** Korrekturen für jedes systematische Artefakt und rekonstruierte Dichtwerte durchgeführt. Die Korrektur-Faktoren wurden bei vorherigen Phantomabtastungen in Schritt **208** aufgezeichnet.

[0103] Nach Vervollständigung der Rekonstruktionsschritte wird ein Datensatz für das rekonstruierte Bild in Schritt **110** erzeugt und zur sofortigen oder späteren Wiedergabe abgespeichert.

[0104] Ein Beispiel eines von einem Scheibendatensatz einer Brust erzeugten Bildes ist in **Fig.** 14 offenbart. Das äußere Band **212** ist Rauschen. Das Brustgewebe **214** ist umgeben von einer Prothesis **216** für eine vergrößerte Brust.

[0105] Der Halte- und Zeitgatterschaltkreis **102** wird im folgenden detailliert beschrieben.

[0106] Bezugnehmend auf **Fig.** 15 umfaßt der Schaltkreis **102** einen Halteschaltkreis **194** und einen Zeitgatterschalter **196**. Der Halteschaltkreis **194** ist vorgesehen, um den Operationsverstärker **72** (oder Integrator) vor Spannungen zu bewahren, die oberhalb der sicheren Betriebsparameter der Einrichtung liegen. Als Antwort auf die Stimulation durch den Femtosekunden dauernden Laserpuls, generell mit **66** bezeichnet, erzeugen die umgekehrt gebiasten Avalanche-Fotodioden **62** einen positiven Stromstoß, generell mit **198** bezeichnet. Die Größe dieses Impulses **198** kann potentiell die Design-Parameter des Operationsverstärkers **72** übersteigen, der verwendet wird, um eine Spannung in Antwort auf den Stromimpuls zu erzeugen. Um vorteilhafterweise dieses zu verhindern, ist die Diode **200** mit einem umgekehrten Bias von +0,8 VDC durch eine +5 VDC-Versorgungsspannung **202** und zwei Widerstände **204** und **206** versehen. Wenn die durch den Detektor **62** erzeugte Impulsamplitude über die Bias-Spannung der einen Diode (annäherungsweise 0,7 VDC) liegt, ist die Diode **200** vorwärts gerichtet mit einem Bias versehen und schließt jede weitere Zunahme der Signalamplitude kurz. Der Kurzschlußeffekt hält wirksam das Signalniveau an der Anode der Diode **76** auf einem Niveau gemäß

den Entwurfsparametern des Operationsverstärkers **72**.

[0107] Der Zeitgatterschalter **196** wird durch Differential-Emitter-gekoppelte Logik (ECL)-Signale gesteuert, die auf die Eingänge **208** und **210**, wie in **Fig.** 15 gezeigt, wirken. Wenn der Transistor **220** eingeschaltet ist, verändert sich die an der Verbindung der Widerstände **204** und **206** entwickelte Spannung von einem positiven Niveau auf ein negatives Niveau. Die negative Spannung biast die Diode **200** und umgekehrt biast die Diode **76**. Wenn die Diode **76** mit einem umgekehrten Bias versehen ist, kann kein von dem Detektor **62** bereitgestellter Strom den Operationsverstärker **72** erreichen. Die Dioden und Transistoren, die in dieser Schaltanordnung verwendet werden, sind vorteilhafterweise ausgewählt nach ihrer Fähigkeit, mit hohen Geschwindigkeiten zu schalten. Die Wirkung des Schaltkreises **176** ist, den Strom auszuschalten, der von dem Operationsverstärker **72** bei hoher Geschwindigkeit bereitgestellt wird.

[0108] Der Laserimpulsaufnahmeschaltkreis **106** wird nun detaillierter beschrieben.

[0109] Bezugnehmend auf **Fig.** 16 wird das Auftreten eines Laserimpulses durch eine Zunahme des fließenden Stromes in den umgekehrt gebiasten Avalanche-Fotodioden **222** erfaßt. Eine Folge von Laserimpulsen mit Femtosekundendauer ist in **Fig.** 18A offenbart. Die Antwortkurve der Avalanche-Fotodioden **222** und die Verzögerung des Scheitelwertes, der von dem Detektor **222** erzeugt wird, sind in **Fig.** 18B gezeigt. Eine Wiedergabe des Punktes der Anstiegskante des Avalanche-Fotodioden-Pulses wird als Bezugspunkt für einen Hochgeschwindigkeits-Signalkomparator, wie in **Fig.** 18C gezeigt, verwendet. Ein Widerstand **224** bewirkt eine Strombegrenzung, um eine Beschädigung des Detektors **222** durch hohe Ströme zu verhindern, die als Antwort zu Laserimpulsen **66** erzeugt werden. Eine Kapazität **226** ist ein Entkopplungskondensator, der Energie bereitstellt, die über den Widerstand **228** abgeleitet wird. Der durch den Widerstand **228** fließende Strom erzeugt eine Spannung über den Widerstand. Die Spannung ist direkt auf einen Komparatorschaltkreis **230** gekoppelt. Ein Widerstand **232** wird verwendet, um den Schwellenwert zu justieren, bei dem der Komparator **230** schaltet. Der Ausgang des Komparators **230** ist mit einem Speicher **234** verbunden und stellt ein ECL-Ausgangssignal zur Verfügung. Das ECL-Signal ist mit dem Erscheinen von jedem Laserpuls synchronisiert. Der Ausgang des Schaltkreises **106** ist in **Fig.** 18D gezeigt.

[0110] Bezugnehmend auf die **Fig.** 17A und 17B wird der Haltekontrollschaltkreis **104** nun detailliert beschrieben. Der Laserimpulsaufnahmeschaltkreis **106** wird verwendet, um ein zusätzliches Signal in Synchronisation mit jedem Laserimpuls zu erzeugen. Das Signal wird verwendet, um den Zeitamplitudenkonverter **236** zu starten. Die Zeit-Amplituden-Umwandlung wird zu geeigneter Zeit durch ein Signal eines anderen Laseraufnahmeschaltkreises **106** gestartet. Der Detektor **222** für die beiden Laserimpulsaufnahmeschaltkreis **106** ist mit einem geeigneten Abstand nahe dem Detektor-Array **40** angeordnet. Die Ankunftszeit t_2 durch den Gewebe umfassenden Pfad wird während der Suchabtastphase gemessen und zu einem Digitalwort umgewandelt mit einem geeigneten Digitalwert, um die Speicheradresse zu kontrollieren, an der der Zeitwert gespeichert ist. Während der Datenaufnahmephase der Datenaufnahmesequenz wird die Speicheradressekontrolle **241** verwendet, um einen Wert von der Look-up-Tabelle **250** auszuwählen. Die Look-up-Tabelle **250** stellt einen Wert für einen Addition/Substraktionsschaltkreis **243** bereit. Zu geeigneter Zeit wird der digitale Zeitwert t_2 aus dem Speicher **240** gelesen und durch den von der Look-up-Tabelle **250** bereitgestellten Wert modifiziert. Die Netzwirkung ist, den aus dem Speicher ausgelesenen Wert t_2 zu verwenden, Subtrahieren oder Addieren eines Wertes hierzu, um ein neues digitales Wort zu produzieren, das einem Komparator **246** bereitgestellt wird. Der andere Eingang des Komparators **246** ist ein digitaler Zeitwert, der von dem Analog-Digital-Konverter **236** produziert wird, und durch das Wort B repäsentiert ist. Wenn die Bedingung A = B gegeben ist, stellt der Komparator **246** einen digitalen Ausgang zu dem Digital/Analog-Feinverzögerungsschaltkreis **248** bereit. Bei der Bedingung A = B beginnt das Meßintervall für die Anstiegskante der Detektorantwortkurve, wie in **Fig.** 17B gezeigt. Die analoge Feinverzögerung bestimmt die Zeitdauer, während der die Anstiegskante der Detektorantwortkurve gemessen werden kann. Am Ende dieses analogen Verzögerungsintervalls wird ein Digitalsignal erzeugt, das das Meßintervall stoppt. Die Look-up-Tabelle **250** erzeugt ein Signal, das die Feinverzögerung kontrolliert. Die Datenaufnahmesequenz läuft weiter für das vorstehend diskutierte 5,3-µsek.-Intervall. Die oben genannte Sequenz fährt fort, bis der Fächerstrahl über die Brust streicht.

[0111] Ein Ausgangsspeicher **252** erzeugt ein ECL-Ausgangssignal wie ein Zeitgatter-Kontrollsignal. Der Ausgang des Speichers **252** ist mit den Schaltkreisen **102** an **208** und **210** verbunden, wie in **Fig.** 15 gezeigt.

[0112] Unter Verwendung des Flugzeit-Ansatzes wird die Abstimmung der Datenaufnahmen automatisch zu den Laserimpulsen synchronisiert, die an jeder der Fächerpositionen in die Brust einstrahlen. Andere Ansätze wie Laseröffnung durch einen optischen Kerr-Shutter oder variable optische Verzögerungslinien sind nicht praktisch für eine gegebene Anzahl von Messungen, die innerhalb einer Sekunde erfolgen sollen.

[0113] Der Laser **23** erzeugt Impulse nahe infraroter Energie mit einer relativ fixen Wiederholungsrate. Die Laserimpulse pflanzen sich mit Lichtgeschwindigkeit in Luft fort, einer Konstante. Die benötigte Zeit für einen Impuls, um eine gegebene Entfernung zu durchqueren, wird wie folgt kalkuliert:

Zeit = Distanz/Lichtgeschwindigkeit

[0114] Daher kann für bekannte Distanzen die erforderliche Zeit für einen Impuls einfach berechnet werden, die zum Durchqueren einer Distanz erforderlich ist.

[0115] Die Antwort der Fotodioden-Detektoren zu den Laserimpulsen ist in **Fig.** 19 offenbart. Zu beachten ist die Verzögerung in der Antwort des Detektors auf die Laserstimulierung.

[0116] Die Antwort der Fotodioden auf eine Impulsfolge in einem Medium ist in **Fig.** 20 offenbart. Zu beachten ist die Fortpflanzungsverzögerung aufgrund des relativen Brechungsindex' des Gewebes.

[0117] Das Verhältnis von Lichtgeschwindigkeit in Luft im Vergleich zu der Lichtgeschwindigkeit in einem Medium wird als relativer Brechungsindex bezeichnet und wie folgt berechnet:

Relativer Brechungsindex = Lichtgeschwindigkeit in Luft/Lichtgeschwindigkeit in Medium

[0118] Das Flugzeit-Meßkriterium muß die Lichtgeschwindigkeit in Luft, die Lichtgeschwindigkeit in einem komplexen Medium menschlichen Gewebes und die Dicke des Mediums berücksichtigen.

[0119] Der Impulsaufnahmeschaltkreis **106** ist in einer Position, wo er einen Teil von den Ti:Saphirlaser **23** produzierten Photonen abfängt. Der Impulsaufnahmeschaltkreis **106** erzeugt eine reguläre Folge von Impulsen, basierend auf der Komparatorschaltschwelle, wie in **Fig.** 18D gezeigt.

[0120] Der Abstand zwischen individuellen Komponenten in dem Pfad des Laserstrahls sind bekannt und fixiert, wie in **Fig.** 21 gezeigt. Deshalb ist die erforderliche Zeit für einen individuellen Impuls um eine fixierte Distanz zwischen individuellen Komponenten, für die zur Positionierung des Laserstrahls verwendeten Spiegel leicht bestimmbar. Daher kann die Ankunftszeit eines indivuduellen Impulses an einer ausgewählten Position akkurat vorhergesagt werden. Die Ankunftszeit für einen Luftschuß, d. h. nichts zwischen dem Polygon-Spiegel **38** und und dem Detektor **62**, ist bekannt, wie in **Fig.** 21 gezeigt.

[0121] Die erforderliche Zeit, um die Pfadlänge in Luft zu durchlaufen, berechnet sich wie folgt:

$Zeit_{in\ Luft}$ = $Pfadlänge_{in\ Luft}$/$Lichtgeschwindigkeit_{in\ Luft}$

[0122] Die Ankunftszeit, wenn das Medium Luft ist und die Ankunftszeit, wenn das Medium humanes Gewebe ist, kann gemessen werden. Die Differenz zwischen diesen beiden Ankunftszeiten und der Pfadlänge in menschlichem Gewebe kann verwendet werden, um die relative Lichtgeschwindigkeit in menschlichem Gewebe wie untenstehend gezeigt zu bestimmen:

$Längsgeschwindigkeit_{in\ menschlichem\ Gewebe}$ = $Pfadlänge_{in\ menschlichem\ Gewebe}$/$\Delta t$

wobei $\Delta t = t_{in\ menschlichem\ Gewebe} - t_{in\ Luft}$

[0123] Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit in menschlichem Gewebe erlaubt Zeitabtastung des Abschnitts der Avalanche-Fotodiodenimpulsantwort, deren Messung gewünscht ist und für die Bildrekonstruktion verwendet wird.

[0124] Die ersten wenigen Impulse der Laserenergie-Photonen, die das menschliche Gewebe durchlaufen haben, werden bei der Suchphase der Datenaufnahme erfaßt. Der Zeitunterschied zwischen der erwarteten Ankunft der Photonen, wie durch die vorher laufende Kalibrierung bestimmt, und der aktuellen Ankunftszeit der Photonen ist bestimmt. Zum Beispiel, Gemessene Ankunftszeit – Erwartete Ankunftszeit = Δt

$t_2 - t_1 = \Delta t$

ΔT wird verwendet, um zu bestimmen, wann die Messung mit den Impulsen der Detektorantwortkurve beginnt, die nach der Suchphase auftreten. Eine Look-up-Tabelle oder ein ähnliches Verfahren wird verwendet, um aus-

zuwählen, wann die Detektormessung anfängt, z. B. kurz vor $t_1 + \Delta t$, bei Δt oder $\Delta t + t_3$, wobei t_3 als Systemkalibrierungswert bestimmt ist.

[0125] Die zweite Phase der Datenaufnahme ist die Überwachung der Zeitdauer der gemessenen steigenden Kante der Detektorantwortkurve, und die Anzahl der für jede Messung verwendeten Laserimpulse. Der Startpunkt und der Endpunkt des Meßintervalls beeinflußt direkt die Kontrastauflösung des resultierenden rekonstruierten Bildes. Aufgrund der physikalischen Variabilität der optischen und mechanischen Charakteristiken der Einrichtung sind die Anfangs- und Endpunkte des Meßintervalls während der Kalibrierung bestimmt worden. Ein Verfahren ist für die Feinjustage der Weite des Meßintervalls bereitgestellt.

[0126] In einer zweiten Abtastung wird die Datenaufnahmeabtastung durchgeführt. Während dieser Abtastung wird der Zeitgatterkontrollfaktor verwendet, um den ECL-Schaltkreis **104** zu kontrollieren, der den Zeitgatterschalter **196** und Schaltkreis **102** aktiviert. So wird für jede Projektion des Laserstrahls nur ein ausgewählter Abschnitt der jeweiligen Avalanche-Fotodioden-Impuls-Antworten aufgenommen und als Daten für die Bildrekonstruktion verwendet.

[0127] Eine andere Ausführungsform der Tragstruktur **254** zur Stützung der orbitalförmigen Platte **26** und des Polygon-Spiegels **38** ist in **Fig.** 22 offenbart. Die Tragstruktur **254** umfaßt vier fixierte, mit Gewinde versehene Stangen **256**, die quer durch entsprechende Ecken einer quadratischen oder rechteckigen Platte **258** verlaufen. Jede mit Gewinde versehene Stange **256** wird in einer Position durch ein Gewindestangen-Halteklammern **260** gehalten, die am vertikalen Seitenelement **262** der U-förmigen Baugruppe **264**, wie in **Fig.** 23 gezeigt, eingefügt sind. Die U-förmige Baugruppe **264** erhält vorteilhafterweise die Trennung zwischen den Gewindestangen-Halteklammern **260** und der vertikalen Ausrichtung der mit Gewinde versehenen Stangen **256** aufrecht. Jede mit Gewinde versehene Stange **256** hat einen Zahnkranz **266** oder eine Rolle mit einem mit Gewinde versehenen Loch in der Mitte. Die Steigung der mit Gewinde versehenen Stange und des Zahnkranzes ist gleich, so daß die Drehung des Zahnkranzes **266** eine Auf- oder Abbewegung der mit Gewinde versehenen Stange **256** verursacht. Die einzelnen Zahnkränze **266** sind durch eine kontinuierliche Antriebskette **268** oder einen Gurt verbunden.

[0128] Die kontinuierliche Antriebskette **268** ist ebenfalls mit dem Zahnkranz **270** (oder Rad) durch den Motor **272** verbunden. Drehung der äußeren Welle **274** des Antriebsmotors **272** dreht den Zahnkranz **270** und treibt die Kette **268** in die Richtung der Rotation an. Die kontinuierliche Bewegung dreht vorteilhafterweise synchron die einzelnen Zahnkränze **266** auf jeder mit Gewinde versehenen Stange **256**. In Abhängigkeit von der Steigung der Gewinde und der Drehrichtung werden alle vier Zahnkränze **266** und **270** abwärts oder aufwärts angetrieben.

[0129] Die Platte **258** ist an der Spitze der oberen Oberfläche von jedem der vier Zahnkränze **266** angeordnet. Eine Befestigungsplatte **276** für den Antriebsmotor **272** ist an der Unterseite der Platte **258** angefügt, wie in **Fig.** 22 gezeigt. Diese Anordnung bewirkt eine konstante Position des Antriebsmotors **272** in bezug zur sich bewegenden Platte **258**, was die Ausrichtung des ganzen Antriebssystems aufrechterhält.

[0130] Die Tragstruktur **254** bietet verschiedene Vorteile. Wenn die Kette **268** reißt, wird der Aufwärts- oder Abwärtsantrieb vorteilhafterweise von allen Antriebszahnkränzen **266** entfernt. Die fixierten, mit Gewinde versehenen Stangen **256** wirken als lineare Stützen für eine Aufwärts- oder Abwärtsbewegung und eliminieren daher das Bedürfnis nach vertikalen Positionshilfsstützen. Ferner stellt die Stützstruktur **254** die letzte Grenze der Gesamthöhe für die Kompaktheit dar.

[0131] Die Platte **258** hat eine Öffnung **278**. Die Kante der Öffnung **278** hat einen einwärts gerichteten Flansch oder Schritt **228**, der ausgebildet ist, um eine äußere Bahn **282** der Tragbaugruppe **284** aufzunehmen und zu tragen. Eine orbitalförmige Platte **286** ist in Preß-Fassung in die Öffnung eingebracht, die durch die äußere Bahn **288** der Stützbaugruppe **284** bestimmt wird, wie in **Fig.** 24 gezeigt. Ein Rückhaltering **290** sichert die orbitalförmige Platte **286** an der inneren Bahn **288**. Ein Rückhaltering **292** sichert die äußere Bahn **282** der Platte **258**, wie in **Fig.** 24 gezeigt.

[0132] Die orbitalförmige Platte **286** ist mit einem Außenzahnring **294** versehen, der mit einem Antriebsrad **296** in Eingriff steht, das durch einen Orbit-Antriebsmotor **298** angetrieben wird. Der Antriebsmotor **298** ist durch konventionelle Mittel an der Unterseite der Tragplatte **258** gesichert. Drehung der äußeren Welle **300** des Orbital-Antriebsmotors **298** erzeugt die entgegengesetzte Drehung der Tragplatte **286**. Die Drehgeschwindigkeit der Tragplatte **286** ist eine Funktion des Verhältnisses der Anzahl der Zähne des Ringzahnrades **294** und der Anzahl der Zähne des Antriebsrades **296** und der Drehgeschwindigkeit des Orbital-Antriebsmotors

298.

[0133] Es versteht sich von selbst, daß das Stützen der orbitalförmige Platte **286** mit der Stützbaugruppe **284** vorteilhafterweise das einfachste Verfahren zur Aufrechterhaltung der Konzentrizität zwischen der Orbital-förmige Platte **286** und den Detektor-Arrays **40** darstellt, die an der Platte **258** befestigt sind. Ferner ist der erforderliche vertikale Raumbedarf minimal.

[0134] Die mit der orbitalförmigen Platte **286** assoziierte optische Anordnung ist in **Fig.** 25 offenbart. Ein Befestigungskörper **302** ist an der Unterseite der orbitalförmigen Platte **286** befestigt und rotiert damit. Der Befestigungskörper **302** hat eine zentrale Öffnung **304**, durch die der Laserstrahl in den Körper **302** eintritt. Drehspiegel **308** und **310**, die innerhalb des Körpers **302** angeordnet sind, sind ausgebildet, um den vertikalen Laserstrahl **306** zu einem horizontalen Laserstrahl zu drehen, nachdem er von dem Spiegel **308** reflektiert wurde und dann zu einem vertikalen Strahl, nachdem er von dem Spiegel **310** reflektiert wurde, und durch die Öffnung **312** in der orbitalförmigen Platte **286** austritt. Ein Drehspiegel **314** verändert den vertikalen Laserstrahl zu einem horizontalen Strahl und richtet ihn auf den drehenden Polygon-Spiegel **38**, von dem ein Fächerstrahl **316** erzeugt wird. Ein Drehspiegel **318** dreht den horizontal eintretenden Laserstrahl vertikal in den Körper **302** durch die Öffnung **304**.

[0135] Es versteht sich von selbst, daß die Drehspiegel **308**, **310** und **314** in bezug zu der orbitalförmigen Platte **286** fix sind und dadurch mit der orbitalförmigen Platte **286** derart drehen, daß der Laserstrahl immer in der richtigen Richtung orientiert ist, wenn er den drehenden Polygon-Spiegel **38** trifft.

[0136] Photonen, die durch das Gewebe dringen, folgen im wesentlichen drei Pfaden. Wenn ein Photonenstrahl auf das Gewebe gerichtet ist, wird die Vorwärtsrichtung des Photons geändert – der Strahl wird abgelenkt durch die Atome und Moleküle in dem Gewebe. Bezugnehmend auf **Fig.** 26A erfährt das erste, in das Gewebe **320** eindringende Photon, eine starke vorwärts gerichtete Ablenkung und verläßt das Gewebe nach der minimalsten Zeit, die zum Durchqueren des Gewebes erforderlich ist. Diese Photonen werden als ballistische oder früh ankommende Photonen **322** bezeichnet. Da diese Photonen im wesentlichen entlang einer geraden Linie sich durch das Gewebe bewegen, stellt der Unterschied in der Absorption dieser Photonen die beste räumliche Auflösung dar, z. B. wahre Repräsentation der Gebiete mit Änderungen der Absorption in den Bahnen dieser Photonen. Das vom ballistischen Photon **322** erzeugte Signal ist auf der Anstiegskante der Detektorantwortkurve, wie in **Fig.** 26B gezeigt.

[0137] Die Photonen, die das Gewebe nach den ballistischen Photonen verlassen haben, sind einem längeren Pfad während des Durchquerens des Gewebes gefolgt, und dieser Pfad ist weniger geradlinig, als der, der von den früh ankommenden ballistischen Photonen verfolgt wurde. Diese spät ankommenden Photonen werden schlangenartige Photonen **324** genannt, wie in **Fig.** 26A gezeigt. Diese Photonen können als signaldegradiert angesehen werden, die zu einer reduzierten räumlichen Auflösung führen, und das Signal, das sie erzeugen, erscheint später auf der Detektorantwortkurve als das der balistischen Photonenkomponente, wie in **Fig.** 26B gezeigt.

[0138] Die Photonen, die später als die schlangenartigen Photonen austreten, sind einem diffusen Pfad gefolgt und verlassen das Gewebe an vielen Stellen. Diese Photonen werden als diffuse Photonen **226** bezeichnet und bilden die letzte Komponente der Detektorantwortkurve, wie in **Fig.** 26B gezeigt. Diese Photonen degradieren schwer die räumliche Auflösung und werden als Rauschen eingestuft.

[0139] Wenn die gesamte Detektorantwort von allen Photonen (ballistisch, schlangenähnlich und diffus) verwendet wird, ist die Möglichkeit, geringe Differenzen im Gewebe zu erfassen, schwer kompromittiert. Nur der Teil der Detektorantwortkurve, der von ballistischen Photonen erzeugt wird, wird für die Datenaufzeichnung aufgenommen, wie in **Fig.** 26B gezeigt. Die Technik, die verwendet wird, um die frühen Anteile der Photonenankunftsantwortkurve, wie in **Fig.** 26B gezeigt, auszuwählen, wird Zeitabtastung genannt, implementiert durch die Schaltkreise **102** und **104** (**Fig.** 15 und 17). Da der Abstand vom Drehspiegel **38** zu jedem Fotodetektor **62** bekannt ist, ist jede Änderung in der benötigten Zeit für die Photonen, um die Detektoren zu erreichen, eine Repräsentation der erforderlichen Zeit, um einen Abschnitt der Bahn zu durchlaufen, z. B. des Gewebes. Bezugnehmend auf **Fig.** 27A ist die Ankunftszeit für jeden auf jeden Detektor in dem Ring **45** auftreffenden Laserimpuls durch den bekannten Abstand und die Lichtgeschwindigkeit bestimmt. Eine Look-up-Tabelle wird aus diesem Freiraum-Flugzeiten-Daten erzeugt. Die Pfeile in **Fig.** 27A und 27B repräsentieren die Ankunftszeit von jedem Laserimpuls. Wenn ein Gewebe **328** in den Abtastdurchmesser **120** eingefügt ist, ist die Ankunftszeit für jeden durch das Gewebe dringenden Laserstrahl verzögert, wobei der Betrag der Verzögerung von der Pfadlänge durch das Gewebe abhängt, wie in **Fig.** 27B gezeigt, wobei zum Zwecke der Vereinfachung ange-

nommen ist, daß die Geschwindigkeit der durch das Gewebe durchlaufenden Laserimpulse konstant ist. Die Ankunftszeit für jeden durch das Gewebe durchlaufenden Laserstrahl ist durch Beobachten bestimmt, wenn eine Antwort an den individuellen Detektoren erzeugt wird. Die Flugzeit durch das Gewebe kann durch Abziehen der Frei-Pfades-Flugzeit (kein Gewebe zugegen) von der Zeit bestimmt werden, die erforderlich ist, um den Pfad bei vorhandenem Gewebe zu durchlaufen. Die hinzuaddierte Flugzeit ist in der Look-up-Tabelle **250** gespeichert und wird weiter erhöht um die Verzögerung in der Größenordnung von 0–40 Picosekunden, vorzugsweise 15–20 Picosekunden, um die Zeit zu modulieren, zu der die Detektorantwortkurve bei folgenden Laserimpulsen gemessen wird, so daß die Messung auf den Teil der Detektorantwortkurve begrenzt ist, die den ballistischen Photonen zuzuschreiben ist. Die Feinverzögerung von 0–40 Picosekunden wird durch den Schaltkreisblock **248** bereitgestellt. Der resultierende Strom, der an den Detektoren durch die ballistischen Photonen erzeugt wird, wird nach Umwandlung zu einer Spannung verwendet, um ein Bild des Gewebes unter Verwendung von Standard-Computertomographietechniken zu erzeugen.

[0140] Während die Erfindung beschrieben wurde für eine Struktur, bei der die Detektor-Arrays **40** in einem Kreis um das Gewebe und der Spiegel **38** oder die Laserstrahlquelle orbital in dem Kreis umlaufend angeordnet sind, um eine 360 Grad-Abtastung um das Gewebe vorzunehmen, liegt es ebenfalls im Bereich der Erfindung, einen Satz von Detektoren bereitzustellen, der synchron mit dem Spiegel **38** oder der Laserstrahlquelle um das abzutastende Gewebe bewegt wird. In bezug auf die Detektoren, die in einem Bogen oder einer anderen geometrischen Konfiguration angeordnet sind, um den Strahlenfächer **55** aufzufangen, sind sie an der orbitalförmigen Platte **286** angeordnet. Der Spiegel **38** und der Bogen von Detektoren laufen dann durch die 4000 Positionen in dem Kreis um das Gewebe.

[0141] Die Funktion des drehenden Spiegels **38**, die es ist, den Laserstrahl über die Brust zu schwenken, kann ebenso durch einen oszillierenden Spiegel **332** bewirkt werden, der durch ein Galvanometer **334** angetrieben wird, wie in **Fig.** 28 gezeigt. Der Galvanometermechanismus erzeugt eine oszillierende Bewegung des Spiegels 332. Zum Beispiel dreht er das Galvanometer in eine Richtung aus einer Ruheposition zu einer bestimmten Anzahl von Grad, z. B. 10° und wendet die Richtung und dreht zu der gleichen Gradanzahl in die andere Richtung. Die Drehung und umgekehrte Richtungsdrehung wiederholt sich so lange, wie das Antriebssignal am Galvanometer bereitgestellt ist.

[0142] Ein Laserstrahl **336**, der auf den Spiegel **332** gerichtet ist, der an das Galvanometer **334** angefügt ist, wird zurück und vor über die Brust innerhalb des Abtastkreises **120** schwenken. Weil der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist, verursachen 20° totale Galvanometerdrehung, in diesem Fall +10° bis –10° Drehung), daß der Laserstrahl über einen Winkel schwenkt, der dem Zweifachen des Galvanometerdrehwinkels entspricht. Durch Auswahl einer geeigneten Position des Galvanometers und Spiegel in bezug zu dem Abtastkreiszentrum wird ein 90°-Schwenk **338** über den Abtastkreisdurchmesser leicht erhalten, wie in **Fig.** 28 gezeigt.

[0143] Die Galvanometer/Spiegel-Kombination ist vorteilhafterweise weniger teuer als der Multifacetten-Spiegel. Geringfügige Modifikationen der Datenaufzeichnungssequenz sind zur Anpassung an das Vor- und Rückschwenken des Detektor-Arrays **40** durch den Laserstrahl erforderlich.

[0144] Es versteht sich für den Fachmann, daß durch Schwenken des Laserstrahls über die Brust anstelle der Verwendung eines Linsensystems, um den Laserstrahl in einen Fächer zu verwandeln, die Laserausgangsleistung signifikant abnimmt, um das gleiche Energieniveau an jedem Detektor aufrechtzuerhalten.

[0145] Während diese Erfindung unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsformen beschrieben wurde, versteht es sich von selbst, daß weitere Modifikationen, Verwendungen und schriftliche und/oder Adaptionen der Erfindung unter Beibehaltung des allgemeinen Prinzips der Erfindung und unter Einschluß derartiger Abwandlungen der offenbarten Erfindung möglich sind, die bekannt sind oder übliche Praxis sind, und auf die im wesentlichen Merkmale angewandt werden können, und in den Bereich der Erfindung wie in den angefügten Ansprüchen definiert, fallen.

Patentansprüche

1. Abtastkammer (**22**) zur Verwendung beim Abtasten menschlichen Gewebes (**15**), mit:
einem Rahmen,
einer Laserquelle (**23**) zur Erzeugung eines das Gewebe (**15**) durchdringenden Laserstrahls,
Fotodetektoren (**40**), die daran angepaßt sind, den Laserstrahl nach Durchdringen des Gewebes (**15**) zu detektieren,

einer drehbaren Platte (**26**), die von dem Rahmen getragen ist, wobei die Platte eine Öffnung (**20**) aufweist, die es menschlichem Gewebe (**15**) ermöglicht, in der Öffnung (**20**) zu hängen oder angeordnet zu sein,
wobei der Laserstrahl von der Platte (**26**) derart gerichtet wird, daß der Laserstrahl einen kompletten Umlauf um die Öffnung (**20**) ausführt, wenn die Platte (**26**) gedreht wird,
wobei die Fotodetektoren (**40**) in einem Bogen auf der Platte (**26**) oder in einem Kreis an dem Rahmen angeordnet sind, wobei eine Lagerbaugruppe (**28**, **30**) daran angepaßt ist, die Platte (**26**) drehbar an dem Rahmen zu lagern, wobei die Lagerbaugruppe (**28**, **30**) eine äußere Bahn, die an einer Öffnung des Rahmens befestigt ist, und eine innere Bahn, die an der Platte (**26**) befestigt ist, aufweist.

2. Abtastkammer nach Anspruch 1, wobei der Rahmen vertikal beweglich ist.

3. Abtastkammer nach Anspruch 1, wobei die Quelle (**23**) des Laserstrahls Lichtimpulse mit einer Dauer im Bereich von 100 Femtosekunden und einer Wellenlänge im Bereich von 850 Nanometern erzeugt.

4. Abtastkammer nach Anspruch 1, wobei die Quelle (**23**) des Laserstrahls einen Titan-Saphir-Laser aufweist und einen Argon-Ion-Laser, der daran angepaßt ist, den Titan-Saphir-Laser zu pumpen.

5. Abtastkammer nach Anspruch 1, wobei die Fotodetektoren (**40**) Avalanche-Fotodioden aufweisen.

6. Abtastkammer nach Anspruch 1, ferner umfassend einen drehbaren Spiegel (**38**) der daran angepaßt ist, den Laserstrahl fächerförmig durch das Gewebe (**15**) zu richten.

7. Abtastkammer nach Anspruch 1, ferner umfassend Antriebsschrauben (**34**), die derart mit dem Rahmen wirkungsverbunden sind, daß eine Drehung der Antriebsschrauben (**34**) ein Absenken oder Heben des Rahmens bewirkt.

8. Abtastkammer nach Anspruch 1, wobei die Platte (**86**) eine Drehachse aufweist, die im wesentlichen mit dem Zentrum des Ringes zusammenfällt.

9. Abtastkammer nach Anspruch 1, wobei ein drehbarer Multi-Facetten-Spiegel (**38**) derart an der Platte (**86**) angeordnet ist, daß der Spiegel (**38**) eine komplette Umdrehung um die Öffnung vollführt, wenn die Platte (**86**) gedreht wird, und der Spiegel (**38**) derart angeordnet ist, daß ein hiervon reflektierter Laserimpuls quer zu der Öffnung (**20**) gerichtet ist und durch das Gewebe (**15**) hindurchtritt und auf die Fotodetektoren (**40**) während eines kompletten Umlaufs des Spiegels (**38**) auftrifft.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

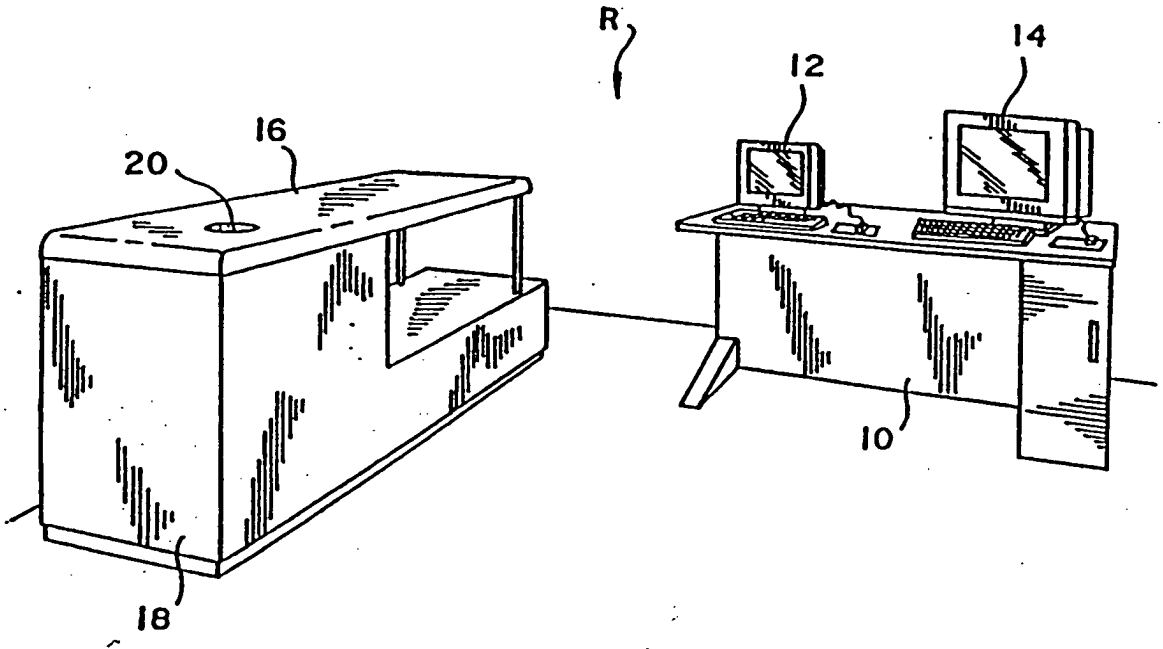


FIG. 1

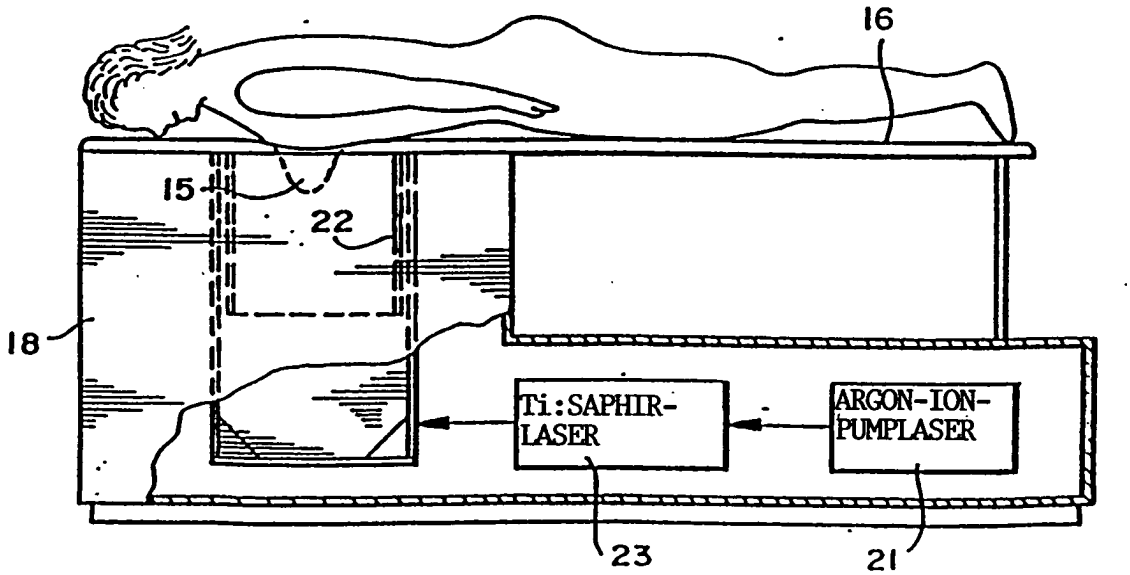


FIG. 2

FIG. 3A

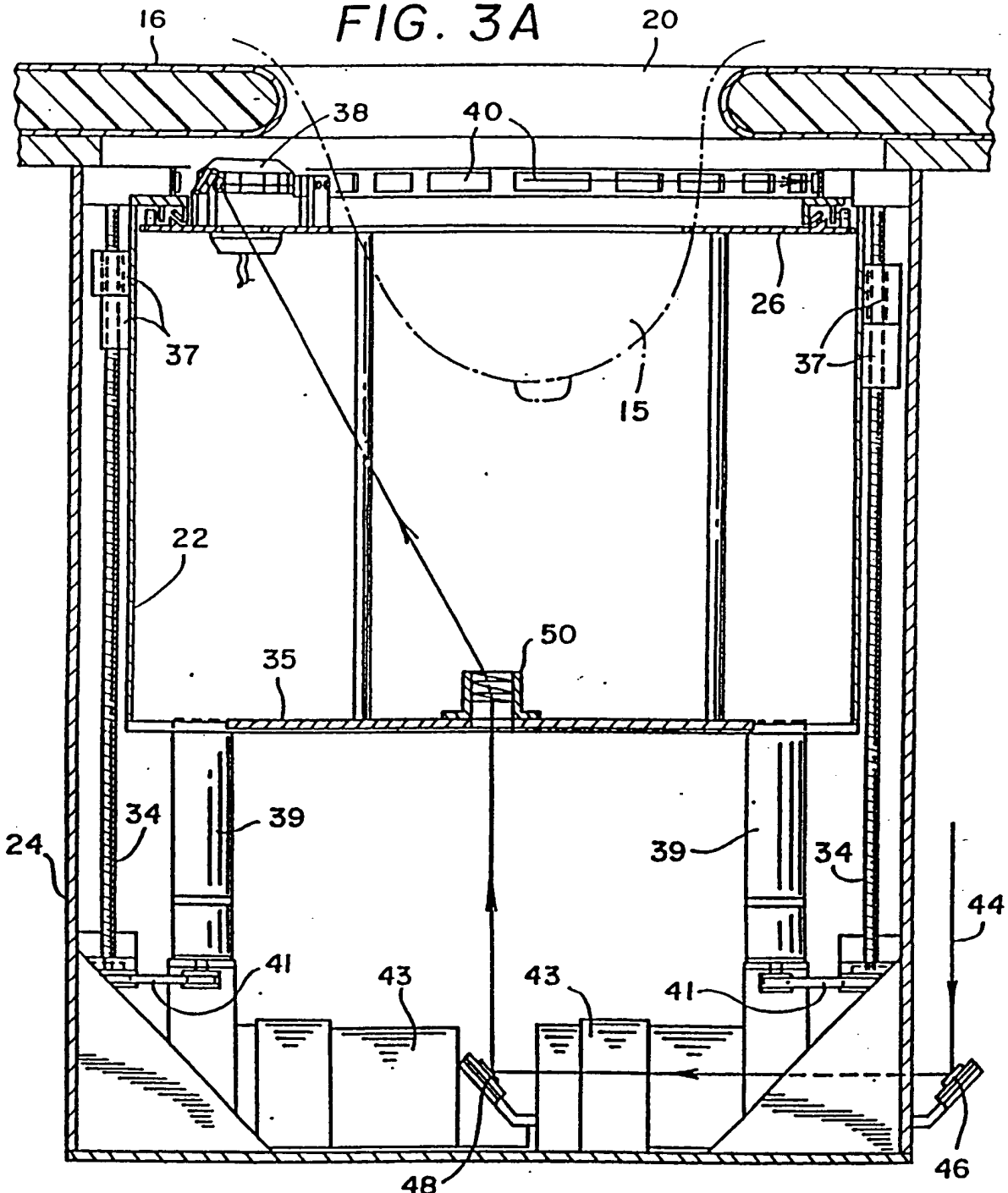

16
20
38
40
37
26
37
15
22
50
35
34
39
39
34
24
44
41
43
43
41
48
46

FIG. 6

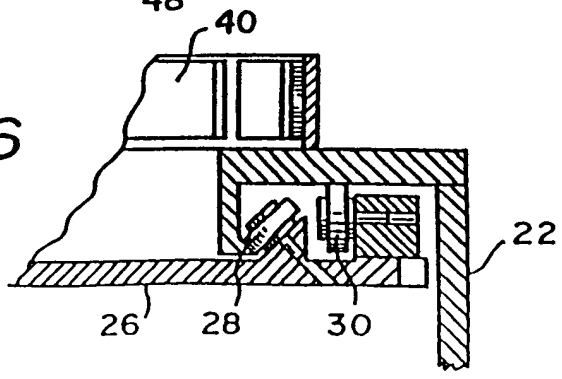
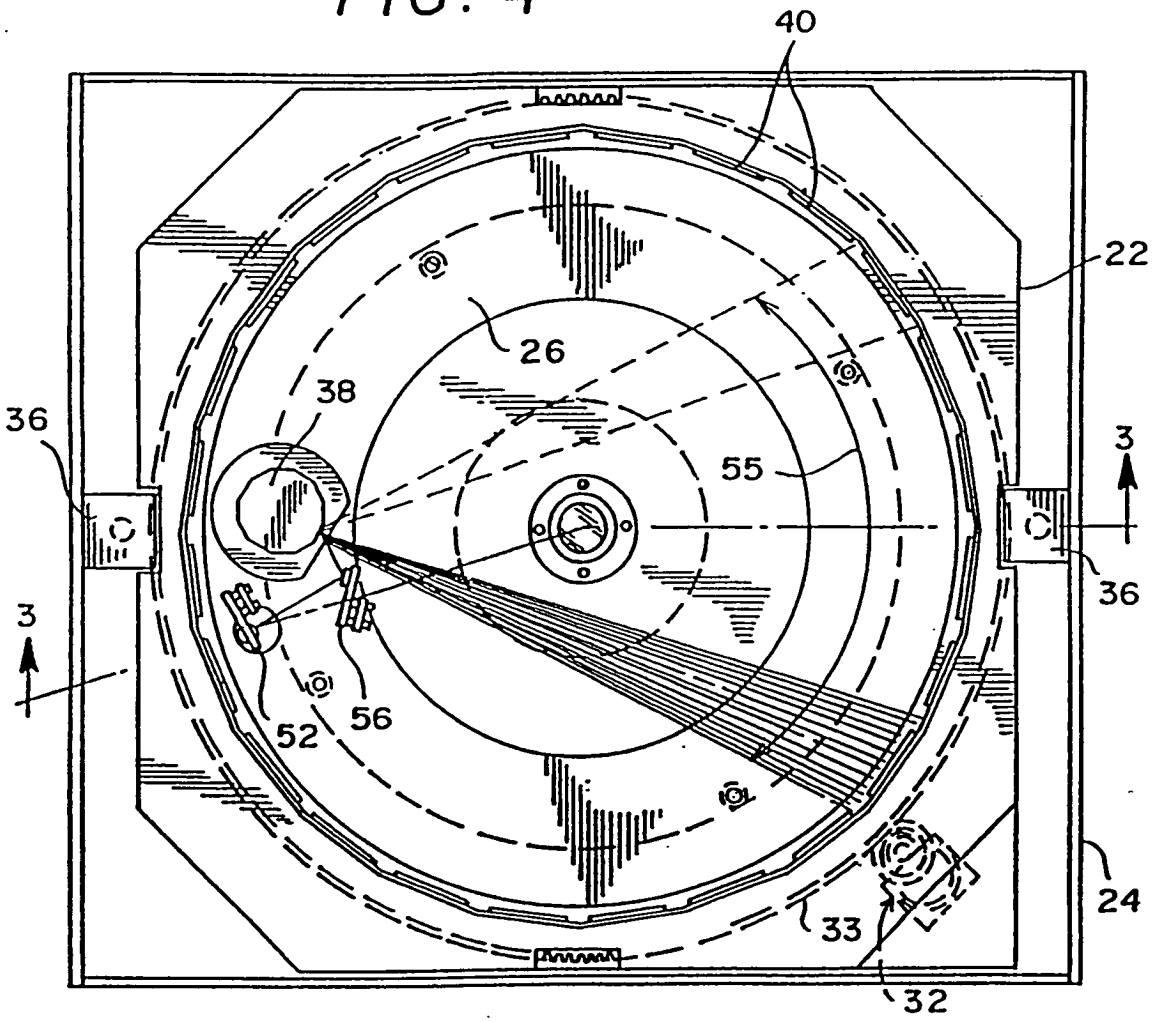

40
22
26
28
30

FIG. 4



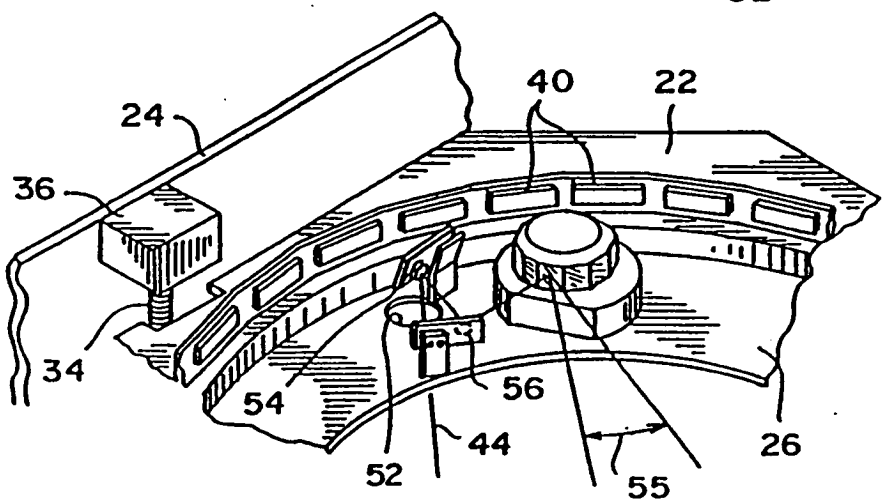


FIG. 5

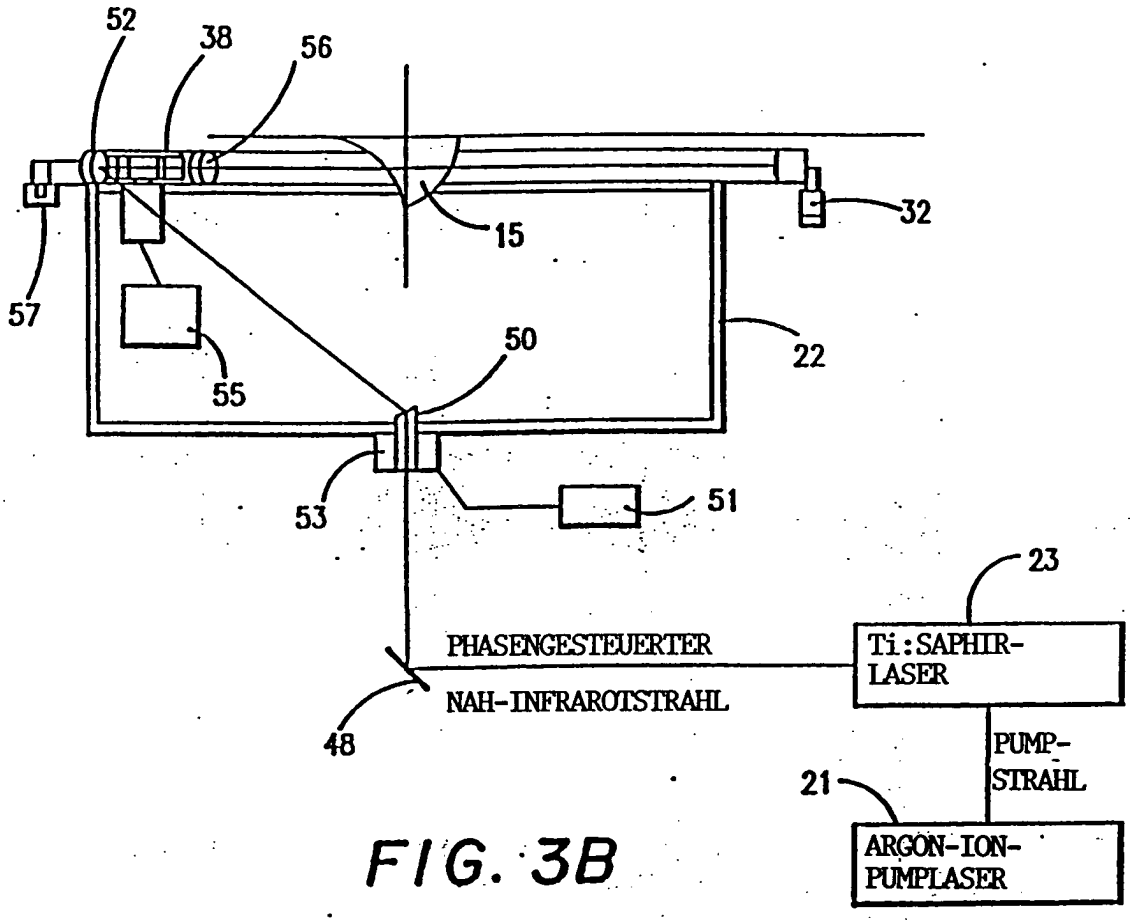

52
38
56
15
32
57
50
22
55
53
51
23
PHASENGESTEUERTER
NAH-INFRAROTSTRAHL
Ti:SAPHIR-
LASER
48
PUMP-
STRAHL
21
ARGON-ION-
PUMPLASER

FIG. 3B

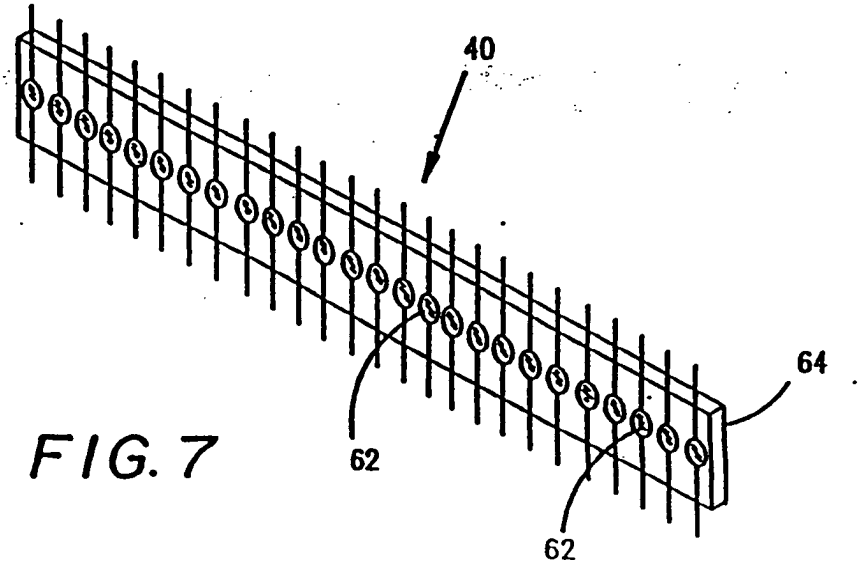

40
64
62
62

FIG. 7

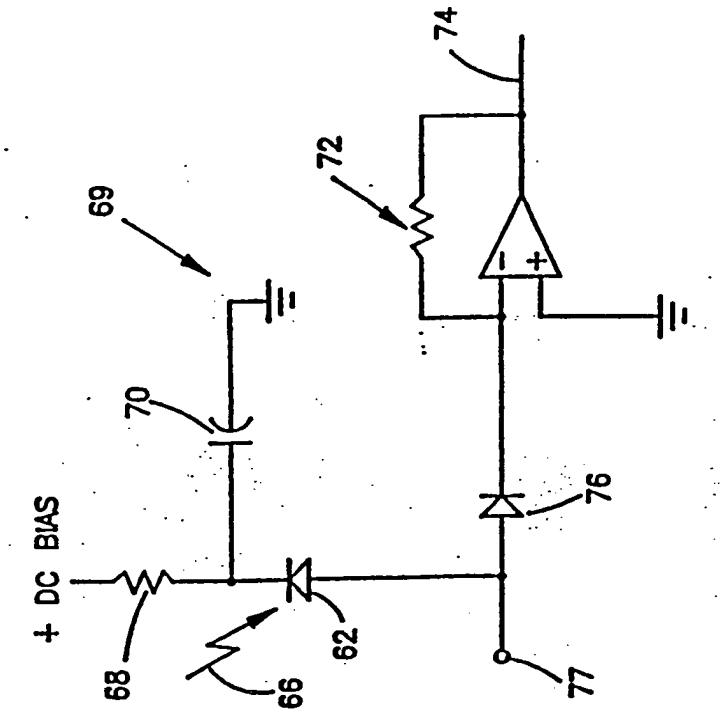


FIG. 8A

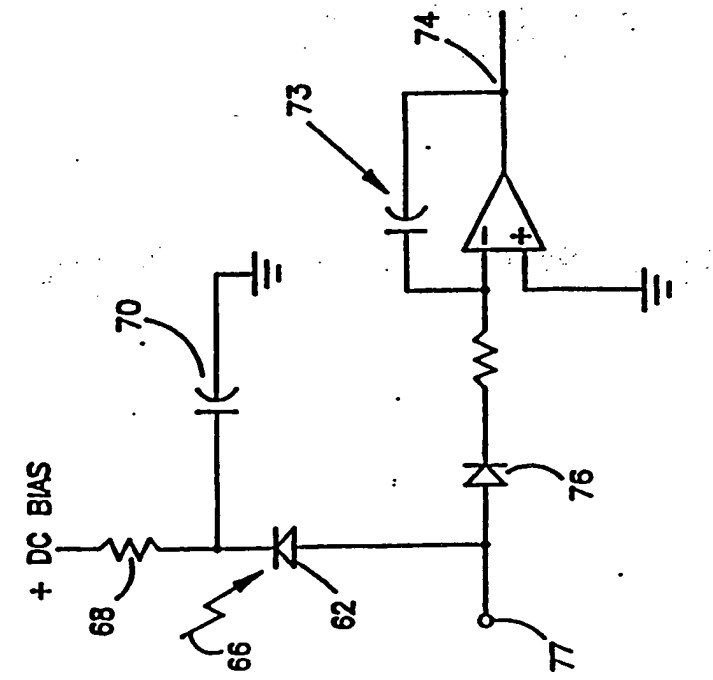


FIG. 8B

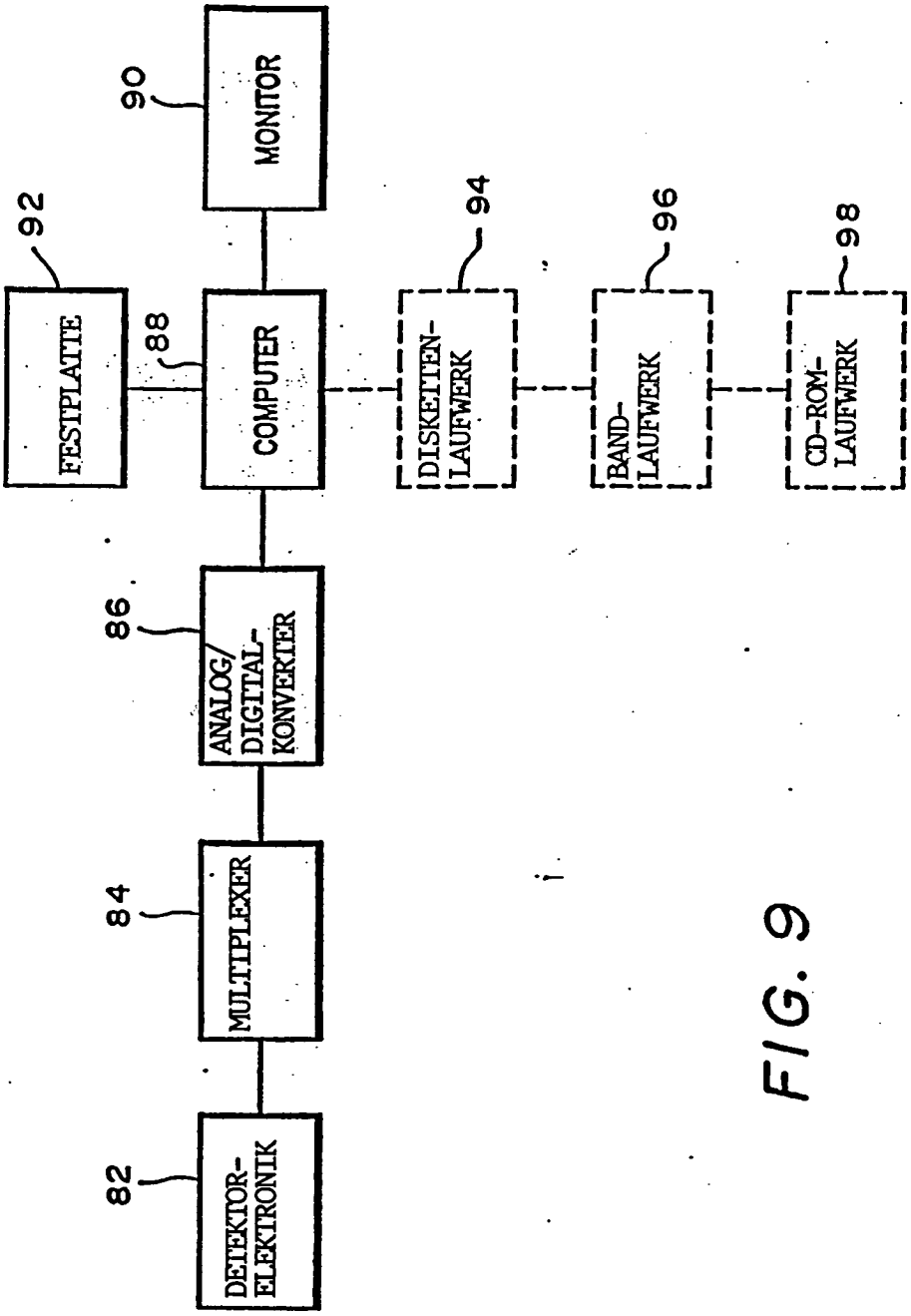

82
DETEKTOR-ELEKTRONIK
84
MULTIPLEXER
86
ANALOG/DIGITAL-KONVERTER
88
COMPUTER
90
MONITOR
92
FESTPLATTE
94
DISKETTEN-LAUFWERK
96
BAND-LAUFWERK
98
CD-ROM-LAUFWERK

FIG. 9

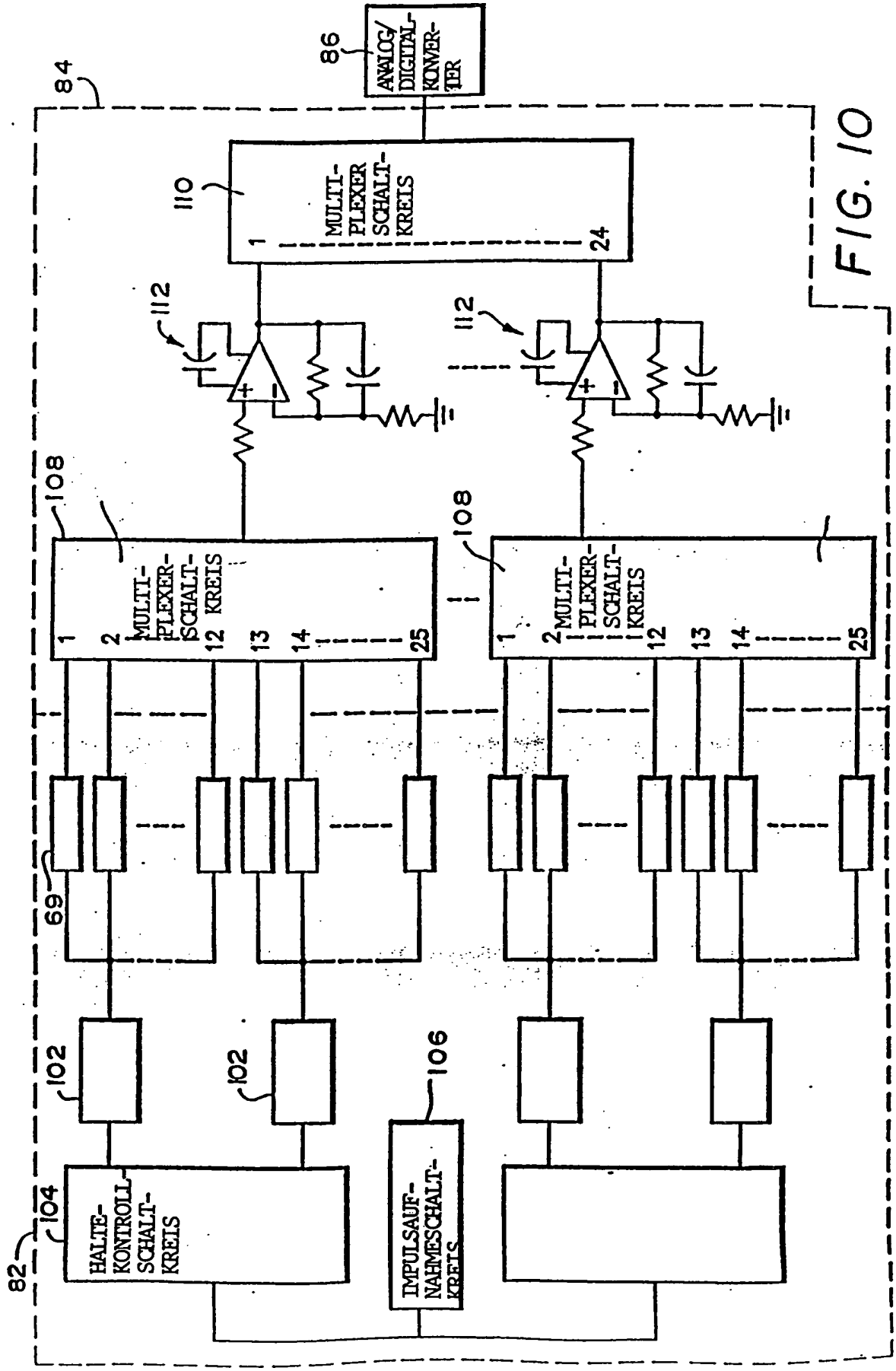

84
86
ANALOG/ DIGITAL-KONVERTER
110
MULTI-PLEXER SCHALT-KREIS
1
24
112
112
108
108
MULTI-PLEXER-SCHALT-KREIS
MULTI-PLEXER-SCHALT-KREIS
1
2
12
13
14
25
69
102
102
106
104
82
HALTE-KONTROLL-SCHALT-KREIS
IMPULSAUF-NAHMESCHALT-KREIS

FIG. 10

FIG. 11

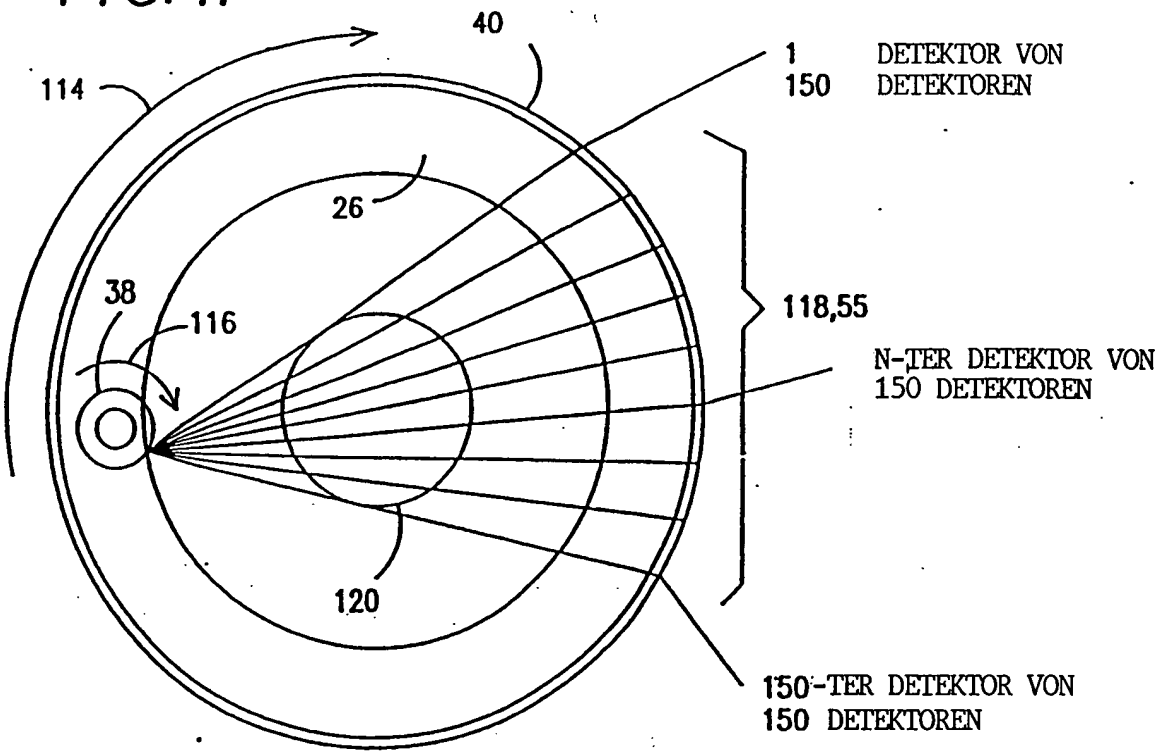

40
114
1
150
DETEKTOR VON
DETEKTOREN
26
38
116
118,55
N-TER DETEKTOR VON
150 DETEKTOREN
120
150-TER DETEKTOR VON
150 DETEKTOREN

FIG. 14

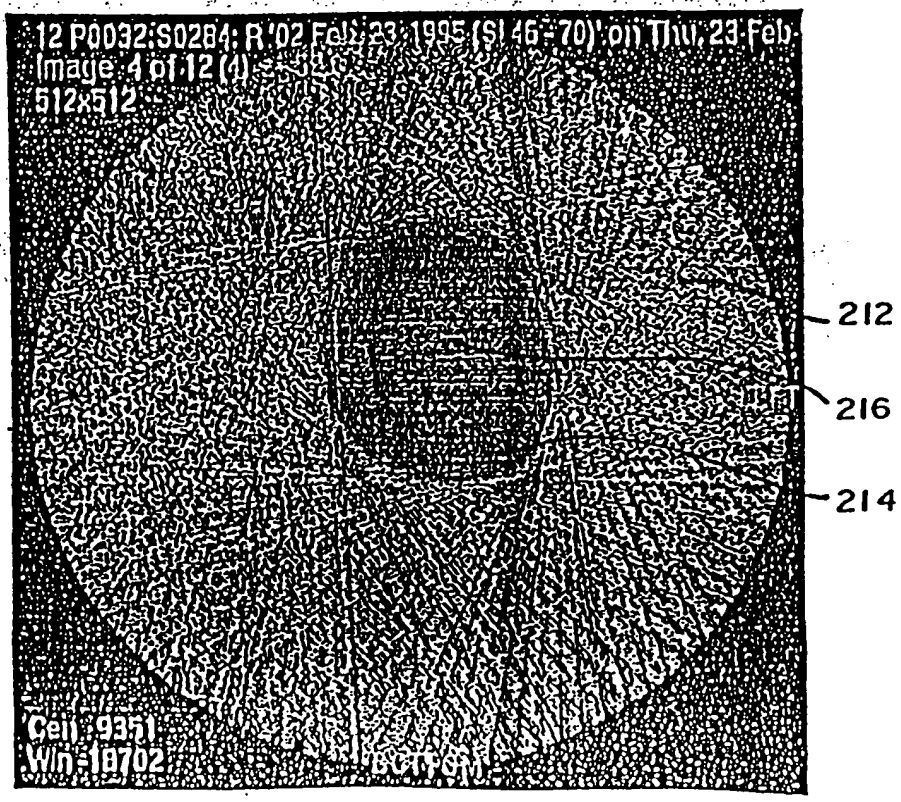

212
216
214

FIG. 12

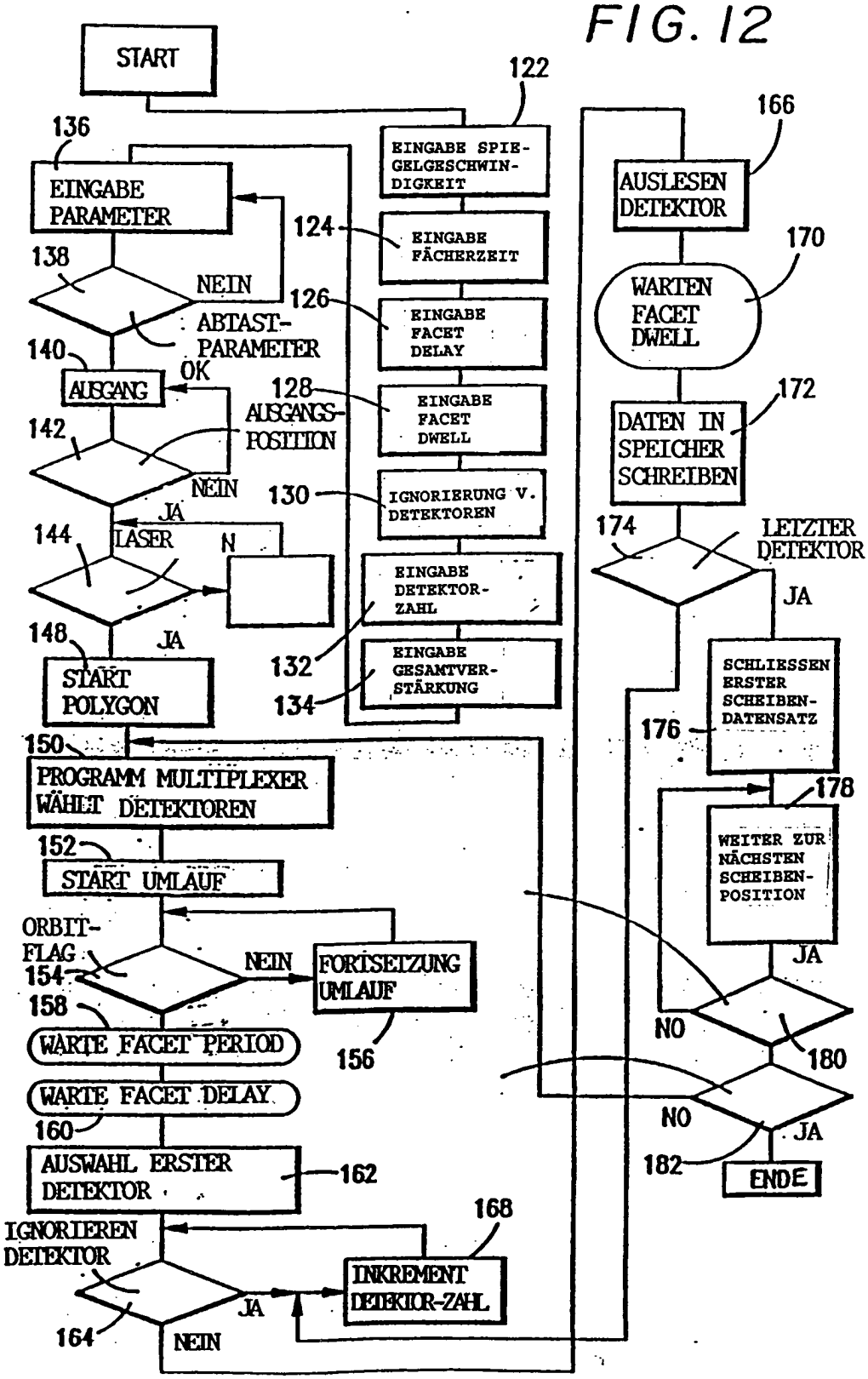
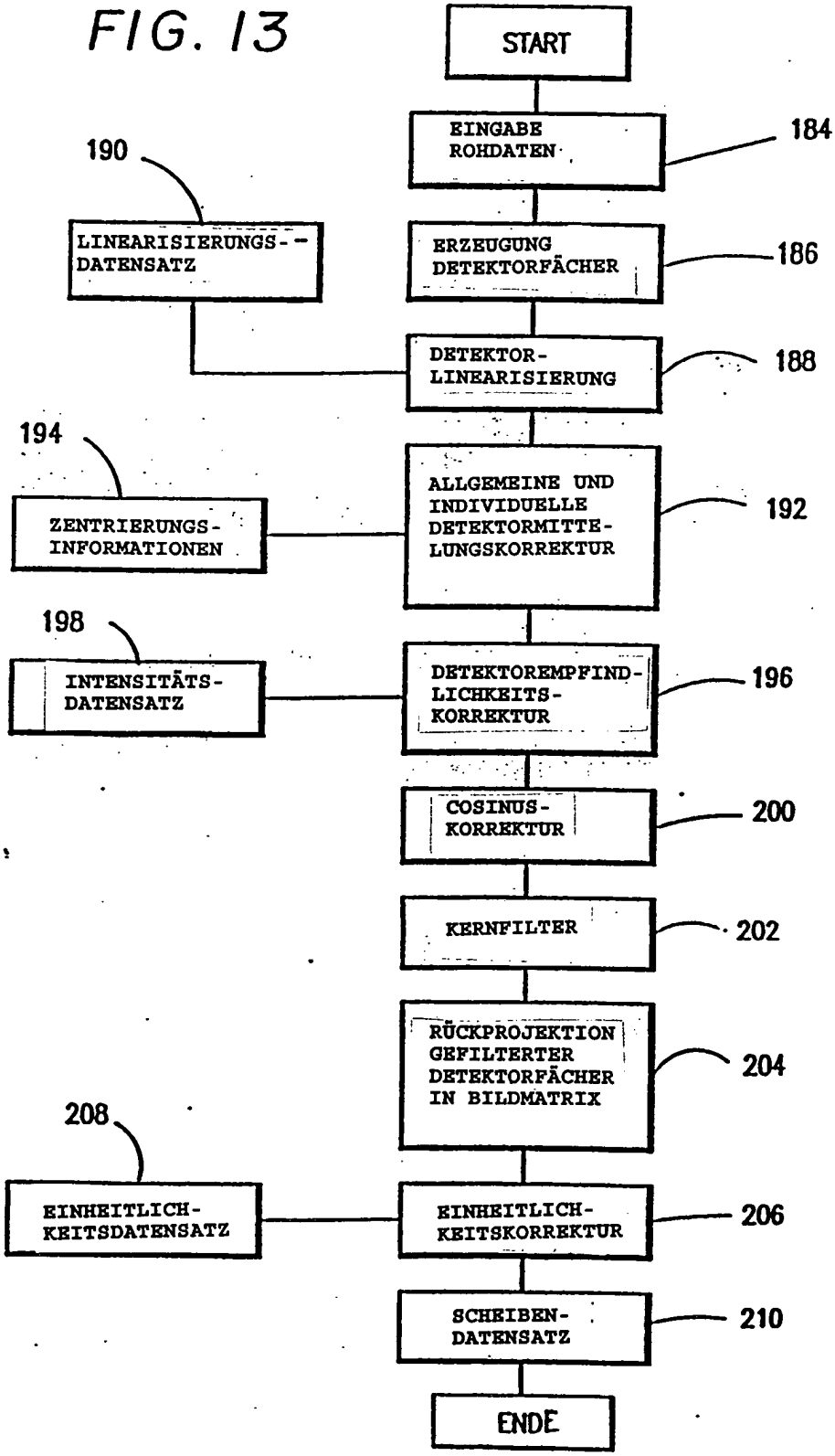

START
136
EINGABE PARAMETER
138
NEIN
ABTAST-PARAMETER
140
AUSGANG
OK
142
AUSGANGS-POSITION
NEIN
JA
144
LASER
N
148
JA
START POLYGON
150
PROGRAMM MULTIPLEXER WÄHLT DETEKTOREN
152
START UMLAUF
ORBIT-FLAG
154
NEIN
FORTSETZUNG UMLAUF
156
158
WARTE FACET PERIOD
WARTE FACET DELAY
160
AUSWAHL ERSTER DETEKTOR
162
IGNORIEREN DETEKTOR
164
JA
NEIN
168
INKREMENT DETEKTOR-ZAHL
122
EINGABE SPIEGELGESCHWINDIGKEIT
124
EINGABE FÄCHERZEIT
126
EINGABE FACET DELAY
128
EINGABE FACET DWELL
130
IGNORIERUNG V. DETEKTOREN
EINGABE DETEKTOR-ZAHL
132
EINGABE GESAMTVERSTÄRKUNG
134
166
AUSLESEN DETEKTOR
170
WARTEN FACET DWELL
172
DATEN IN SPEICHER SCHREIBEN
174
LETZTER DETEKTOR
JA
176
SCHLIESSEN ERSTER SCHEIBEN-DATENSATZ
178
WEITER ZUR NÄCHSTEN SCHEIBEN-POSITION
JA
NO
180
NO
JA
182
ENDE

FIG. 13


START
EINGABE ROHDATEN
184
190
LINEARISIERUNGS-DATENSATZ
ERZEUGUNG DETEKTORFÄCHER
186
DETEKTOR-LINEARISIERUNG
188
194
ZENTRIERUNGS-INFORMATIONEN
ALLGEMEINE UND INDIVIDUELLE DETEKTORMITTE-LUNGSKORREKTUR
192
198
INTENSITÄTS-DATENSATZ
DETEKTOREMPFIND-LICHKEITS-KORREKTUR
196
COSINUS-KORREKTUR
200
KERNFILTER
202
RÜCKPROJEKTION GEFILTERTER DETEKTORFÄCHER IN BILDMATRIX
204
208
EINHEITLICH-KEITSDATENSATZ
EINHEITLICH-KEITSKORREKTUR
206
SCHEIBEN-DATENSATZ
210
ENDE

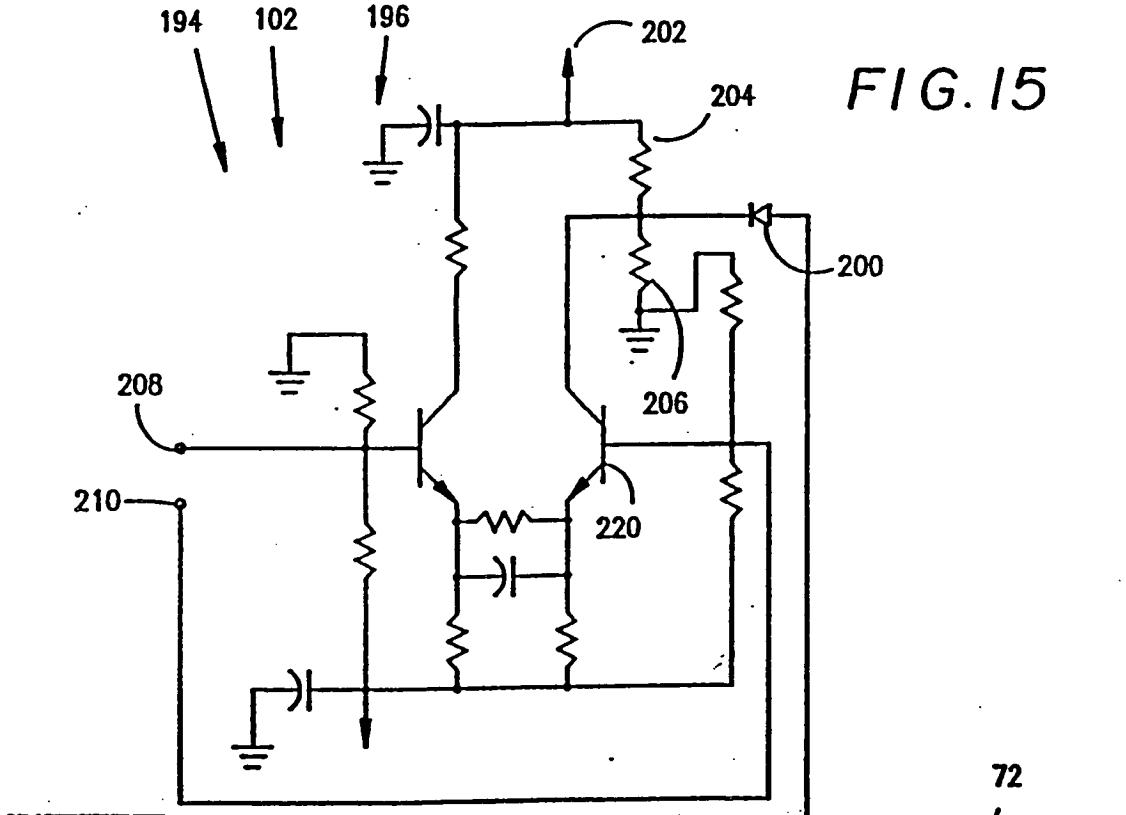

194
102
196
202
204
200
206
208
210
220
72
UMGEKEHRTE
BIAS-SPANNUNG
66
PHOTONEN
198
STROMIMPULS VON
AVALANCHE-FOTODIODE
APD
62
76

FIG. 15

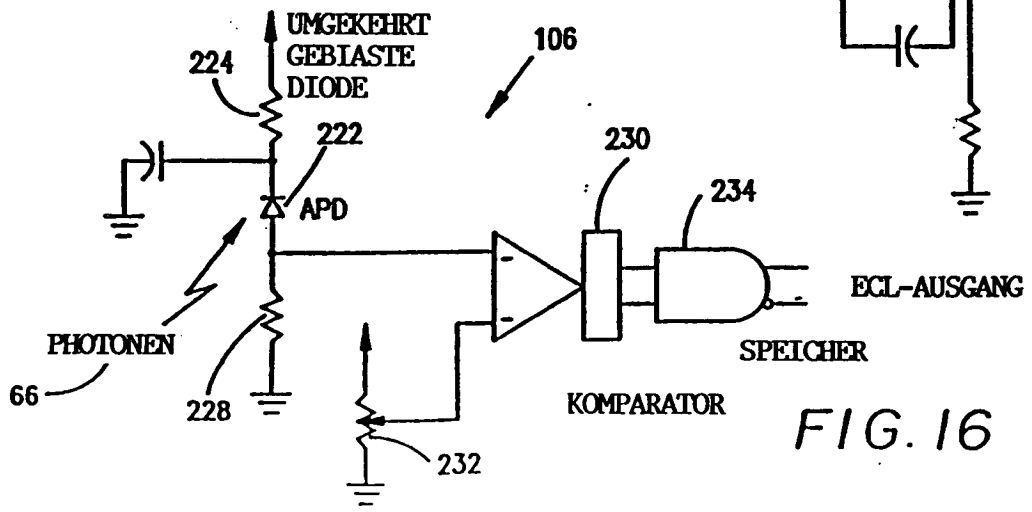

UMGEKEHRT
GEBIASTE
DIODE
224
106
222
230
234
APD
ECL-AUSGANG
PHOTONEN
66
228
SPEICHER
KOMPARATOR
232

FIG. 16

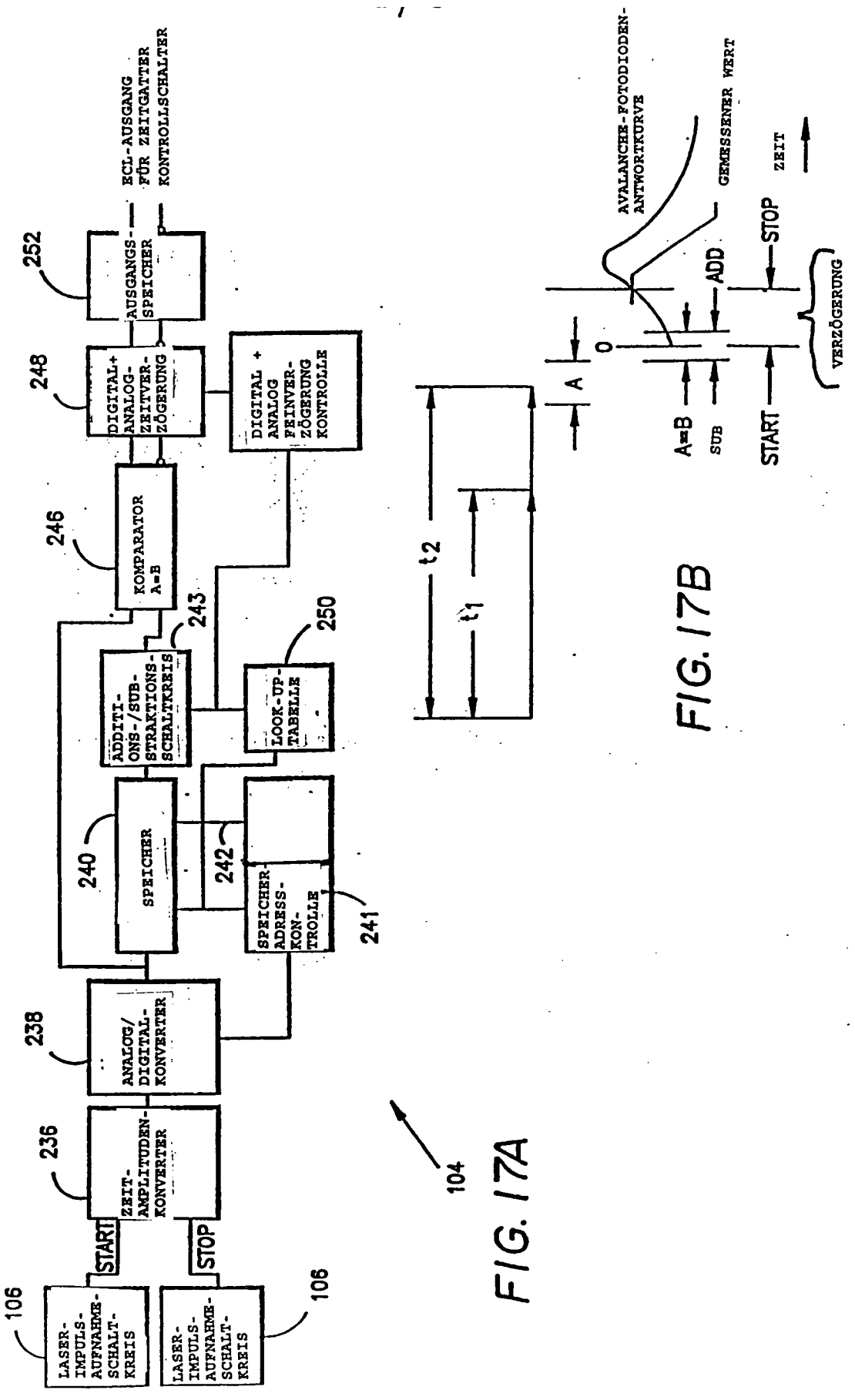


FIG. 17A

FIG. 17B

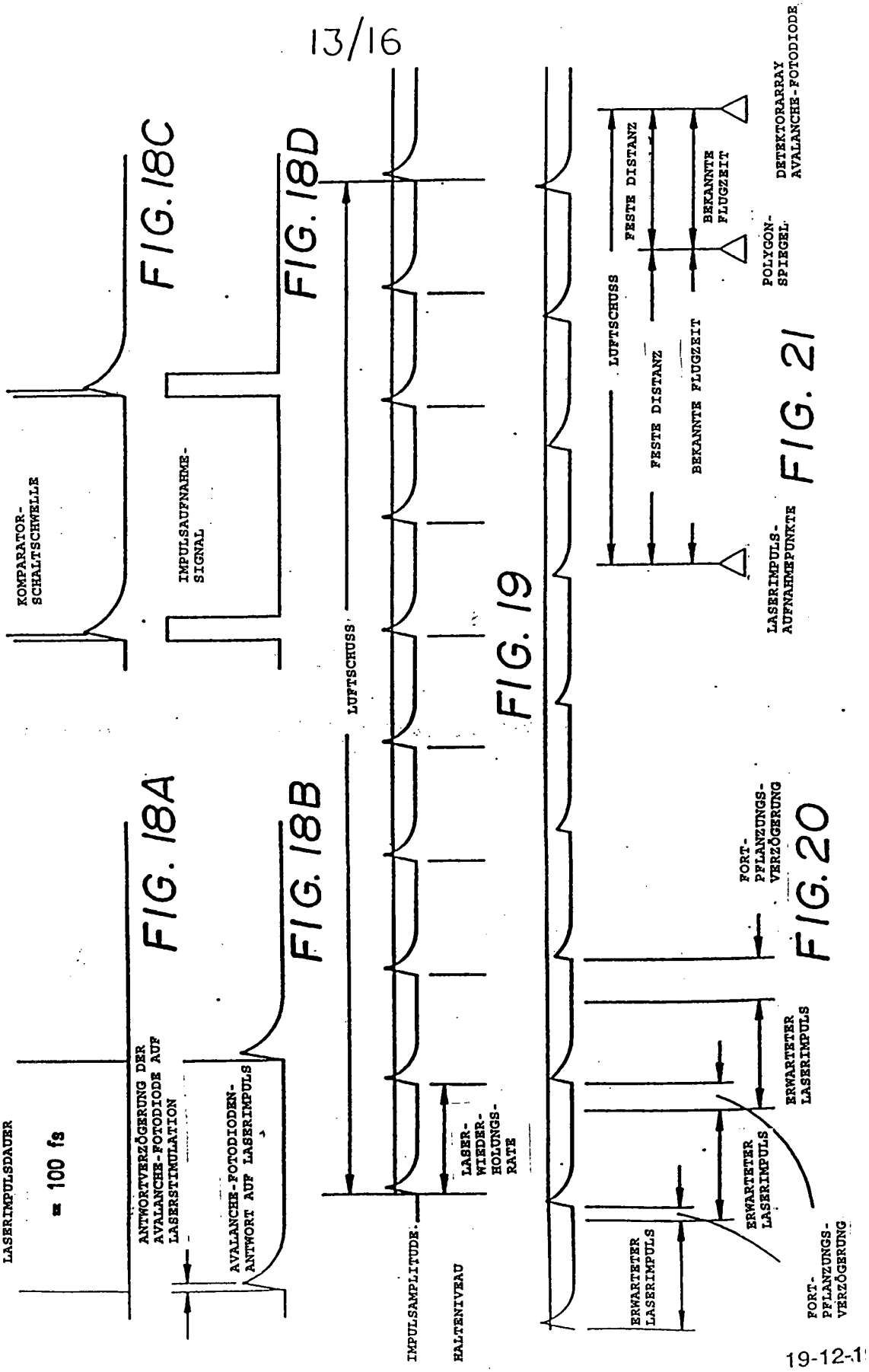


FIG. 18A

FIG. 18B

FIG. 18C

FIG. 18D

FIG. 19

FIG. 20

FIG. 21

19-12-1

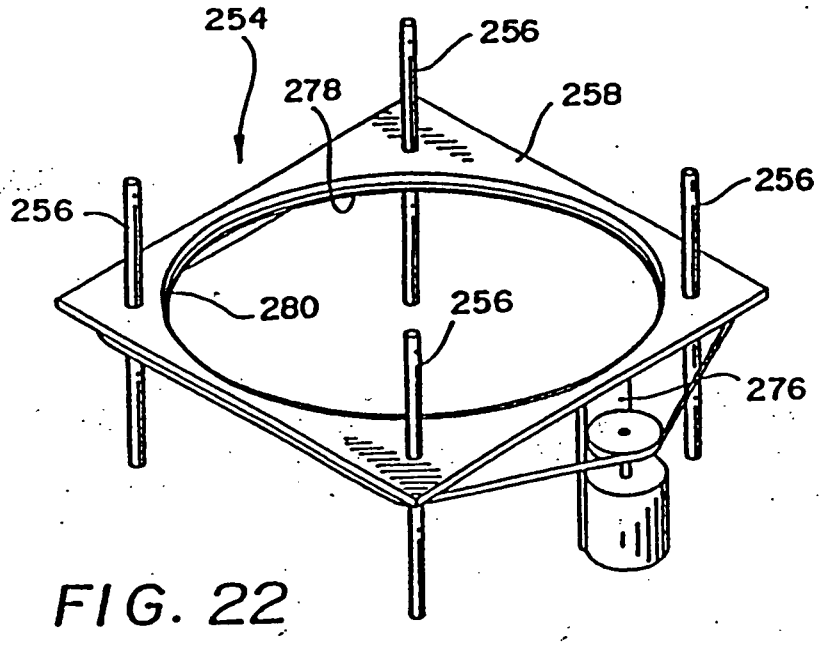

254
256
278
258
256
256
280
256
276

FIG. 22

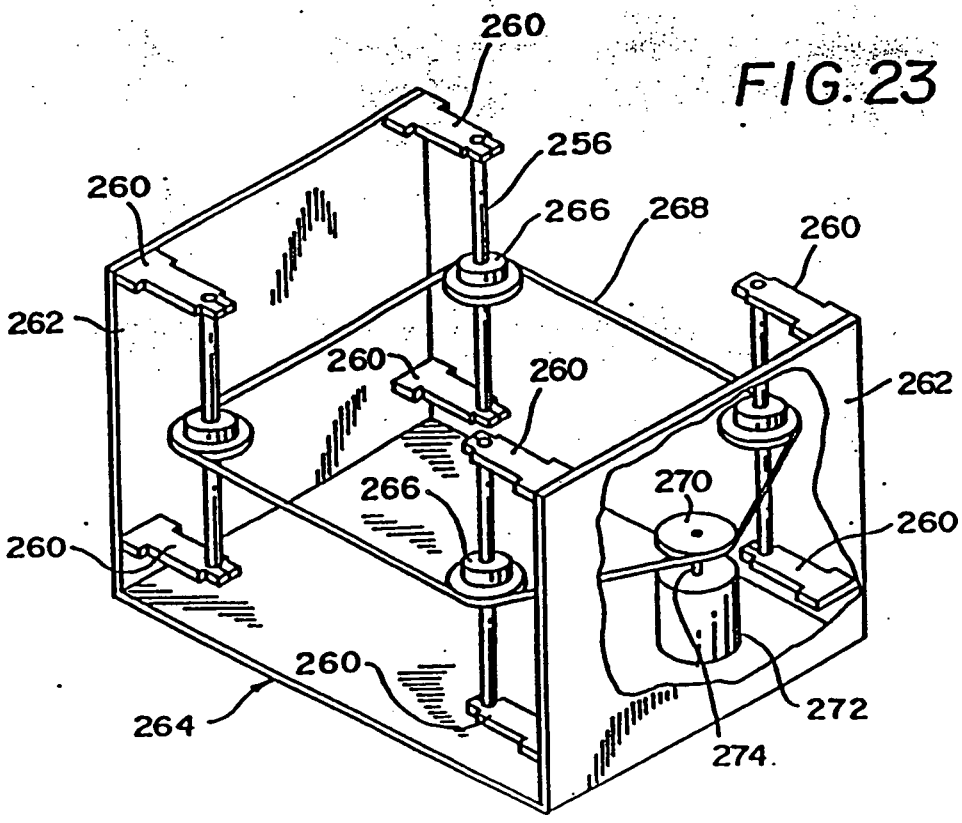

260
256
260
266
268
260
262
260
260
262
266
270
260
260
272
264
274

FIG. 23

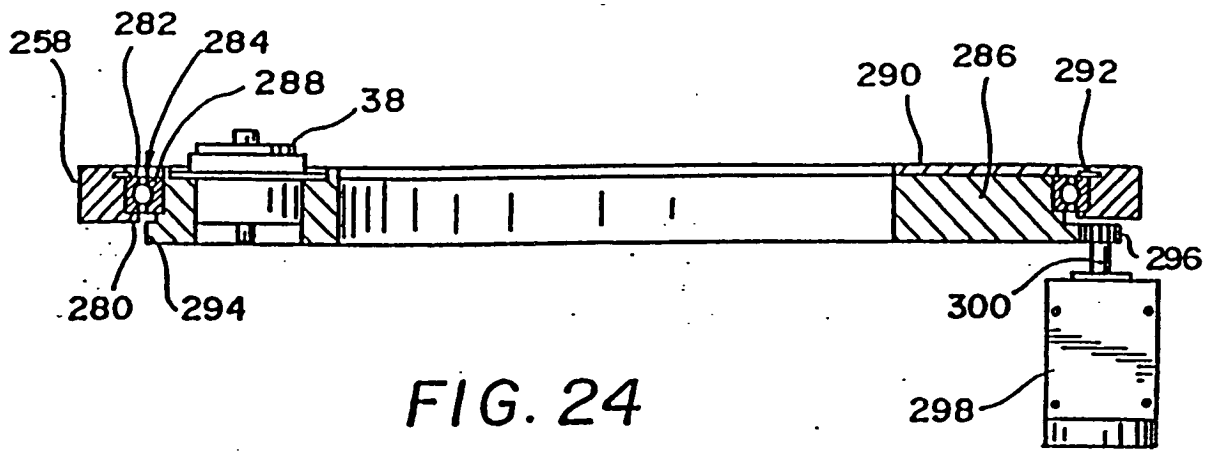

258
282
284
288
38
290
286
292
296
300
280
294
298

FIG. 24

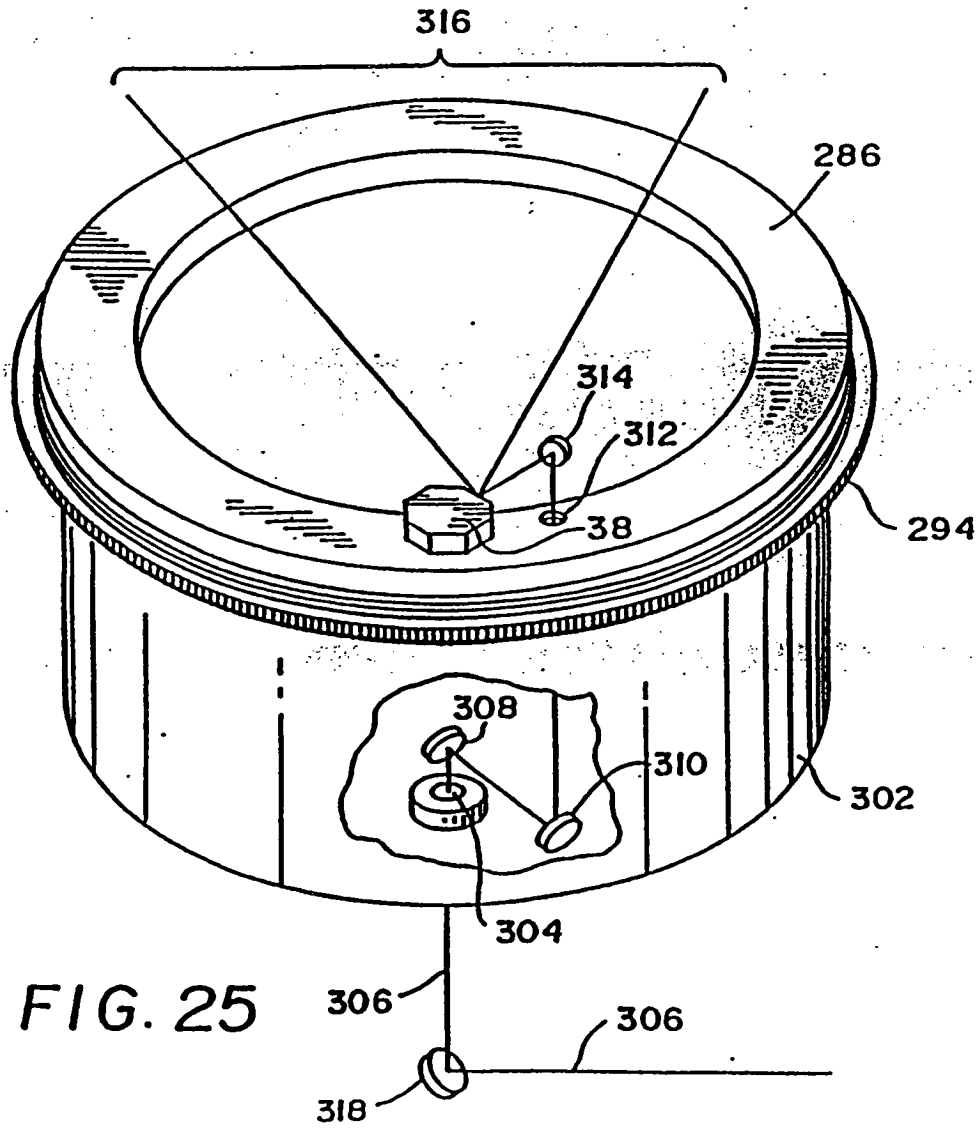

316
286
314
312
38
294
308
310
302
304
306
306
318

FIG. 25

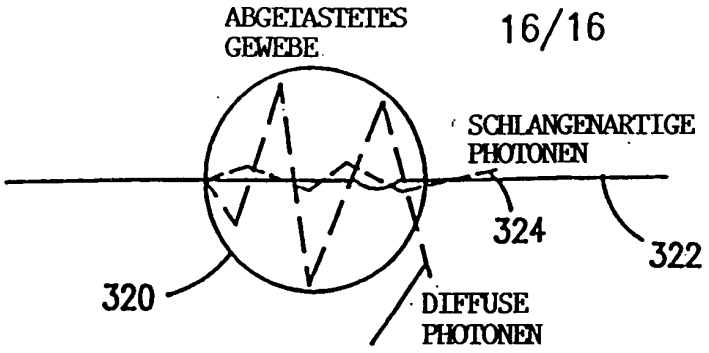


FIG. 26A

FIG. 26B

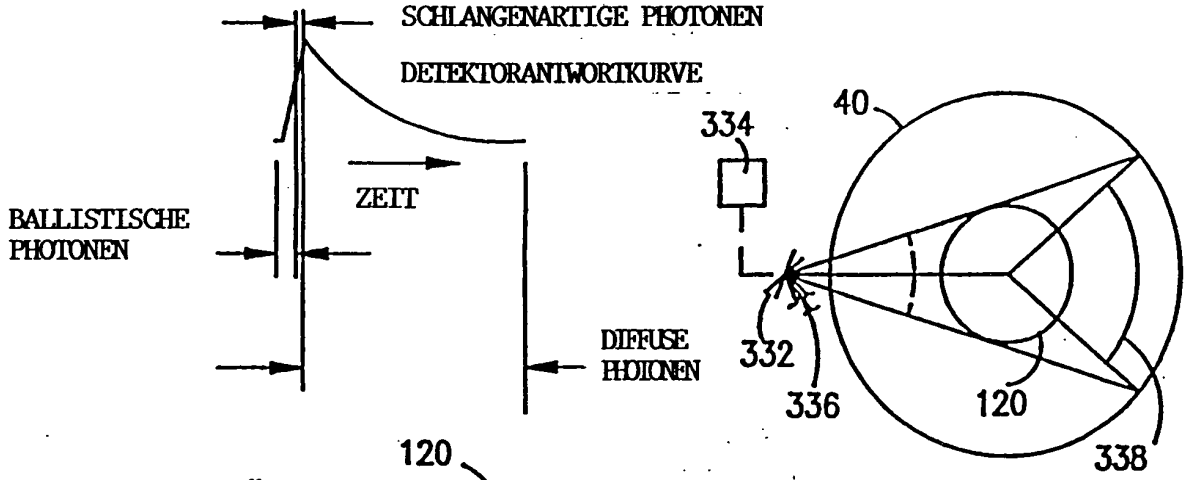


FIG. 28

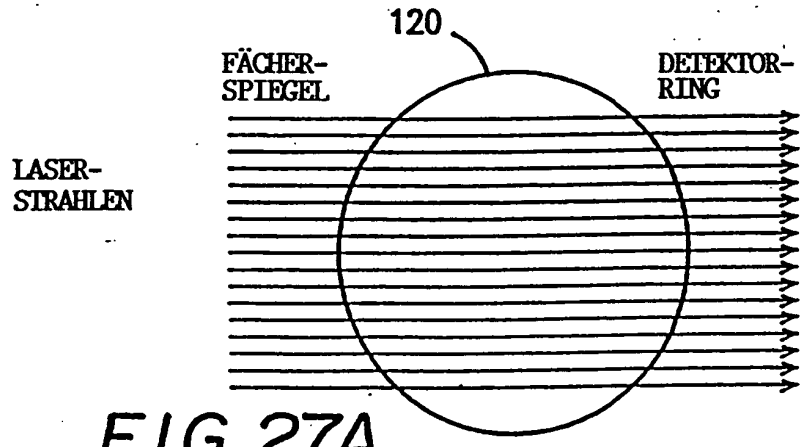


FIG. 27A

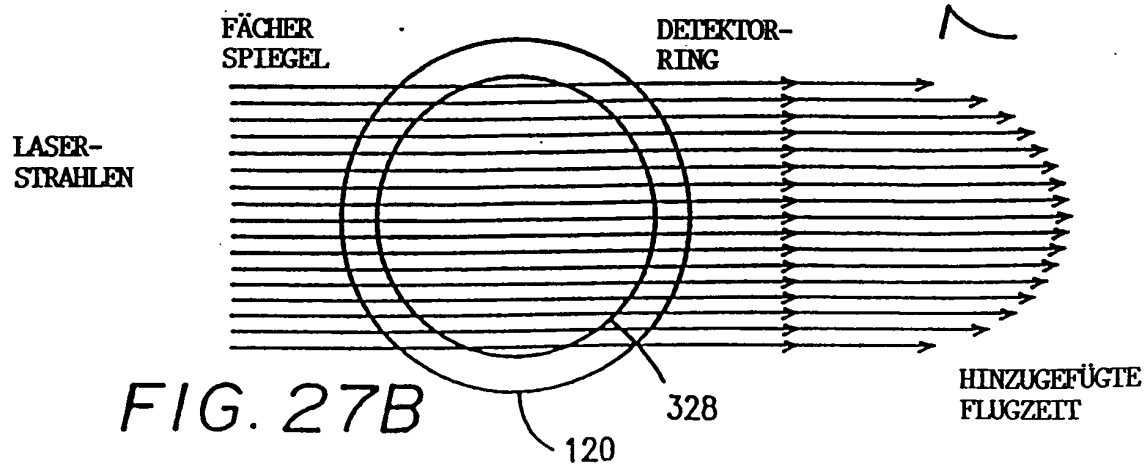


FIG. 27B