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

(10) **DE 695 34 972 T2** 2007.04.12

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 745 015 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 34 972.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US95/01731**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 909 534.0**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1995/022429**
(86) PCT-Anmeldetag: **09.02.1995**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **24.08.1995**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.12.1996**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **03.05.2006**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.04.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***B23K 26/06*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
199389 18.02.1994 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:
New Wave Research, Sunnyvale, Calif., US

(74) Vertreter:
Dr. Weber, Dipl.-Phys. Seiffert, Dr. Lieke, 65183 Wiesbaden

(72) Erfinder:
LEONG, P., Tony, San Jose, CA 95127, US; NORTH, S., Edward, Los Altos, CA 94024, US; HERBST, Linsley, Richard, Palo Alto, CA 94303, US

(54) Bezeichnung: **MEHRFACHWELLENLÄNGEN-LASEROPTIKSYSTEM FÜR EINE PRÜFSTATION UND LASER-SCHNEIDEN**

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

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft analytische Prüfstationen, wie sie zum Beispiel in Halbleiterherstellungs- und Testverfahren verwendet werden, Laserschneider, welche als getrennte Geräte oder mit den Prüfstationen verwendet werden, sowie Mehrwellenlängen-Lasersysteme, die für die Verwendung in dieser Umgebung geeignet sind.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Analytische Prüfstationen werden weitverbreitet in Halbleiterherstellungs- und Konstruktionseinrichtungen verwendet. Wenn ein Konstruktionsingenieur oder Fehleranalyst einen Schaltkreis austestet, so erfolgt dies häufig mit Hilfe einer analytischen Teststation. Die Teststation weist typischerweise eine Basismaschine mit einer Auflageplatte zum Befestigen von Sonden, Sonden zum Positionieren auf der Auflageplatte, ein Spannfutter oder Spannfutter auf welchen ein Halbleiter oder ein anderes Testobjekt der Prüfstation befestigt werden kann, eine Mikroskopbrücke, um ein Mikroskop zu tragen und ein Mikroskop, welches an der Mikroskopbrücke befestigt ist, auf. Die Sonden weisen mikroskopische Sondennadeln auf, die verwendet werden, um Signale zu prüfen und Messungen an verschiedenen Orten in dem integrierten Schaltkreis auszuführen.

[0003] Das Mikroskop hat ein Sichtfeld bzw. Bildfeld auf den Gegenstand der Prüfung, so daß ein Wissenschaftler oder Ingenieur eine Halbleitervorrichtung oder andere Komponenten während direkter Betrachtung prüfen kann. Ein beispielhaftes System ist als SUSS PM 5 Laborprüfer, hergestellt von Karl Suss, Waterbury Center, Vermont, bekannt. Der Laborprüfer ist typischerweise mit einer Auswahl an Mikroskopen erhältlich, einschließlich stereoskopischen Systemen mit relativ geringer Vergrößerung bis hin zu Prüfmikroskopen mit extrem hoher Vergrößerung.

[0004] Solche Prüfstationen werden oft für die Analyse von integrierten Schaltkreisen oder ähnlichen Vorrichtungen, wie z.B. für Flüssigkristall-(LCD-)Anzeigen verwendet, welche eine Mehrzahl von Materialschichten aufweisen. Zum Beispiel kann ein integrierter Schaltkreis auf einem Halbleiter mit einer oder mehreren Polysiliziumschichten, einer oder mehreren Oxid- oder Isolationsschichten und einer oder mehreren Metallschichten gebildet sein.

[0005] Um in der Lage zu sein, den integrierten Schaltkreis zu prüfen, muß die schützende Passivierungsschicht entfernt werden. Dies kann erfolgen, indem ein Ultraschallschneider, eine feste Sondenspitze (durch Kratzen), ein Plasma- oder chemischer Ätzprozeß, ein System mit fokussiertem Ionenstrahl oder ein Lasersystem verwendet wird, Der Laser ist durch das Mikroskop gepulst und kann das Passivierungsmaterial entfernen, so daß es dem Ingenieur ermöglicht wird, den Schaltkreis zu prüfen. Der Laser kann auch verwendet werden, um Schaltkreisleitungen zu schneiden, so daß ein Schaltkreis isoliert oder modifiziert wird.

[0006] Ähnlich können bei dem Herstellungsverfahren für LCDs mit großen Abmessungen Kurzschlüsse an verschiedenen Orten auftreten. Da große LCDs teuer sind, ist es ökonomisch, diese Kurzschlüsse zu reparieren. Ein Laser wird verwendet, um die Kurzschlüsse durch Fokussieren einer ausreichenden Energiedichte auf das kurzschließende Material, so daß es verdampft wird, zu entfernen. LCDs verwenden typischerweise Indium-Zinn-Oxid (Indium tin oxide, ITO) für die nahezu unsichtbaren, leitfähigen Leitungen auf dem LCD-Schirm. An den Rändern wird auch Chrom für leitfähige Busse verwendet. Ein Farbfilter wird in farbigen LCDs verwendet. Das Farbfiltermaterial kann ebenfalls Herstellungsfehler aufweisen, die repariert werden können. ITO-, Chrom- und verschiedene Farbfilter-Kurzschlüsse können mit einem Lasersystem repariert werden.

[0007] Entsprechend wurden einige Prüfstationen aus dem Stand der Technik mit Lasern verbunden. Ein typisches System ist aus dem Stand der Technik als der Xenon-Laserschneider, Modellnummer SUSS XLC, bekannt. Dieses System verwendet eine gepulste Xenon-Laserquelle, die durch spezielle Optiken, welche mit einem Mikroskop mit hoher Auflösung verbunden sind, auf die zu prüfende Vorrichtung gerichtet ist. Die vorherrschende Wellenlänge dieses Systems liegt in dem grünen optischen Bereich, so daß sie einfach durch die Mikroskop-Optiken hindurchgeht. Dieses Ein-Wellenlängen-System ist recht komplex. Der Xenon-Laser muß mit dem Mikroskop verbunden sein, so daß der Ausgang des Xenon-Lasers durch die Mikroskop-Optiken gelenkt wird. In einer Prüfstationsumgebung, welche bereits eine große Menge an Instrumentierung umfaßt, macht das Hinzufügen eines Lasersystems die Station viel größer und komplizierter. Darüber hinaus sind die Kosten sol-

cher Lasersysteme recht hoch.

[0008] Eine Beschränkung eines Laserschneidsystems für eine Prüfstation, welches eine einzige Wellenlänge erzeugt, ist, daß die einzige Wellenlänge für das Schneiden bestimmter Typen von Materialschichten nicht geeignet sein kann. Zum Beispiel weisen Halbleiter typischerweise auf Slliziumwafern abgeschiedene Aluminiumleitungen auf. Es können eine, zwei, drei oder vier Schichten von Metalleitungen, getrennt durch Zwischenschicht-Dielektrika, vorhanden sein. Die ganze Vorrichtung wird dann mit einem nicht-leitfähigen Passivierungsmaterial beschichtet, um den Schaltkreis zu schützen. Die Metalleitungen sind typischerweise aus Aluminium, können aber auch aus Gold- oder Titan-Wolfram sein. Die Passivierungsmaterialien sind typischerweise Siliziumdioxid, Siliziumnitrit und Polyimid.

[0009] Auf dem Halbleiterfehleranalyse-Markt liegt die universalste Wellenlänge in dem grünen Bereich. Die meisten Metalle absorbieren grüne Laserenergie sehr gut und werden normalerweise mit einem Impuls sehr leicht geschnitten. Die grüne Wellenlänge kann mit einem Xenon-Laser oder mit einem frequenzverdoppelten Nd:YAG-System erzeugt werden. Die meisten Passivierungsmaterialien sind für sichtbares Licht sowie für grüne Laserenergie transparent. Um Passivierungsmaterial zu entfernen, welches grüne Energie nicht absorbiert, muß man das darunterliegende Metall auf eine Temperatur erwärmen, welche das Passivierungsmaterial "herausbläst". Dies kann normalerweise erreicht werden, wenn das darunterliegende Metall eine ausreichende Masse hat, die nicht verdampft, wenn der Laserimpuls auftrifft. Es wird sehr schwierig, bestimmte Passivierungsmaterialien, wie zum Beispiel Nitride und Polyimide, zu entfernen, wenn die Metalleitung klein ist oder wenn man versucht, auf eine Metallschicht zuzugreifen, die unter einer oberen Metallschicht liegt oder wenn das darunterliegende Material Silizium oder Polysilizium ist.

[0010] Bestimmte Passivierungsmaterialien, insbesondere Nitride und Polyimide, können direkt mit ultravioletter Energie entfernt werden. Diese Materialien absorbieren UV-Energie direkt und werden langsam ablatiert, wobei mehrfache UV-Laserimpulse mit niedriger Energie verwendet werden. Leider absorbiert Siliziumdioxid die meisten UV-Wellenlängen (außer um 200 Nanometer herum) nicht und muß indirekt entfernt werden, wobei das obenbeschriebene Aufwärmverfahren verwendet wird. Infrarote Laserenergie ist auf dem Flachbildschirmreparaturmarkt weitverbreitet. Die meisten auf diesem Markt verwendeten Materialien absorbieren infrarote Wellenlängen. Jedoch absorbieren einige Materialien, wie zum Beispiel Chrom und einige Farbfiltermaterialien, die grüne Wellenlänge stärker. Auf diesem Markt müssen alle Materialien in dem Zielbereich entfernt werden und die Schnitte sind im Allgemeinen relativ groß, d.h. 5–40 Mikrometer.

[0011] Die Infrarot-Wellenlänge findet auch in dem Gebiet der Halbleiteranalyse Anwendung. Silizium ist im Allgemeinen für infrarote Energie transparent. Dies erlaubt es, Metalleitungen mit weniger Beschädigung des darunterliegenden Siliziums mit infraroter Energie zu entfernen, als dies mit grüner Energie erfolgen könnte. Wird grüne Energie verwendet, so kann die Schnittlinie das Substrat aufgrund der Erwärmung des Siliziums kurzschließen. Dies passiert weniger häufig im Infraroten, was dieses zu einer exzellenten Komplementärwellenlänge zu Grün für eine Halbleiterfehleranalyse macht.

[0012] Die folgende Tabelle faßt die Leistungsfähigkeit für einige Wellenlängen an bekannten Materialien zusammen:

1064 nm (Infrarot)	532 nm (Grün)	355 nm (Ultraviolett)
ITO	ITO	Nitrit
Chrom	Chrom	Polyimid
Farbfilter	Farbfilter	
	Siliziumdioxid	
	Nitrit	
	Polyimid (große Schnitte)	
	SOG	
	Polysilizium	
	Gold	
	Aluminium	
	Wolfram	

[0013] Jedoch war der Stand der Technik nicht in der Lage, zwei Lichtwellenlängen aus einem einzigen Lasersystem bereitzustellen. Daher verwendete die Prüfstation oder der Laserschneider, die in der Lage sind, mehr als eine Lichtwellenlänge bereitzustellen, zwei oder mehr getrennte Lasersysteme, wodurch sie sehr groß und sperrig wurden. Zum Beispiel kombiniert ein System aus dem Stand der Technik einen Excimer-Laser, der Ultraviolettes bereitstellt, mit einem verdoppelten YAG-Laser in einer einzigen Prüfstation, wie einer Kombination des Modells LCM-308 EXCIMER LASERSCHNEIDER-ANBAU mit dem Laser des Modells LCP GRÜNER YAG-LASERSCHNEIDER, beide hergestellt von Florod Corp. aus Gardena, Kalifornien. Jedoch ist der Excimer-Laser eine große sperrige Vorrichtung, welche komplizierte, röhrenförmige Wellenleiter benötigt, um die Laserenergie zu den Mikroskop-Optiken zu leiten. Dieses System ist sehr teuer und verbraucht wertvollen Laborraum.

[0014] Daher gibt es eine Nachfrage nach einem Mehrwellenlängen-Lasersystem zur Verwendung in einer Prüfstation oder einem Laserschneider, welche ökonomisch, klein in der Größe und effizient ist.

[0015] Die japanische Patentanmeldung Nr. 2192885 offenbart eine Zurichtstation zum Zurichten des Materials von Halbleiterwafern. Die Station weist Mittel zum Bewegen eines Trägers auf, auf welchem der Wafer befestigt ist, ein Mikroskop zum genauen Bestimmen der Position des Wafers und einen Laser zum Zurichten des Halbleiters, wenn er richtig angeordnet ist.

[0016] Die deutsche Anmeldung Nr. 4029530 offenbart einen Laser, welcher einen Resonator aufweist, innerhalb dessen ein Filter vorgesehen ist. Ausgewählte Wellenlängen werden von dem Laser durch einen Polarisator ausgegeben, so daß die Laserleistung gesteuert wird. Nichtlineare Optiken können vorgesehen werden, so daß eine Frequenzverdopplung oder -verdreifachung der gewählten Wellenlänge erreicht wird.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0017] Ein Aspekt der Erfindung stellt ein Prüfstationssystem bereit, mit: einem Fuß, einem Spannfutter, das an dem Fuß befestigt ist, um eine zu analysierende oder zu prüfende Vorrichtung zu halten, einer Prüfauflageplatte, die an dem Fuß befestigt ist, um Sonden zu halten, einem Mikroskop, das an dem Fuß befestigt ist, wobei es ein Sichtfeld auf die Vorrichtung auf dem Spannfutter hat und einem Laser, der an dem Mikroskop montiert ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser einen Ausgangsstrahl durch die Mikroskop-Optiken auf einem Strahlpfad an ein Sichtfeld des Mikroskops bereitstellt, wobei der Laser Optiken aufweist, um den Ausgangsstrahl auf dem Strahlpfad wahlweise in einer Mehrzahl von Wellenlängen zu erzeugen und wobei das Mikroskop Optiken aufweist, die für die Mehrzahl von Wellenlängen durchlässig sind, und wobei die Mehrzahl von Wellenlängen mehr als zwei wählbare Wellenlängen für den Ausgangsstrahl aufweist und wobei das System darüber hinaus einen variablen Abschwächer für die Mehrzahl von Wellenlängen aufweist.

[0018] Ein weiterer Aspekt der Erfindung stellt ein Laserschneidsystem bereit, mit: einem Fuß, einem Objekttisch, der an dem Fuß montiert ist, um eine Probe zu halten, einem Mikroskop, das an dem Fuß montiert ist, welches ein Sichtfeld auf der Probe auf dem Objekttisch hat und einem Laser, der an dem Mikroskop montiert ist, welcher einen Ausgangsstrahl durch die Mikroskop-Optiken bereitstellt, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser den Ausgangsstrahl auf dem Strahlpfad an das Sichtfeld des Mikroskops bereitstellt, wobei der Laser Optiken aufweist, um den Ausgangsstrahl auf dem Strahlpfad wahlweise in einer Mehrzahl von Wellenlängen zu erzeugen und wobei das Mikroskop Optiken aufweist, die für die Mehrzahl von Wellenlängen durchlässig sind und wobei die Mehrzahl von Wellenlängen mehr als zwei auswählbare Wellenlängen für den Ausgangsstrahl aufweist und wobei das System darüber hinaus einen variablen Abschwächer für die Mehrzahl von Wellenlängen aufweist.

[0019] Ein weiterer Aspekt der Erfindung stellt ein Lasersystem zum wahlweisen Bereitstellen einer oder mehrerer aus einer Mehrzahl von Wellenlängen auf einem einzigen Strahl bereit, mit: einem Festkörperlaser, der einen Ausgangsstrahl bei einer Fundamentalwellenlänge erzeugt und einem optischen System, das den Laserausgangsstrahl in einem einzigen Strahlpfad aufnimmt, das den Ausgangsstrahl in einer oder mehreren nicht-linearen Optiken in mehr als zwei Wellenlängen umwandelt, den Strahlversatz zwischen den Wellenlängen so korrigiert, daß die Wellenlängen auf dem einzigen Strahlpfad passieren bzw. verlaufen und das wahlweise jede aus einer Mehrzahl von Wellenlängen auf dem Strahlpfad überträgt, und einem variablen Abschwächer in dem Strahlpfad für die Mehrzahl von Wellenlängen und schaltbaren Optiken, um die Wellenlänge des Ausgangsstrahls auszuwählen.

[0020] Ein weiterer Aspekt der Erfindung stellt ein Lasersystem zum wahlweisen Bereitstellen einer oder mehrerer verschiedener Wellenlängen auf einem einzigen Strahl zur Verfügung, mit: einem passiv luftgekühlten

elektro-optisch gütegeschalteten Nd:YAG-Laser, der einen Ausgangsstrahl bei einer Fundamentalwellenlänge erzeugt und einem optischen System, das einen einzigen Strahlpfad hat, wobei das optische System aufweist: einen ersten nicht-linearen Kristall in dem einzigen Strahlpfad, um eine zweite harmonische Fundamentalwellenlänge zu erzeugen, einen zweiten nicht-linearen Kristall in dem einzigen Strahlpfad, um mindestens eine dritte oder eine vierte harmonische Fundamentalwellenlänge zu erzeugen, einen variablen Abschwächer in dem einzigen Strahlpfad zum Abschwächen der Fundamentalwellenlänge, der zweiten Harmonischen und mindestens der dritten oder der vierten Harmonischen sowie schaltbare Optiken in dem einzigen Strahlpfad, um die Wellenlängen des Ausgangsstrahls aus der Fundamentalwellenlänge, der zweiten Harmonischen und mindestens der dritten oder der vierten Harmonischen auszuwählen.

[0021] Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung stellt eine Prüfstation bereit, die eine Basismaschine aufweist, ein Spannfutter, das an der Basismaschine befestigt ist, um eine zu prüfende Vorrichtung (device under test, DUT) zu halten, eine Prüfauflageplatte, die an der Basismaschine befestigt ist, an der Sonden für den DUT befestigt werden können, ein Mikroskop, das an der Basismaschine befestigt ist, wobei es ein Sichtfeld auf den DUT auf dem Spannfutter aufweist und einen einzigen Laser, der an dem Mikroskop montiert ist. Der einzige Laser stellt einen Ausgangsstrahl durch die Mikroskop-Optiken auf einem Strahlpfad an das Sichtfeld des Mikroskops zur Verfügung. Der Laser weist Optiken auf, um den Ausgangsstrahl auswählbar auf dem Strahlpfad aus einer Mehrzahl von Wellenlängen auszuwählen.

[0022] Ein bevorzugtes System weist einen Festkörperlaser, einen harmonischen Erzeuger, der mit dem Festkörperlaser verbunden ist und schaltbare Optiken zum Auswählen der Wellenlänge des Ausgangsstrahls aus mehr als zwei auswählbaren Wellenlängen in den infraroten, sichtbaren und ultravioletten Bereichen auf.

[0023] Wellenlängen können in diesen Ausführungsformen aus der Fundamentalwellenlänge des Lasers und einer der Harmonischen aus einer Mehrzahl von Harmonischen des Lasers ausgewählt werden oder aus der Fundamentalen und einer Mehrzahl von Harmonischen des Lasers. Zusätzlich weist das Lasersystem einen variablen Abschwächer auf, der auf die Mehrzahl von Wellenlängen, die als Ausgänge auswählbar sind, wirkt. Der variable Abschwächer beruht auf einer neuen Lambda-Halbe-Platte, die im Wesentlichen eine Halbwellenphasenverzögerung für die fundamentale und für die zweiten, dritten und vierten Harmonischen bereitstellt.

[0024] Der Laser weist gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung einen passiv luftgekühlten elektro-optisch gütegeschalteten (Q-switched) Nd:YAG-Laser auf. Eine oder mehrere nicht-lineare Optiken sind in dem Strahlpfad montiert, so daß mindestens eine Harmonische der Fundamentalwellenlänge erzeugt wird. Dieser Laser stellt ein kompaktes, vibrationsfreies System zur Verfügung, welches einen Ausgang in dem Infraroten (1064 Nanometer), in dem Grünen (532 Nanometer) und in dem Ultravioletten (355 Nanometer oder 266 Nanometer) bereitstellt. Diese Wellenlängen entsprechen der Fundamental-Ausgangswellenlänge des Nd:YAG-Lasers, der zweiten Harmonischen und entweder der dritten oder vierten Harmonischen des Lasers.

[0025] Ein variabler Abschwächer ist in dem Strahlpfad für die Mehrzahl von Wellenlängen angeordnet, mit welchem ein Benutzer die Leistung aller Ausgangswellenlängen steuern kann. Letztlich sind schaltbare Optiken in dem Strahlpfad vorgesehen, so daß die Wellenlänge des Ausgangsstrahls aus der Fundamentalwellenlänge und der Mehrzahl von Harmonischen ausgewählt wird. Die schaltbaren Optiken führen zu einem Bereitstellen des Ausgangsstrahls auf dem gleichen Strahlpfad durch das Mikroskop unabhängig von dem gewählten Ausgang.

[0026] Wenn die Fundamental-Ausgangswellenlänge des Lasersystems als ein von dem System auswählbarer Ausgang gewünscht ist, tritt ein zusätzliches Problem auf. Insbesondere können die nicht-linearen Optiken einen Walkoff der Fundamentalwellenlänge verursachen. In dieser Ausführungsform ist eine Optik in dem Strahlpfad enthalten, welche den Walkoff kompensiert, so daß, wenn sie ausgewählt ist, die Fundamentalwellenlänge auf dem Strahlpfad durch das Mikroskop bereitgestellt wird.

[0027] Darüber hinaus weisen die schaltbaren Optiken gemäß dem bevorzugten Lasersystem eine Mehrzahl von Filtern auf, die auf einem Mechanismus zum Schalten eines aus der Mehrzahl von Filtern ausgewählten Filters in den Strahlpfad montiert sind. Wie oben erwähnt, ist, wenn die Fundamentalwellenlänge als Ausgang erwünscht ist, das Filter, welches verwendet wird um die Fundamentalwellenlänge auszuwählen, unter einem vorbestimmten Winkel zum Strahlpfad angeordnet, um den Walkoff zu kompensieren. In dieser Ausführungsform ist es kritisch, daß die Mehrzahl von Wellenlängen in dem IR, Sichtbaren und UV, die für die Prüfstation verwendet werden, übereinstimmend entlang eines einzigen Strahlpfads durch die Mikroskop-Optiken und mit gesteuerter Abschwächung bereitgestellt werden.

[0028] Der variable Abschwächer gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung stellt eine Abschwächung bei allen auswählbaren Wellenlängen für den Ausgangsstrahl bereit. Der variable Abschwächer weist eine Lambda-Halbe-Platte in dem Strahlpfad auf, welches auf die Mehrzahl von Wellenlängen abgestimmt ist. Ein Polarisator ist vorhanden und ein Mechanismus zum Drehen der Verzögerungsplatte, um die Mehrzahl von Wellenlängen abzuschwächen. Die Verzögerungsplatte muß vorsichtig konstruiert sein, so daß sie effizient bei allen für mögliche Ausgänge gewünschten Wellenlängen arbeitet.

[0029] Das Lasersystem gemäß der vorliegenden Erfindung ist kompakt, vibrationsfrei und relativ preiswert. Ein Aufbau des Lasersystems weist einen passiv luftgekühlten elektro-optisch gütegeschalteten Nd:YAG-Laser auf, der einen Strahl bei einer Fundamentalwellenlänge entlang einem Strahlpfad erzeugt. Ein erster nicht-linearer Kristall ist in dem Strahlpfad montiert, um eine zweite Harmonische der Fundamentalwellenlänge zu erzeugen. Ein zweiter nicht-linearer Kristall ist in dem Strahlpfad montiert, um mindestens eine der dritten und vierten Harmonischen der Fundamentalwellenlänge zu erzeugen. Ein variabler Abschwächer ist für die Fundamentalwellenlänge, die zweite Harmonische und zumindest die dritte oder vierte Harmonische in dem Strahlpfad montiert. Letztlich wählen schaltbare Optiken in dem Strahlpfad die Wellenlänge des Ausgangsstrahls aus der Fundamentalwellenlänge, der zweiten Harmonischen und zumindest der dritten oder der vierten Harmonischen aus. Modelle mit zwei oder drei Wellenlängen der vorliegenden Erfindung sind 6,25 Zoll breit, 12 Zoll hoch und 5 Zoll tief. Die Systeme wiegen nur 8 Pfund.

[0030] Aufgrund der kompakten Größe und vibrationsfreien Einrichtung kann der Laser gemäß der vorliegenden Erfindung in einem Mikroskop montiert werden, so daß ein einfacher Mehrwellenlängen-Laserschneider gebildet wird als eine Alternative zu der oben diskutierten Ausführungsform einer Prüfstation.

[0031] Die Prüfstation und das Lasersystem gemäß der vorliegenden Erfindung sind für die exakten Anforderungen des Halbleiter-Mikromaschinenbaus für Design-Verifikation und -Bewertung, Fehleranalyse und LCD-Reparaturanwendungen geeignet. Das vibrationsfreie, luftgekühlte Festkörpersystem kombiniert einen einfachen Betrieb, geringe Größe, überragende Gleichförmigkeit und Stabilität in einem einzigen Instrument mit guter Leistungsfähigkeit. Das Mehrwellenlängensystem stellt eine erhöhte Flexibilität für eine Auswahl von Anwendungen zur Verfügung.

[0032] Andere Aspekte und Vorzüge der Erfindung sind anhand der Betrachtung der Figuren, der detaillierten Beschreibung und der Ansprüche, die folgen, ersichtlich.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0033] Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht einer analytischen Prüfstation mit einem Mehrwellenlängenlaser,

[0034] Fig. 2A und Fig. 2B stellen die Anordnung eines Mehrwellenlängenlasers dar,

[0035] Fig. 3A und Fig. 3B stellen den Mechanismus zum Bewegen von Filtern in und aus dem Strahlpfad in den optischen Anordnungen aus Fig. 2A, Fig. 2B und Fig. 4 dar.

[0036] Fig. 4 stellt die optische Anordnung einer alternativen Laserkonstruktion dar,

[0037] Fig. 5 ist eine perspektivische Ansicht eines Laserschneidsystems, welches ein Mikroskop mit einem daran montierten Mehrwellenlängenlaser aufweist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0038] Eine detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist gemäß den Figuren gegeben, in denen Fig. 1 eine Prüfstation mit einem daran befestigten Mehrwellenlängenlaser darstellt. Fig. 1 liefert ein vereinfachtes Diagramm einer analytischen Prüfstation. Ein wichtiges Merkmal einer analytischen Prüfstation ist die kompakte Größe, um wertvollen Laborraum zu sparen. Jedoch sind die Stationen komplexe Maschinen, die dafür vorgesehen sind, eine breite Auswahl von Prüfanwendungen zu erfüllen.

[0039] Die Prüfstationen bestehen aus einer Basismaschine **10**, welche typischerweise einen Grundrahmen, eine Mikroskopmontagbrücke **11**, einen Verschiebetisch **12** für X- und Y-Einstellungen, Kabel für Sondenköpfe und ähnliches (nicht gezeigt), einen Mechanismus **13** zum Ermöglichen einer Rotation eines Probenfutters und andere aus dem Stand der Technik bekannte Merkmale aufweist. Wie in der Figur dargestellt weist die Basis-

maschine **10** eine Auswahl von Steuerungen, zum Beispiel **14** und **15**, auf, die zum Einrichten der Prüfstation für eine bestimmte Anwendung verwendet werden.

[0040] Auch ist in der Probenstation ein Probenfutter **16** vorgesehen mit typischerweise magnetisch oder vakuumangetriebenen Anordnungen zum Halten eines Probenobjekts auf dem Futter **16**. Dem Futter benachbart ist eine Prüfauflageplatte **17**, auf der eine Mehrzahl von Sondenköpfen **18**, **19** angeordnet wird. Die Sondenköpfe **18** sind mit den Sondenarmen **20**, **21** verbunden, die sich auf den Gegenstand der Prüfung erstrecken.

[0041] Ein Mikroskop **22** ist an der Mikroskopbrücke **11** befestigt. Das Mikroskop weist eine Mehrzahl von Objektivlinsen **23**, wie aus dem Stand der Technik bekannt, auf. Typischerweise ist das Mikroskop **22** ein stereoskopisches Mikroskop, wie zum Beispiel das Mitutoyo FS-60-Mikroskop, welches von MTI Corporation in City of Industry, Kalifornien, erhältlich ist.

[0042] Ein Mehrwellenlängenlaser **24** ist an dem Mikroskop **22** befestigt. Der Mehrwellenlängenlaser **24** ist kompakt, so daß er genau an das Mikroskop paßt, und er reduziert die Verschwendung teurer Laborressourcen. Der Mehrwellenlängenlaser **24** ist mit einer Stromversorgung **25** verbunden, mit welcher die Parameter des Ausgangsstrahls gesteuert werden. Eine elektrische Nabelschnur **26** ist zwischen die Stromversorgung **25** und den Mehrwellenlängenlaser **24** geschaltet. Der Laser kann an dem Kameraanschluß des Mikroskops oder an einem dafür vorgesehenen Laseranschluß einiger verfügbarer Mikroskope montiert sein. Der Strahl wird durch das Mikroskop gerichtet und tritt durch das Mikroskop-Objektiv in das Gesichtsfeld aus. Der Strahl wird auf eine kleine Fläche, die durch das verwendete Objektiv und die Größe einer variablen Blende in dem Laserkopf bestimmt ist, fokussiert. Hochleistungsobjektive fokussieren den Strahl auf kleinere Flächen als Objektive für niedrigere Leistungen, und sie erzeugen eine ausreichende Energiedichte, um viele Materialien zu schmelzen oder zu verdampfen. Ein 100X-Objektiv erzeugt die vierfache Energiedicht eines 50X-Objektivs. Ein 20X-Objektiv erzeugt nur 16% der Energiedichte eines 50X-Objektivs.

[0043] Mikroskope sind im allgemeinen für sichtbares Licht konstruiert und daher wird die Energie von Lasern mit sichtbarem Licht am einfachsten durch die Mikroskop-Optiken durchgelassen. Viele Mikroskophersteller bieten Infrarotversionen ihrer Mikroskope an, welche zusätzlich zu dem sichtbaren Licht Nahinfrarot-Energie durchlassen. Einige Mikroskophersteller entwickeln auch Mikroskope, die Nah-UV-Energie zusätzlich zum sichtbaren Licht durchlassen.

[0044] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform hat der Mehrwellenlängenlaserkopf Dimensionen von ungefähr 12 Zoll Höhe mal 6,25 Zoll Breite mal 5 Zoll Tiefe einschließlich einem Kamera-Adapter. Er besteht aus einem passiv luftgekühlten Nd:YAG-Laser, Optiken in dem Strahlpfad des Lasers zum Erzeugen einer Mehrzahl von Harmonischen der Fundamentalwellenlänge, einem variablen Abschwächer, der für alle auswählbaren Ausgangswellenlängen betreibbar ist und schaltbare Optiken, die verwendet werden, um die Ausgangswellenlänge infolge des Betriebs eines Schalters auszuwählen. Das Lasersystem ist elektro-optisch gütegeschaltet und arbeitet kontinuierlich bei 1 Hz, oder es kann auf Anforderung ein einziger Schuß abgefeuert werden. Alle aus der Mehrzahl von Wellenlängen werden entlang eines einzigen Strahlpfads in den Mikroskop-Optiken bereitgestellt, so daß sie einheitlich in dem Gesichtsfeld des Mikroskops auf dem Gegenstand der Prüfstation angeordnet sind. Zusätzlich weist das Lasersystem einen variablen XY-Verschluß auf, so daß der Ausgangsstrahl einen rechtwinkligen Querschnitt mit steuerbarer Größe auf dem Gegenstand des DUT aufweist. Der Laserkopf verwendet eine Invar-stabilisierte Resonatorkavität, auf der die Optiken des Lasers montiert sind. Dies stellt einen problemlosen Betrieb unter normalen Betriebsbedingungen sicher. Die Blitzlampe und die Stromversorgung sind passiv luftgekühlt, ohne die Verwendung von Lüftern oder anderen aktiven Kühlungsmechanismen. Dies verhindert Vibrationen an der Prüfstation, welche kritisch beim Prüfen von Halbleitervorrichtungen und ähnlichem sind, die submikrometer-Dimensionen aufweisen können.

[0045] Eine Anordnung der optischen Konstruktion des Lasersystems in der bevorzugten Ausführungsform ist in Fig. 2A und Fig. 2B beschrieben. Das Lasersystem weist einen blitzlampengepumpten, elektro-optisch gütegeschalteten Nd:YAG-Laser **100** auf, zum Beispiel den kommerziell erhältlichen, luftgekühlten ACL-1 Laser, der von dem Inhaber der vorliegenden Anmeldung, New Wave Research, Inc., aus Sunnyvale, Kalifornien, erhältlich ist. Dieses System weist einen Invar-stabilisierten, elektro-optisch gütegeschalteten und passiv luftgekühlten Laserresonator auf. Der Laser **100** weist einen Reflektor **101** mit hoher Reflektivität, einen elektro-optischen Q-Switch (Güteschalter) **102**, ein blitzlampengepumptes Nd:YAG-Verstärkungsmedium **103** und einen Ausgangskoppler **104** auf. Der Ausgang des Lasers **100** wird entlang dem Strahlpfad **105** durch einen ersten, nicht-linearen Kristall **106** zum Erzeugen der zweiten Harmonischen der Fundamental-Ausgangswellenlänge des Lasers **100** bereitgestellt. In dem bevorzugten System ist dieser nicht-lineare Kristall KTP, welcher für eine Frequenzverdopplung der 1064 Nanometer-Linie des YAG-Lasers ausgelegt ist. Das nächste Element

in dem Strahlpfad **105** ist ein hochreflektierender Spiegel **107** für die Fundamentalwellenlänge und für die zweite harmonische Wellenlänge. Der Spiegel **107** richtet den Strahlpfad unter einem 90°-Winkel durch einen Polarisator **108** um die Fundamentalwellenlänge des Lasers neu zu polarisieren. Die Fundamentalwellenlänge wird hinter dem Verdopplerkristall **106** für eine effizientere Abschwächung neu polarisiert. Die neu polarisierte Fundamental-Frequenz und die frequenzverdoppelte Komponente werden dann entlang dem Strahlpfad **105** durch einen zweiten, nicht-linearen Kristall **109** geleitet. Der zweite nicht-lineare Kristall **109** in dem bevorzugten System wird zum Erzeugen der dritten Harmonischen und der vierten Harmonischen der Fundamentalwellenlänge verwendet. In dieser Ausführungsform besteht er aus Beta-Barium-Borat (BBO), welches entweder für die Erzeugung der dritten oder der vierten Harmonischen ausgelegt ist.

[0046] Die Fundamentale, die zweite Harmonische und die dritte oder vierte Harmonische werden dann entlang dem Strahlpfad **110** zu einem hochreflektierenden Spiegel **111** geleitet, der für die Fundamentalwellenlänge, die zweite Harmonische, die dritte Harmonische und die vierte Harmonische hochreflektierend ist. Der Spiegel **111** lenkt den Strahl um 90° ab durch einen variablen Abschwächer **112**.

[0047] Der variable Abschwächer **112** weist eine Mehrwellenlängen-Verzögerungsplatte **113** und einen Calcit-Polarisator **114** auf. Die relative Winkelposition dieser beiden Vorrichtungen wird gesteuert, wobei ein aus dem Stand der Technik bekannter Mechanismus **115** verwendet wird, so daß die Abschwächung des Laserstrahls auf dem Pfad **105** gesteuert wird.

[0048] Die Mehrwellenlängen-Verzögerungsplatte, welche bei jeder der vier identifizierten Wellenlängen arbeitet, muß eine optische Dicke aufweisen, welche nahe einer ungeraden Zahl von halben Wellenlängen aller der interessierenden Wellenlängen liegt. Es wurde entdeckt, daß eine kristalline Quarzplatte von optischer Qualität, die eine physikalische Dicke von nahe 0,77901 Millimetern aufweist, ungefähr 180 Grad relative Phasenverzögerung der e- und o-Wellen für jede der Fundamentalen, der zweiten Harmonischen, der dritten Harmonischen und der vierten Harmonischen (1064, 532, 355, 266 nm) bereitstellt. Dies entspricht der Halbwelle **63**. Ordnung bei den 266 Nanometern der vierten Harmonischen. Obwohl die relative Phasenverzögerung keine exakte Halbwelle für alle vier Wellenlängen ist, liegt sie nahe genug, so daß wenn sie mit einem Polarisator kombiniert wird, ein Abschwächer gebildet wird, der bei allen vier Wellenlängen arbeitet. In der beschriebenen Ausführungsform beträgt die Transmission des Abschwächers, wenn dieser offen ist, ungefähr 100% für die vierte Harmonische, ungefähr 99,4% für die dritte Harmonische, ungefähr 98,6% für die zweite Harmonische und ungefähr 89,3% für die Fundamentale. Andere Dicken für die Lambda-Halbe-Platte können verwendet werden, um ähnliche Ergebnisse zu erreichen, aber diese ist aufgrund der höheren Transmission bei Wellenlängen niedrigerer Leistung der zweiten, dritten und vierten Harmonischen bevorzugt. Zum Beispiel transmittiert eine Dicke von ungefähr 0,0865 Millimetern ungefähr 100% bei 266, 89% bei 355, 100% bei 532 und 62% bei 1064. Eine Dicke von ungefähr 0,3091 Millimetern hat eine Transmission von ungefähr 100% bei 266, 98% bei 355, 77% bei 532 und 99% bei 1064. Eine Dicke von ungefähr 0,5564 Millimetern hat eine Transmission von 100% bei 266, 85% bei 355, 87% bei 532 und 96% bei 1064. Eine Dicke von ungefähr 0,9274 Millimetern hat eine Transmission von 100% bei der fünften Harmonischen (213 Nanometer), ungefähr 100% Transmission bei 266, 85% bei 355 und 88% bei 1064, obwohl sie keine Transmission bei der zweiten Harmonischen hat. Für eine Lambda-Halbe-Platte mit einer Platte ist es daher erforderlich, die Dicke unter ungefähr 1 Millimeter zu halten, um das Auftreten von thermischen Problemen, die mit dickeren Platten verbunden sind, zu vermeiden.

[0049] Der abgeschwächte Strahl wird auf dem Pfad **105** aus dem variablen Abschwächer **112** durch einen schaltbaren Filtermechanismus **116** bereitgestellt. Der schaltbare Filtermechanismus trägt eine Mehrzahl von Filtern, die zum Auswählen der Ausgangswellenlänge des Systems verwendet werden. Durch Bewegen eines aus der Mehrzahl von wellenlängenselektiven Filtern in den Strahlpfad wird die Ausgangswellenlänge ausgewählt.

[0050] Die nicht-linearen Kristalle **109** zum Erzeugen der dritten und vierten Harmonischen verursachen einen Walkoff oder Versatz der harmonischen Wellenlängen, so daß diese von dem Strahlpfad **105** um einen Betrag von ungefähr einem halben Millimeter getrennt sind. Dieser Walkoff ist für das mikroskopmontierte Lasersystem unerwünscht, in dem der Ausgangsstrahl für alle ausgewählten Wellenlängen entlang des gleichen Strahlpfads in das Gesichtsfeld des Mikroskops verlaufen sollte.

[0051] Durch Verkippen des Filters **117**, welches verwendet wird, um die dritten und vierten harmonischen Wellenlängen auszuwählen, wird dieser Walkoff korrigiert. Daher werden die dritten und vierten harmonischen Wellenlängen und die anderen Wellenlängen entlang dem Strahlpfad **105** ausgerichtet bereitgestellt, unabhängig davon, welche Wellenlänge ausgewählt ist.

[0052] Der KTP-Kristall **106**, der zur Erzeugung der zweiten Harmonischen ausgerichtet ist, verursacht einen vernachlässigbaren Walkoff. Daher ist der BBO-Kristall **109** primär für den Walkoff verantwortlich, der von den schaltbaren Optiken **116** korrigiert werden sollte, wobei verkippte Farbglasfilter verwendet werden, welche den erwünschten Ausgang auswählen.

[0053] Als nächstes befindet sich das Teleskop **118** in dem Strahlpfad **105**. Dieses Teleskop wird so verwendet, daß der Strahl um etwa das Dreifache von ungefähr einem 3 Millimeter-Querschnitt auf ungefähr einen 9 Millimeter-Querschnitt aufgeweitet wird. Dies erlaubt eine Anpassung des Querschnitts des Strahls mit der unten beschriebenen steuerbaren X-Y-Apertur **120**. Hinter dem Teleskop **118** wird der Strahl entlang dem Pfad **105** auf einen Reflektor mit hoher Reflektivität **119** geleitet, der für die vier auswählbaren Ausgangswellenlängen reflektierend ist. Der Strahl wird an dem Reflektor **119** um 90° auf den Reflektor **150** abgelenkt. Der Reflektor **150** ist bei den harmonischen Wellenlängen und bei den zweiten, dritten und vierten Harmonischen der harmonischen Wellenlängen reflektierend. Auch transmittiert er in der beschriebenen Ausführungsform bei 600 Nanometern und darüber, so daß sichtbares Licht von einer Weißlichtquelle **151**, wie zum Beispiel einer weißen 150 Watt-Lampe, in dem Strahlpfad durchgelassen wird, so daß es als ein Zielstrahl oder ein Meßpunktmarkierer arbeitet.

[0054] Der Reflektor **150** richtet den Strahlpfad durch eine X-Y-Blende **120**, welche so verwendet wird, daß ein quadratischer oder ein rechteckiger Querschnitt des an das Mikroskop bereitgestellten Strahls erzeugt wird.

[0055] Der Strahl verläuft von der Apertur **120** zu einem Strahlteiler **121**. Der Strahlteiler **121** transmittiert 50% oder mehr bei allen der vier vom Ausgangssystem auswählbaren Wellenlängen. Der Ausgang des Lasersystems wird dann auf den Strahlpfad **122** in die Mikroskop-Optiken geleitet und auf einem zu der Zeichnung in Fig. 2A senkrechten Pfad zu einem Kamera-Adapter **123**, wie in Fig. 2B gezeigt. Ein Bild des Gesichtsfeldes des Mikroskops wird an dem Strahlteiler **121** auf den Spiegel **124** in dem Kamera-Adapter **123** reflektiert. Der Kamera-Adapter weist einen Anschluß **125** auf, mit dem eine Videokamera oder ein anderes bildgebendes System mit der Anordnung verbunden werden kann.

[0056] Die in den Fig. 2A und Fig. 2B dargestellte Laseranordnung ist in der Lage, drei auswählbare Ausgangswellenlängen mit dem Umlegen eines Schalters für eine Prüfstation oder einen Laserschneider bereitzustellen. Durch Abstimmen des nicht-linearen Kristalls **109**, so daß entweder die dritten oder vierten Harmonischen ausgewählt werden, kann das Lasersystem so angepaßt werden, daß eine Fundamental-Ausgangswellenlänge in dem Infraroten, die zweite Harmonische in dem Sichtbaren oder die dritte Harmonische in dem Ultravioletten ausgewählt wird oder so, daß die Fundamental-Ausgangswellenlänge in dem Infraroten, die zweite Harmonische in dem Sichtbaren oder die vierte Harmonische in dem Ultravioletten ausgewählt wird.

[0057] Der variable Abschwächer **112** und die schaltbaren Optiken **116** sind insbesondere so konstruiert, daß sie die Probleme bewältigen, die mit Mehrwellenlängen-Lasersystemen verbunden sind, welche gesteuerte, abgeschwächte Ausgänge auf einem einzigen Strahlpfad mit den erhöhten Anforderungen von Prüfstationen oder Laserschneidern bereitstellen sollen.

[0058] Da die Optiken, einschließlich dem Abschwächer **112** und den Reflektoren mit hoher Reflektivität **111**, **119** und **150** bei allen vier möglichen Wellenlängen arbeiten, kann das Lasersystem aus Fig. 2A durch Einfügen eines zusätzlichen, nicht-linearen Kristalls hinter dem Kristall **109** auf ein Vier-Wellenlängensystem ausgedehnt werden. Alle Änderungen in dem Walkoff des Strahls werden, wie zuvor, durch Anpassen der Verkippung der Filter ausgeglichen.

[0059] Ein vereinfachtes Diagramm der schaltbaren Optiken gemäß der vorliegenden Erfindung wird in Fig. 3A und Fig. 3B bereitgestellt. Fig. 3B stellt ein Rad **200** dar, auf welchem eine Mehrzahl von Filtern **201**, **202**, **203** und **204** befestigt ist. Jedes Filter weist ein Farbglasfilter auf, das so konstruiert ist, daß es eine bestimmte Ausgangswellenlänge auswählt. Alternativ kann eine Mehrzahl der Filter auf dem Rad die gleich Wellenlänge auswählen, aber verschiedene Beträge der Abschwächung dieser Wellenlänge bereitstellen. Daher können die Filter **201** und **202** die dritten bzw. zweiten Harmonischen der harmonischen Wellenlängen auswählen. Die Filter **203** und **204** können die fundamentale Ausgangswellenlänge mit einer 70%igen Abschwächung bzw. einer 50%igen Abschwächung auswählen. Je nach Bedarf kann das Rad erweitert werden, um eine größere Anzahl an Filtern zu tragen. Auch kann mehr als ein Rad hintereinander verwendet werden, um eine Mehrzahl von Wirkungen zu erzielen.

[0060] Um den Walkoff zu korrigieren, ist der Filter **201**, welcher die dritten oder vierten harmonischen Wel-

lenlängen auswählt, mit einer Verkippung montiert. Fig. 3B stellt eine Seitenansicht des auswählbaren optischen Mechanismus bereit, welcher ein Rad **200** aufweist. Das Rad **200** ist an einem Motor zum Auswählen der Position des Filters montiert. Die Filter **202**, **203** und **204** sind eben montiert, so daß sie die fundamentalen und zweiten harmonischen Wellenlängen gerade durchlassen, wenn sich das passende Filter in dem Strahlpfad **105** befindet. Jedoch ist das Filter **201** mit einer Verkippung montiert, so daß der Walkoff **205** der dritten oder vierten harmonischen Wellenlängen auf dem Pfad **206** kompensiert wird. In dem bevorzugten System wird ein Farbglasfilter verwendet, welches eine Dicke von 2,5 Millimetern aufweist und das um etwa 18° verkippt ist, um den von einem BBO-Kristall, der zur Erzeugung der dritten Harmonischen ausgerichtet ist, verursachten Walkoff zu kompensieren. Wenn der BBO-Kristall für die vierte Harmonische ausgerichtet ist, beträgt der Verkippungswinkel des Filters ungefähr 20°.

[0061] Für ein System, welches konstruiert ist, um eine ultraviolette Ausgangswellenlänge (355 oder 266 Nanometer) bereitzustellen, müssen die Optiken der meisten kommerziellen Mikroskope durch UV-durchlässige Optiken ersetzt werden. Daher muß das Mitutoyo FS-60-Mikroskop mit einem Strahlteilerprisma und einem Zoom-Objektivanbau ausgestattet werden, die aus Quarzglas hergestellt sind, welches alle interessierenden Wellenlängen durchläßt. Ein Objektiv, welches UV-durchlässig ist, ist kommerziell von dem Hersteller des Mitutoyo-Mikroskops erhältlich.

[0062] Die KTP- und BBO-Kristalle können durch eine breite Auswahl an nicht-linearen Kristallen, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind, ersetzt werden. Jedoch ist KTP recht effizient für eine Frequenzverdopplung der 1064 Nanometer-Linie des Nd:YAG-Lasers. Auch tritt die Verdopplung bei einer Ausrichtung von fast 90° auf, so daß der Walkoff vernachlässigbar ist. Der BBO-Kristall wird zur Erzeugung der dritten und vierten Harmonischen verwendet.

[0063] Fig. 4 stellt eine alternative Anordnung eines Lasersystems zum auswählbaren Erzeugen der zweiten und dritten Harmonischen der harmonischen Wellenlängen bereit. In diesem System sind die Komponenten, welche denen, die in der Ausführungsform aus Fig. 2A verwendet werden, ähnlich sind, mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet und hier nicht erneut beschrieben.

[0064] Wie offensichtlich ist, ist die Anordnung der in Fig. 2A gezeigten ähnlich, außer daß der Neu-Polarisierer **108** für die harmonische Wellenlänge weggelassen ist. Auch muß der Abschwächer **112** nur bei den zwei auswählbaren Wellenlängen betreibbar sein. Ebenso kann, wie zuvor, der Kristall **109** für die Erzeugung entweder der dritten oder der vierten Harmonischen abgestimmt sein.

[0065] Der Meßpunktmarkierer **151** ist in dieser Ausführungsform auch eine Weißlichtquelle. Jedoch kann der Meßpunktmarkierer, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist, durch eine Laserdiode oder andere Zielstrahltechnologien ersetzt werden.

[0066] Fig. 5 veranschaulicht das Mehrwellenlängen-Lasersystem gemäß dem vorliegenden System an einem einfachen Laserschneidmechanismus montiert, welcher ein Mikroskop **300** und eine Verschiebeeinrichtung **301**, die an einem Mikroskopfuß **302** montiert ist, umfaßt. Das Mikroskop **300** hat ein Gesichtsfeld **303** auf einem Gegenstand **304** des Laserschneidbetriebs. Die Plattform **301** weist feine X- und Y-Mikrometer-Verschiebeeinheiten **305**, **306** zum Steuern der Position des Gegenstands **304** des Laserschneidbetriebs auf.

[0067] Der Mehrwellenlängenlaser **307** leitet eine auswählbare Ausgangswellenlänge auf dem Strahlpfad **308** in das Gesichtsfeld **303** des Lasers. Der Strahlpfad **308** ändert sich nicht, wenn sich die Ausgangswellenlänge des Lasers **307** während des Betriebs des Systems wie oben beschrieben ändert. Das Mikroskop **300** weist eine Mehrzahl von Objektiven **310**, **311** und **312** auf, von denen alle dafür vorgesehen sind, die Mehrzahl von Wellenfängen, die durch den Mehrwellenlängenlaser **307** erzeugt werden, durchzulassen. Darüber hinaus lassen die Mikroskop-Optiken einschließlich Prismen und ähnlichem alle der Mehrzahl von Wellenlängen, die von dem Lasersystem ausgewählt werden, durch.

[0068] Die kompakte Größe des Lasersystems **307** ist, wie oben beschrieben, für die Anwendung der Prüfstation oder des Laserschneiders entscheidend. Der Mehrweflenlängenlaser **307**, wie in Fig. 5 gezeigt, ist klein genug, um ein Mikroskop zu montieren, stabil genug, so daß die Ausgangswellenlängen einheitlich entlang eines einzigen Strahlpfads **308** erzeugt werden und leicht genug, so daß er den Fokussiermechanismus des Mikroskops nicht beeinflußt. Darüber hinaus verbraucht das Lasersystem keinen wertvollen Laborplatz, um eine Mehrzahl von Wellenlängen zu erzeugen.

[0069] Zusätzlich ist der Mehrwellenlängenlaser **307** in einer Vielzahl von anderen Situationen anwendbar,

welche kompakte, stabile Mehrwellenlängensysteme erfordern. Die einzigartige Möglichkeit eine Mehrzahl von gesteuert abgeschwächten Ausgängen entlang eines einzigen Strahlpfads bereitzustellen, wobei ein einziger Laser und speziell konstruierte Optiken verwendet werden, erlaubt eine Anwendung von Mehrwellenlängenlasern in einer Auswahl von Umgebungen, die aufgrund der Kosten und der Größe von Mehrwellenlängensystemen aus dem Stand der Technik zuvor nicht zugänglich waren.

[0070] Entsprechend stellt die vorliegende Erfindung ein luftgekühltes, gepulstes, Nd:YAG-Lasersystem bereit, welches so konstruiert ist, daß es an einem unabhängigen Mikroskop oder einer Prüfstation montiert werden kann. An einer analytischen Prüfstation montiert, stellt das System eine einzigartige Flexibilität für Halbleiter-Entwurfsverifikations- und Fehleranalyseanwendungen bereit. In dem unabhängigen Laserschneidsystem ist der Laser an einem Mikroskop mit eigenem Fuß und X-Y-Plattform montiert, was es für eine größere Anzahl von Ingenieuren verfügbar macht als Zugriff auf die Standard-Prüfstation hätten.

[0071] Das System stellt viele weiterentwickelte Merkmale einschließlich elektro-optischer Güteschaltung, Mehrwellenlängenbetrieb, lüfterfreiem Betrieb und kompakter Größe zur Verfügung. Der Ausgang ist stabil und reproduzierbar, was ein präzises Schneiden gewährleistet und große, gleichförmige Schnitte ermöglicht. Die Invar-stabilisierte Resonatorstruktur verbessert die Temperaturstabilität, welche das Lasersystem toleranter gegenüber Temperaturänderungen macht und es erlaubt, eine gleichbleibende Energie über einen breiteren Temperaturbereich zu erzielen.

[0072] In der bevorzugten Ausführungsform verwendet der elektro-optische Güteschalter (Q-Switch) einen KDP-Kristall in der Pockels-Zelle und einen Polarisator, welcher eine präzise Steuerung der Energieimpulse aus dem Verstärkungsmedium erlaubt.

[0073] Die einzigartige Lambda-Halbe-Platte und der dielektrische Polarisator des variablen Abschwächers unterliegen keinerlei Hitzestau, Deformation und Energieschwankungen, welche bei preiswerteren Abschwächern auftreten können. Auch stellen sie eine Abschwächung über das gesamte Spektrum von Ausgangswellenlängen, die von dem Lasersystem erzeugt werden, bereit.

[0074] Die vorliegende Erfindung stellt zum ersten Mal die Möglichkeit bereit, einen einzigen Laser an einer Prüfstation oder einem Laserschneider zu montieren, welcher auswählbare Ausgänge der infraroten, der sichtbaren und der ultravioletten Bereiche bereitstellt. Die Ausgänge sind mit präzise gesteuerter Abschwächung verfügbar und verlaufen entlang eines einzigen Strahlpfads durch das Mikroskop für einen gleichbleibenden Betrieb. Die kompakte Größe und luftgekühlte Natur machen ihn ideal geeignet für die Prüfstationsumgebung, in der Laborraum wertvoll ist und Vibrationen nicht toleriert werden können.

[0075] Es ist offensichtlich, daß Ausführungsformen der Erfindung hierin in Form eines Beispiels durchgeführt wurden, und daß Modifikationen innerhalb des Schutzbereichs der Ansprüche gemacht werden können.

Patentansprüche

1. Prüfstationsystem mit:
einem Fuß (**10**),
einem Spannfutter (**16**), das an dem Fuß (**10**) befestigt ist, um eine zu analysierende oder zu prüfende Vorrichtung zu halten,
einer Prüfauflageplatte (**17**), die an dem Fuß befestigt ist, um Sonden (**20**, **21**) zu halten,
einem Mikroskop (**22**), das an dem Fuß befestigt ist, wobei es ein Sichtfeld auf die Vorrichtung auf dem Spannfutter (**16**) hat und
einem Laser (**24**), der an dem Mikroskop montiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Laser (**24**) einen Ausgangsstrahl durch die Mikroskopoptiken (**23**) auf einem Strahlpfad an ein Sichtfeld des Mikroskops bereitstellt, wobei der Laser Optiken (**106**, **109**) aufweist, um den Ausgangsstrahl auf dem Strahlpfad wahlweise in einer Mehrzahl von Wellenlängen zu erzeugen und wobei das Mikroskop Optiken aufweist, die für die Mehrzahl von Wellenlängen durchlässig sind und wobei die Mehrzahl von Wellenlängen mehr als zwei wählbare Wellenlängen für den Ausgangsstrahl aufweist und wobei das System darüber hinaus einen variablen Abschwächer für die Mehrzahl von Wellenlängen aufweist.

2. Laserschneidsystem mit:
einem Fuß (**302**),
einem Objekttisch (**304**), der an dem Fuß montiert ist, um eine Probe (**304**) zu halten,
einem Mikroskop (**300**), das an dem Fuß montiert ist, welches ein Sichtfeld (**303**) auf der Probe (**304**) auf dem

Objekttisch hat und
einem Laser (**307**), der an dem Mikroskop (**300**) montiert ist, welcher einen Ausgangsstrahl durch die Mikroskopoptiken (**311**) bereitstellt, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser den Ausgangsstrahl auf dem Strahlpfad (**308**) an das Sichtfeld (**303**) des Mikroskops bereitstellt, wobei der Laser Optiken aufweist, um den Ausgangsstrahl auf dem Strahlpfad (**308**) wahlweise in einer Mehrzahl von Wellenlängen zu erzeugen und wobei das Mikroskop Optiken (**310**, **311**, **312**) aufweist, die für die Mehrzahl von Wellenlängen durchlässig sind und wobei die Mehrzahl von Wellenlängen mehr als zwei auswählbare Wellenlängen für den Ausgangsstrahl aufweist und wobei das System darüber hinaus einen variablen Abschwächer für die Mehrzahl von Wellenlängen aufweist.

3. System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser einen Festkörperlaser (**100**), einen Frequenzvervielfacher (**106**, **109**), der mit dem Festkörperlaser verbunden ist und schaltbare Optiken (**116**) zum Auswählen der Wellenlängen des Ausgangsstrahls aufweist.

4. System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser aufweist:
einen Festkörperlaser (**100**), der einen Strahl (**105**) bei einer Fundamentalwellenlänge entlang eines Strahlpfades erzeugt,
einen oder mehrere nichtlineare Optiken (**106**, **109**) in dem Strahlpfad, die eine Mehrzahl von Harmonischen der Fundamentalwellenlänge erzeugen,
schaltbare Optiken (**116**), um die Wellenlänge des Ausgangsstrahls aus der Mehrzahl von Harmonischen und der Fundamentalwellenlänge auszuwählen.

5. System nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die nichtlinearen Optiken einen Strahlversatz mindestens einer aus der Mehrzahl von Wellenlängen verursacht und das System eine Optik (**107**) in dem Strahlpfad aufweist, um den Strahlversatz so zu kompensieren, daß jede aus der Mehrzahl von Wellenlängen bereitgestellt wird, wenn sie auf dem Strahlpfad ausgewählt wird.

6. System nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die schaltbaren Optiken (**116**) die Wellenlänge des Ausgangsstrahls aus der Mehrzahl von Harmonischen auswählt.

7. System nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die nichtlinearen Optiken einen Strahlversatz mindestens einer aus der Mehrzahl von Harmonischen verursachen und das darüber hinaus eine Optik (**107**) in dem Strahlpfad aufweist, um den Strahlversatz so zu kompensieren, daß, wenn sie ausgewählt wird, jede aus der Mehrzahl von Harmonischen auf dem Strahlpfad bereitgestellt wird.

8. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser einen passiv luftgekühlten Festkörperlaser aufweist.

9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser einen passiv luftgekühlten elektrooptisch gütegeschalteten Nd:YAG-Laser aufweist.

10. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mehrzahl von Wellenlängen mindestens eine Wellenlänge im infraroten Bereich aufweist, mindestens eine Wellenlänge in dem sichtbaren Bereich und mindestens eine Wellenlänge in dem ultravioletten Bereich.

11. Lasersystem zum wahlweisen Bereitstellen einer oder mehrerer aus einer Mehrzahl von Wellenlängen auf einem einzigen Strahl (**122**) mit:
einem Festkörperlaser (**100**), der einen Ausgangsstrahl bei einer Fundamentalwellenlänge erzeugt und
einem optischen System, das den Laserausgangsstrahl in einem einzigen Strahlpfad (**105**) aufnimmt, das den Ausgangsstrahl in einer oder mehreren nichtlinearen Optiken in mehr als zwei Wellenlängen umwandelt (**106**, **109**), den Strahlversatz (**117**) zwischen den Wellenlängen so korrigiert, daß die Wellenlängen auf dem einzigen Strahlpfad (**105**) passieren und das wahlweise jede aus einer Mehrzahl von Wellenlängen auf dem Strahlpfad überträgt (**106**) und einem variablen Abschwächer in dem Strahlpfad für die Mehrzahl von Wellenlängen und schaltbaren Optiken, um die Wellenlänge des Ausgangsstrahls auszuwählen.

12. System nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (**100**) ein Festkörperlaser ist und das optische System eine oder mehrere nichtlineare Optiken (**106**, **109**) aufweist, die mindestens einen Teil des Ausgangsstrahls in eine oder mehrere Harmonische der Fundamentalwellenlänge umwandeln.

13. System nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß das optische System schaltbare Optiken (**116**) aufweist, welche die Mehrzahl von Wellenlängen entlang des einzigen Strahlpfads aufnehmen und

wahlweise jede aus der Mehrzahl von Wellenlängen übertragen.

14. System nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die schaltbaren Optiken (**116**) eine Mehrzahl von Filtern aufweisen und einen Mechanismus zum Schalten eines ausgewählten Filters in den einzigen Strahlpfad.

15. System nach einem der Ansprüche 11 bis 14, darüber hinaus mit einem variablen Abschwächer (**112**), der entlang des einzigen Strahlpfads angeordnet ist, der die Mehrzahl von Wellenlängen empfängt.

16. System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der variable Abschwächer (**112**) aufweist: ein Lambda-halbe-Plättchen (**113**) in dem einzigen Strahlpfad, das auf eine Mehrzahl von Harmonischen der Fundamentalwellenlänge des Lasers eingestellt ist, einen Polarisator (**114**) und einen Mechanismus (**115**), der die relative Winkelposition des Lambda-halbe-Plättchens und des Polarisators so steuert, daß die Mehrzahl von Harmonischen abgeschwächt wird.

17. System nach einem der Ansprüche 13 bis 16, wenn diese von Anspruch 12 abhängen, dadurch gekennzeichnet, daß die nichtlinearen Optiken bewirken, daß mindestens eine Harmonische gegenüber dem einzigen Strahlpfad falsch ausgerichtet ist, wobei das optische System darüber hinaus eine Wiederausrichtungsoptik (**117**) aufweist, die jede falsch ausgerichtete Harmonische wieder mit dem einzigen Strahlpfad ausrichtet, so daß jede Harmonische, wenn sie ausgewählt ist, mit dem einzigen Strahlpfad ausgerichtet ist.

18. System nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das optische System schaltbare Optiken (**116**) aufweist, die die Mehrzahl von Wellenlängen entlang des einzigen Strahlpfades aufnehmen und auswählbar mindestens eine aus der Mehrzahl von Wellenlängen übertragen und wobei die Wiederausrichtungsoptik (**117**) eine oder mehrere der schaltbaren Optiken ist.

19. System nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (**100**) einen passiv luftgekühlten Festkörperlaser aufweist.

20. System nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (**100**) einen passiv luftgekühlten elektrooptisch gütegeschalteten Nd:YAG-Laser aufweist.

21. System nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Mehrzahl von Wellenlängen eine infrarote Fundamentalwellenlänge, eine sichtbare zweite Harmonische und mindestens eine ultraviolette dritte Harmonische und eine ultraviolette vierte Harmonische aufweist.

22. System nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Mehrzahl von Wellenlängen eine Fundamentalwellenlänge, eine zweite Harmonische der Fundamentalwellenlänge und eine dritte Harmonische der Fundamentalwellenlänge aufweist.

23. Lasersystem zum auswählbaren Bereitstellen einer oder mehrerer verschiedener Wellenlängen entlang eines einzigen Ausgangsstrahlpfads mit:
einem passiv luftgekühlten elektrooptisch gütegeschalteten Nd:YAG-Laser (**100**), der einen Ausgangsstrahl bei einer Fundamentalwellenlänge erzeugt und
einem optischen System, das einen einzigen Strahlpfad hat, wobei das optische System aufweist:
einen ersten nichtlinearen Kristall (**106**) in dem einzigen Strahlpfad, um eine zweite Harmonische der Fundamentalwellenlänge zu erzeugen,
einen zweiten nichtlinearen Kristall (**109**) in dem einzigen Strahlpfad, um mindestens eine dritte oder eine vierte Harmonische der Fundamentalwellenlänge zu erzeugen,
einen variablen Abschwächer (**112**) in dem einzigen Strahlpfad zum Abschwächen der Fundamentalwellenlänge, der zweiten Harmonischen und mindestens der dritten oder der vierten Harmonischen und
schaltbare Optiken (**116**) in dem einzigen Strahlpfad, um die Wellenlängen des Ausgangsstrahls aus der Fundamentalwellenlänge, der zweiten Harmonischen und mindestens der dritten oder der vierten Harmonischen auszuwählen.

24. Lasersystem nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der variable Abschwächer aufweist: ein Lambda-halbe-Plättchen (**113**) in dem einzigen Strahlpfad, das auf die Fundamentalwellenlänge, die zweite Harmonische und mindestens die dritte oder vierte Harmonische eingestellt ist, einen Polarisator (**114**) und einen Mechanismus (**115**) zum Steuern der relativen Winkelposition des Lambda-halbe-Plättchens und des Polarisators, so daß die Fundamentalwellenlänge, die zweite Harmonische und mindestens die dritte oder die

vierte Harmonische abgeschwächt werden.

25. Lasersystem nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß die schaltbaren Optiken eine Mehrzahl von Filtern und einen Mechanismus zum Schalten eines aus der Mehrzahl von Filtern ausgewählten Filters in den Strahlpfad aufweist.

26. System nach einem der Ansprüche 23 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die nichtlinearen Optiken bewirken, daß mindestens eine Harmonische gegenüber dem einzigen Strahlpfad falsch ausgerichtet ist, wobei das optische System darüber hinaus eine Wiederausrichtungsoptik (**117**) aufweist, die jede falsch ausgerichtete Harmonische so mit dem einzigen Strahlpfad wieder ausrichtet, daß jede Harmonische, wenn sie ausgewählt ist, mit dem einzigen Strahlpfad ausgerichtet ist.

27. System nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Wiederausrichtungsoptik (**117**) eine oder mehrere der schaltbaren Optiken (**116**) ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

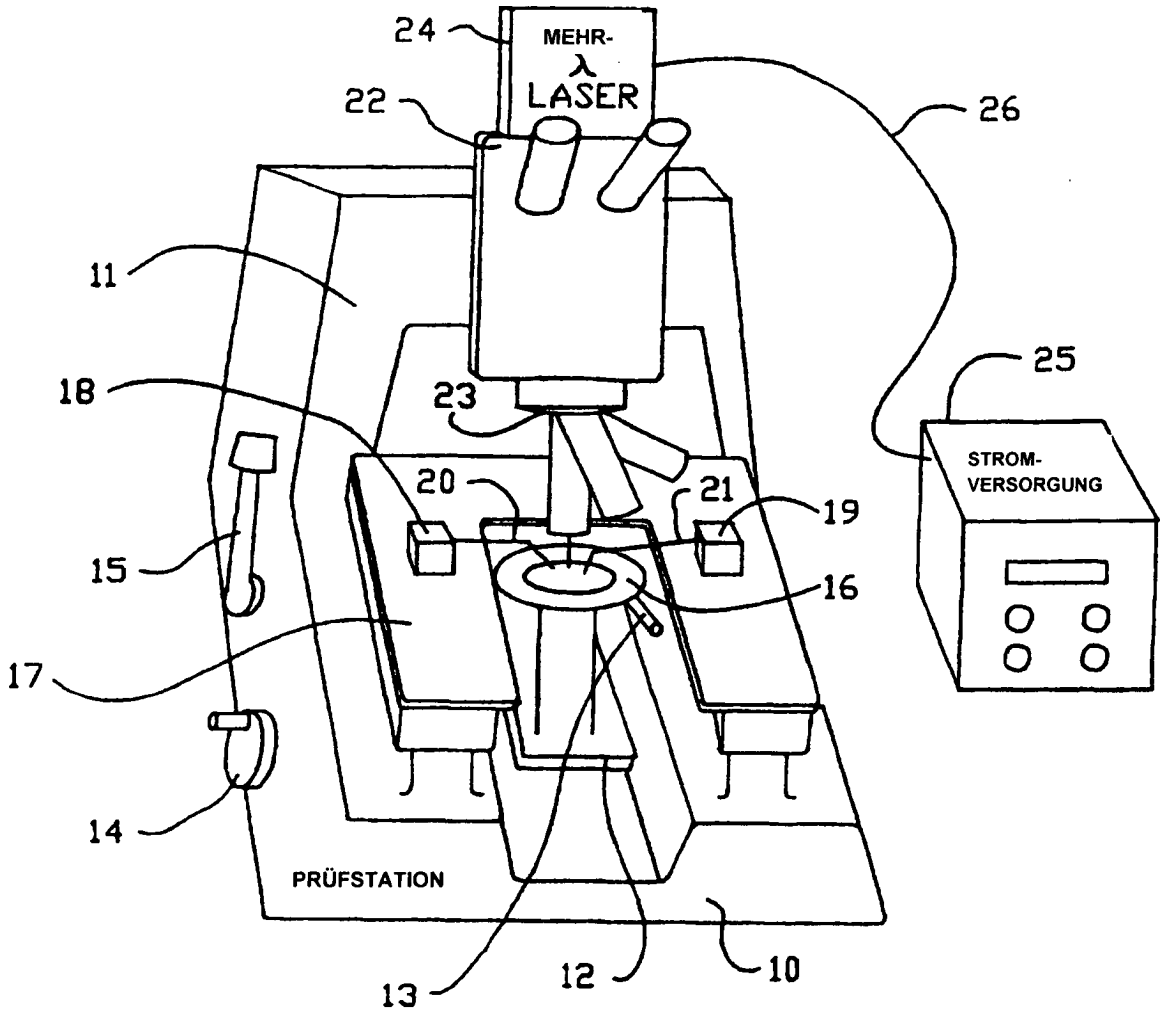

FIG.–1

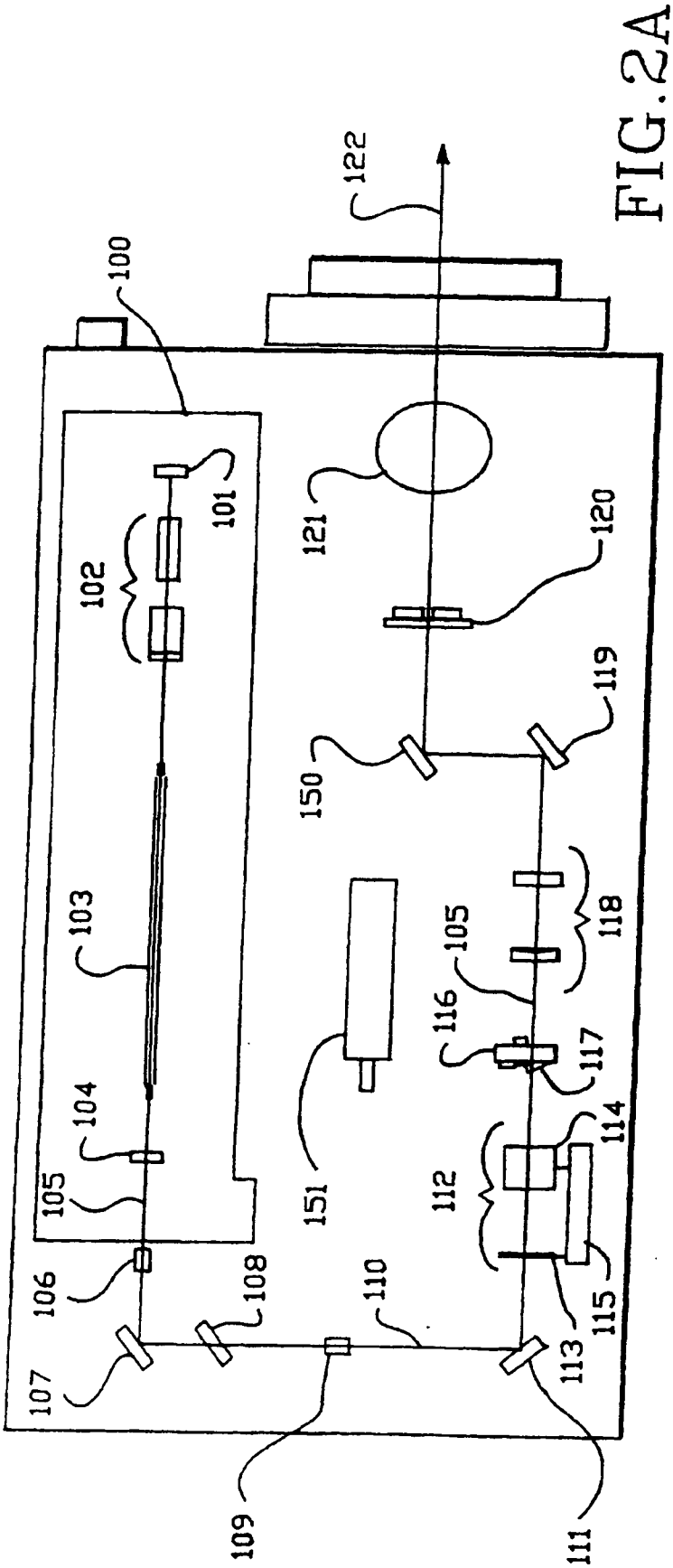
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
150
151

FIG.2A

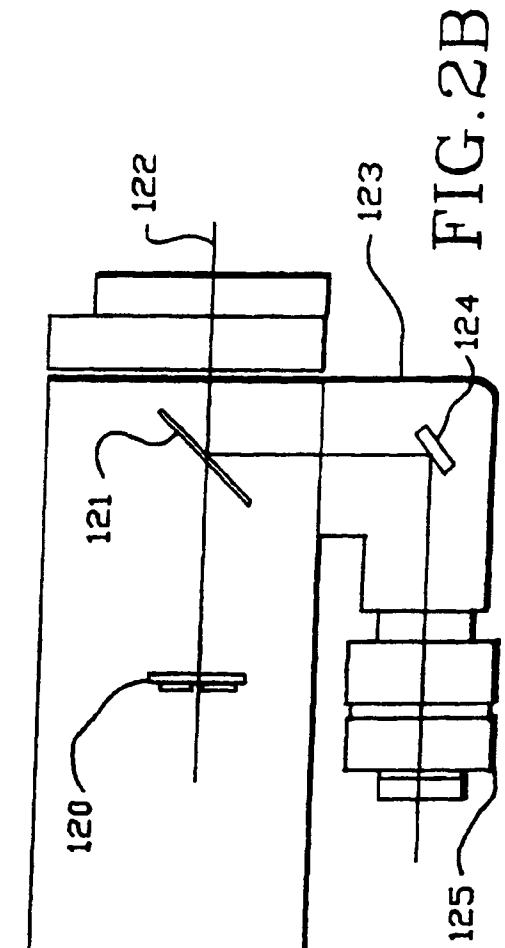
120
121
122
123
124
125

FIG.2B

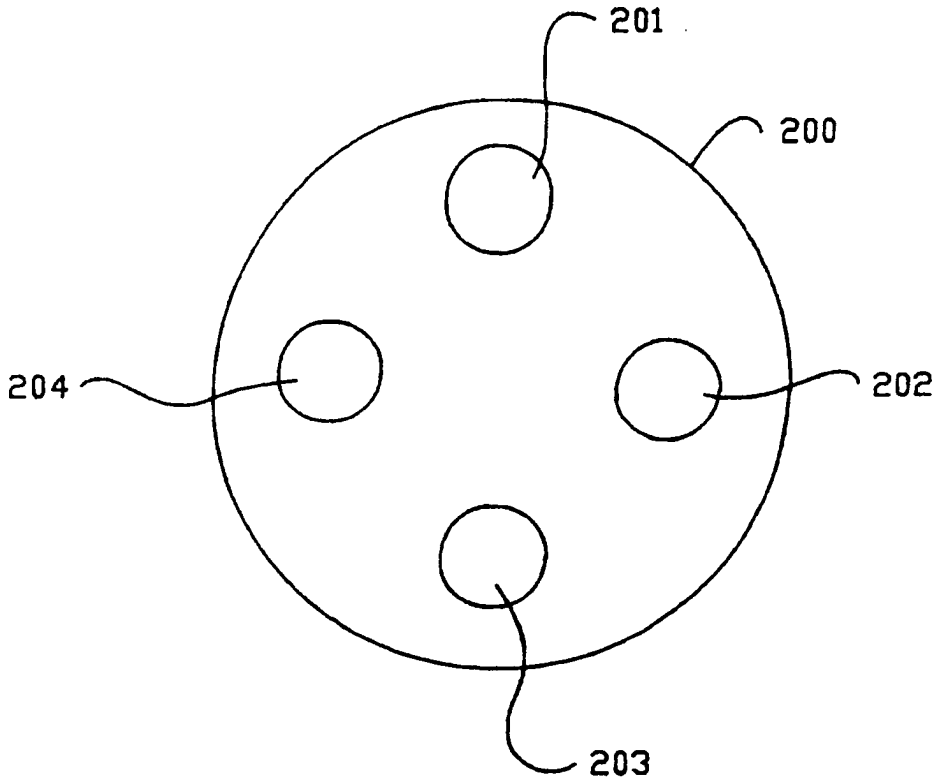
201
200
204
202
203

FIG.3A

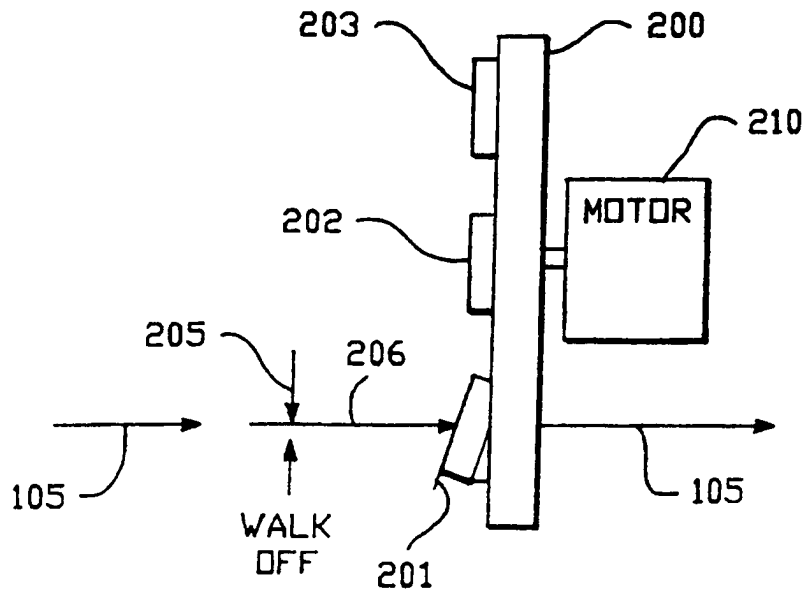
203
200
210
MOTOR
202
205
206
105
WALK
OFF
201
105

FIG.3B

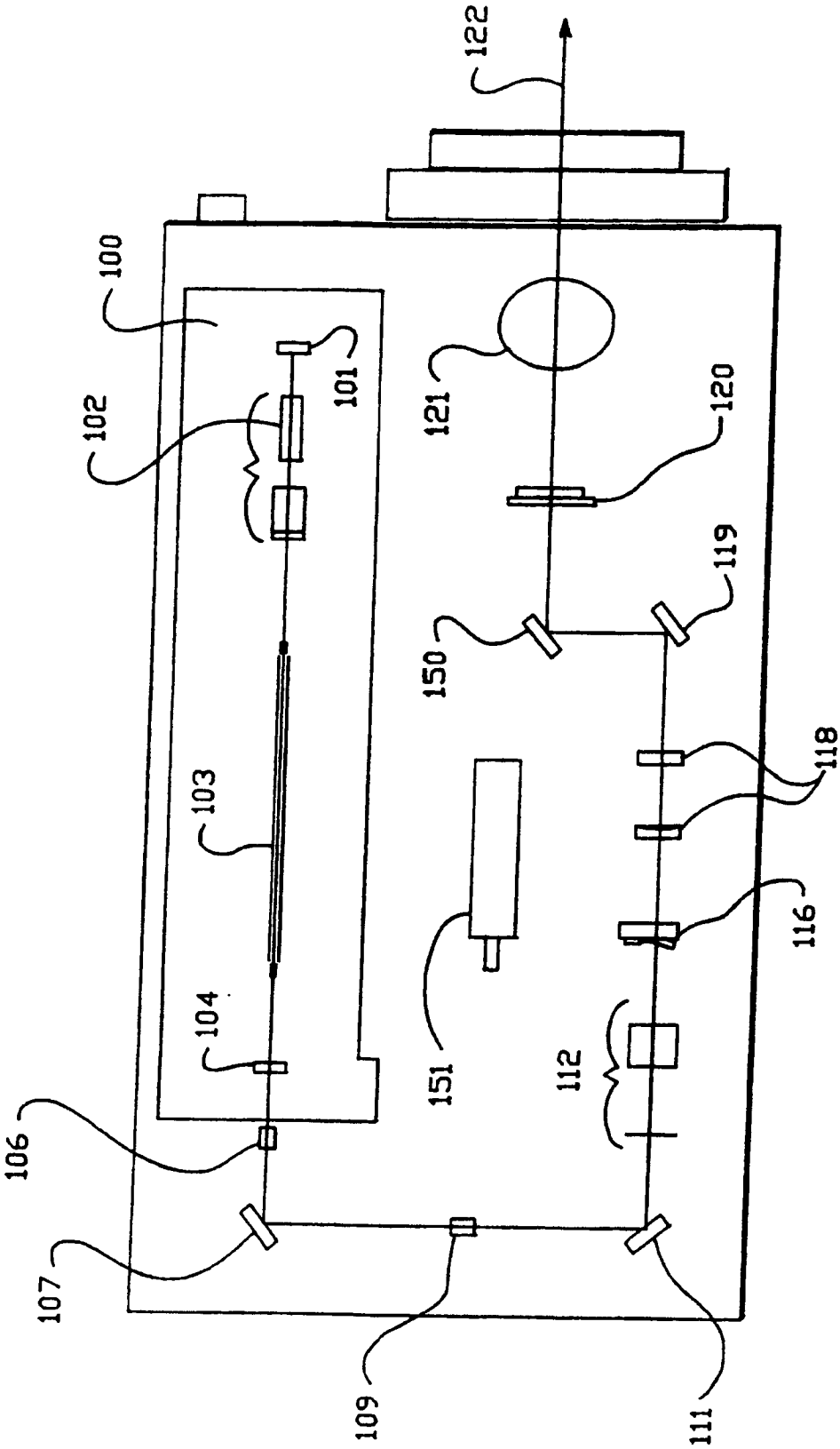
122
100
101
102
121
120
119
150
118
103
116
104
151
112
106
107
109
111

FIG. 4

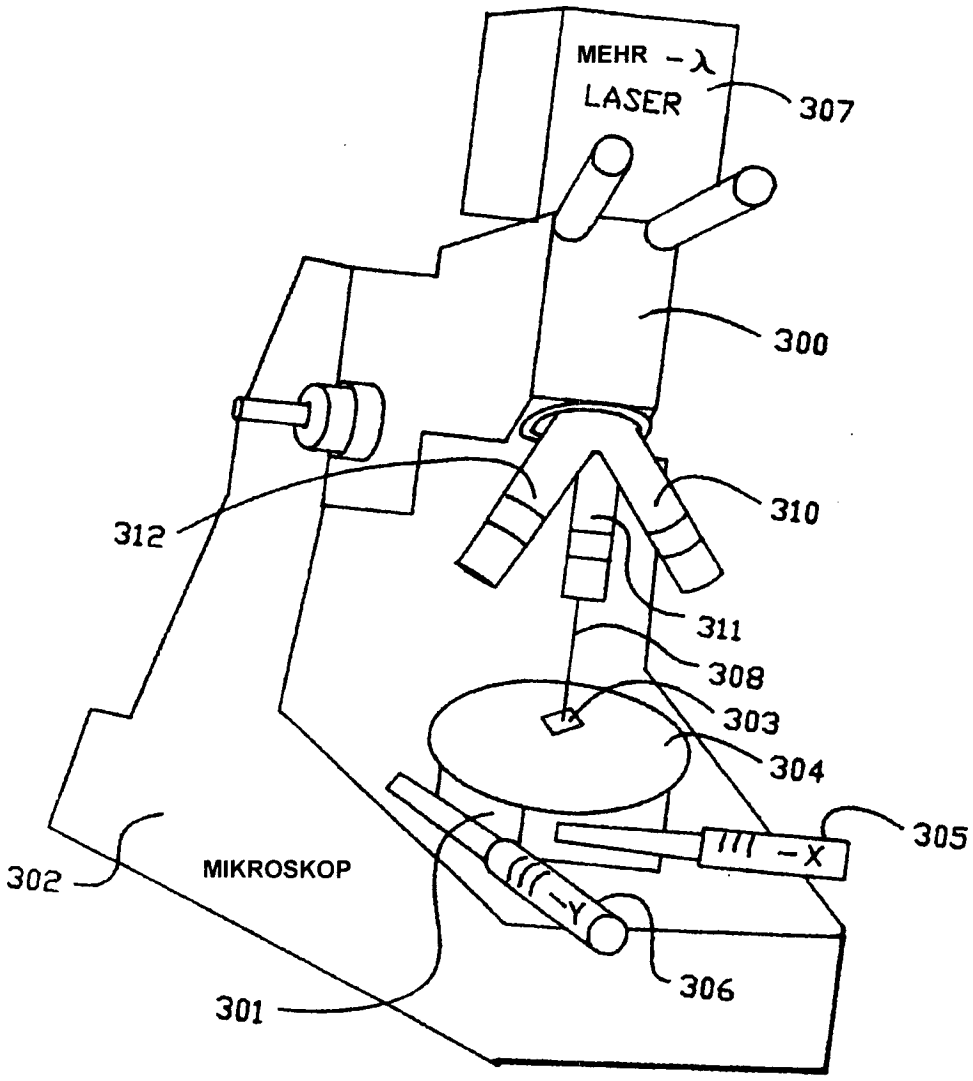
MEHR -λ
LASER
307
300
310
312
311
308
303
304
305
III -X
-Y
306
MIKROSKOP
302
301

FIG.5