



(10) **DE 10 2012 102 826 B4** 2020.03.26

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 102 826.5**
(22) Anmeldetag: **02.04.2012**
(43) Offenlegungstag: **11.10.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **26.03.2020**

(51) Int Cl.: **G01B 11/22 (2006.01)**
G01B 9/02 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
1105819.5 **06.04.2011** **GB**

(73) Patentinhaber:
Precitec Optronik GmbH, 63110 Rodgau, DE

(74) Vertreter:
Schweiger & Partners, 80687 München, DE

(72) Erfinder:
Schönleber, Martin, Dr., 63743 Aschaffenburg, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

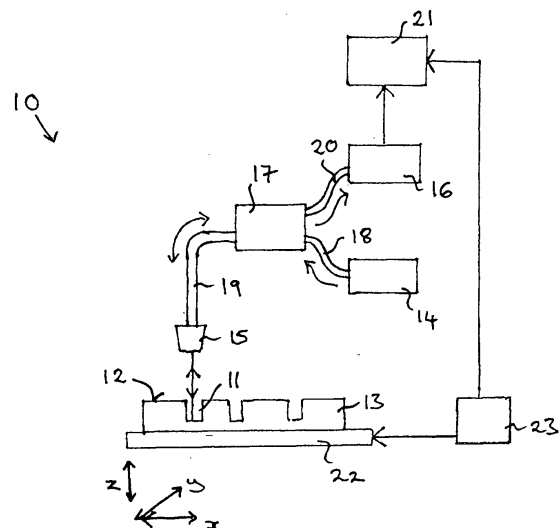
DE	103 19 843	A1
US	6 806 969	B2
US	7 738 113	B1
US	2011 / 0 292 375	A1
US	5 691 540	A
WO	2007/ 060 441	A1
JP	H06- 65 963	B2

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen einer Tiefe einer Region, die ein hohes Aspektverhältnis aufweist und in eine Oberfläche eines Halbleiterwafers hineinragt**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Messen der Tiefe einer Region, die ein hohes Aspektverhältnis aufweist, und in eine Oberfläche eines Halbleiterwafers hineinragt:

- Bereitstellen eines Halbleiterwafers, der eine erste Hauptoberfläche, eine zweite Hauptoberfläche, die gegenüberliegend der ersten Hauptoberfläche angeordnet ist, und eine Region, die in die erste Hauptoberfläche hineinragt, aufweist, und wobei die Region eine Breite und eine Tiefe und ein hohes Aspektverhältnis aufweist,
- Beleuchten der ersten Hauptoberfläche mit Licht, das mehrfache Wellenlängen aufweist, wobei das Mehrfachwellenlängen-Licht einen Wellenlängenbereich von 440 nm bis 500 nm oder 350 nm bis 410 nm aufweist;
- Messen der Intensität des Lichtes der mehrfachen Wellenlängen, das von unterschiedlichen Grenzflächen des Halbleiterwafers als eine Funktion der Wellenlänge reflektiert wird, wobei das von dem Halbleiterwafer reflektierte Licht ein Interferenzmuster bildet;
- Sammeln des reflektierten Lichtes durch ein Spektrometer, wobei das Spektrometer eine Vielzahl von Pixeln umfasst, wobei jeder Pixel dazu bestimmt ist, Licht von einer gewissen vorbestimmten Wellenlänge $A(p)$ zur Bereitstellung der Intensität als Funktion von $k = 2\pi/\lambda(p)$ mit äquidistantem k zu sammeln;
- Analysieren des gemessenen Lichtes unter Anwendung einer Fourier-Transformation auf das Interferenzmuster, und Erzeugen einer graphischen Darstellung, die Spitzen aufweist, welche mit den unterschiedlichen Grenzflächen des Halbleiterwafers assoziiert sind, und

- Bestimmen der Tiefe des Bereichs mittels mindestens einer der Spitzen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bestimmen einer Tiefe einer Region, die ein hohes Aspektverhältnis aufweist und in eine Oberfläche eines Halbleiterwafers hineinragt. Eine derartige Region kann zum Beispiel ein Graben oder ein Durchgangsloch sein.

[0002] US 7,738,113 B1 offenbart ein Wafer-Messsystem und eine Vorrichtung für das Messen einer Wafer Dicke, Ebenheit und Grabentiefe. Die Rückseite des Wafers wird verwendet, um genau die Rückseite eines Grabens zu messen, und behandelt somit den Graben als eine Vertiefung, die sowohl von der Oberseite als auch von der Unterseite durch ein nicht kontaktierendes optisches Instrument messbar ist. Die Druckschrift DE 103 19 843 A1 beschreibt ein Verfahren zum Bestimmen einer Tiefe einer vergrabenen Struktur in einem Halbleiterwafer, wobei das Bestimmen der Tiefe durch eine Fouriertransformation des Intensitätsspektrums der reflektierten Strahlung erfolgt. Die Druckschrift JP H06-065963 B2 beschreibt ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Messung von Grabentiefen anhand von spektroskopisch ermittelten Daten zur Vermessung von durch Ätzprozesse hergestellten kleinen Graben. Die Druckschrift US 6,806,969 B2 beschreibt ein optisches System zur Abstandsmessung und ein Verfahren zur Messung von Abständen zwischen Werkstoffen, wobei das System ein optisches Material mit einer Ausnehmung zur Bildung eines optischen Offsets aufweist.

[0003] Die Druckschrift US 2011/0292375 A1 beschreibt ein System zur direkten Messung der Tiefe einer Ätzstruktur in einem Wafer, wobei das System einen Reflektometer umfasst, welcher auf eine nicht geätzte Oberfläche des Wafers gerichtet wird. Die Druckschrift WO 2007/060441 A1 beschreibt ein kohärentes Scan- Interferometer zur Erfassung von Oberflächenintensitätsdaten, wobei die Daten an zwei verschiedenen Positionen der Probe erfasst werden, um Daten im strukturierten Bereichen und in solchen Bereichen zu ermitteln, wo keine Strukturen anwesend sind. Die Druckschrift US 5,691,540 A beschreibt eine Anordnung zum Messen einer Grabentiefe eines Werkstücks, wobei ein UV-Interferenzsignal beim Einstahlen einer UV-Strahlung in das Werkstück erzeugt wird, wenn eine direkt reflektierte Strahlung mit einer von der Rückseite des Werkstücks reflektierten Strahlung interagiert.

[0004] Eine wachsende Miniaturisierung der Halbleiter-Bauelemente tendiert dazu, die Miniaturisierung der Merkmale innerhalb der Bauelemente einschließlich der Merkmale wie Gräben und Durchgangslöcher. Merkmale wie Gräben und Durchgangslöcher haben ein hohes Aspektverhältnis. Mit der wachsenden Miniaturisierung, insbesondere mit der wachsenden

den Miniaturisierung wachsender lateraler Schrumpfung, kann sich das Aspektverhältnis dieser Merkmale auch erhöhen. Ein Erhöhen des Aspektverhältnis vergrößert jedoch weiterhin die Schwierigkeit der Messung der Tiefe dieses Merkmals. Deshalb sind weitere Entwicklungen der Vorrichtungen und Verfahren wünschenswert, um in der Lage zu sein, die Tiefe der Merkmale, die ein hohes Aspektverhältnis aufweisen, zu bestimmen.

[0005] Ein Verfahren zum Messen einer Tiefe einer Region, die ein hohes Aspektverhältnis aufweist und in eine Oberfläche eines Halbleiterwafers hineinragt, wird bereitgestellt, das ein Bereitstellen eines Halbleiterwafers umfasst, der eine erste Hauptfläche und eine zweite Hauptfläche, welche der ersten Hauptfläche gegenüberliegt, besitzt. Der Halbleiterwafer umfasst mindestens eine Region, die in die erste Hauptoberfläche hineinragt und eine Breite und eine Tiefe und ein hohes Aspektverhältnis aufweist. Die erste Hauptoberfläche des Halbleiterwafers wird mit einem Licht, das mehrfache Wellenlängen umfasst, beleuchtet, wobei das Mehrfach-Wellenlängen-Licht einen Wellenlängenbereich von 440 nm bis 500 nm oder 350 nm bis 410 nm aufweist. Das Licht der mehrfachen Wellenlängen wird von dem Halbleiterwafer reflektiert und dieses reflektierte Licht einer mehrfachen Wellenlänge wird als Funktion der Wellenlänge gemessen. Das von unterschiedlichen Grenzflächen des Halbleiterwafers reflektierte Licht bildet ein Interferenzmuster. Das Verfahren umfasst ferner ein Sammeln des reflektierten Lichtes durch ein Spektrometer, wobei das Spektrometer eine Vielzahl von Pixeln umfasst, wobei jeder Pixel dazu bestimmt ist, Licht von einer gewissen vorbestimmten Wellenlänge $A(p)$ zur Bereitstellung der Intensität als Funktion von $k = 2\pi/\lambda(p)$ mit äquidistantem k zu sammeln. Das Verfahren umfasst auch ein Analysieren des gemessenen Lichtes unter Anwendung einer Fourier-Transformation auf das Interferenzmuster und ein Erzeugen einer graphischen Darstellung, welche Spitzen aufweist, die mit den unterschiedlichen Zwischenflächen des Halbleiterwafers assoziiert werden. Die Tiefe der Region wird mindestens mittels einer der Spitzen bestimmt.

[0006] Wie hierin verwendet, wird eine Region, die in die erste Hauptoberfläche hineinragt, genutzt, um eine Region zu bezeichnen, welche in einer Ebene unterhalb einer Oberflächenebene des Halbleiterwafers angeordnet ist. Die Region kann eine Vertiefung oder eine Aussparung sein, die in der ersten Hauptoberfläche des Halbleiterwafers positioniert ist. Die Bezeichnung Region wird auch verwendet, um ein Durchgangsloch einzubeziehen, welches sich durch die gesamte Dicke des Halbleiterwafers erstreckt und offen an beiden Enden sein kann. Die Vertiefung oder Aussparung oder das Durchgangsloch weisen ein hohes Aspektverhältnis auf.

[0007] Wie hierin verwendet, ist ein hohes Aspektverhältnis als eine Region definiert, die ein Verhältnis von einer Breite zu einer Tiefe von mindestens **1** zu **10** und in einer weiteren Ausführungsform von mindestens **1** zu **50** aufweist.

[0008] Die Region kann ein Graben oder ein Durchgangsloch sein. Der Graben ist eine Bezeichnung, die in der Halbleitertechnologie verwendet wird, um eine lange longitudinale Aussparung, welche eine Basis aufweist, die auch rund sein kann, zu bezeichnen. In der Halbleitertechnologie wird ein Durchgangsloch entweder als ein Loch bezeichnet, das sich durch die gesamte Dicke des Halbleiterwafers erstreckt und offen auf beiden Enden ist, oder ein Durchgangsloch, das eine Öffnung mit einem geschlossenen Ende haben kann. Im Gegensatz zu einem Graben ist der planare Querschnitt eines Durchgangsloches nicht langgestreckt. Typischerweise weist ein Durchgangsloch einen kreisförmigen planaren Querschnitt auf, aber kann auch zum Beispiel einen quadratischen oder hexagonalen Querschnitt haben. Der Graben oder das Durchgangsloch haben ein hohes Aspektverhältnis. Ein Durchgangsloch wird auch als ein TSV oder Silizium-Durchgangsloch bezeichnet.

[0009] Das Verfahren umfasst ein Analysieren des Lichtes, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, das ein Interferenzmuster bildet und das unter Anwenden einer Fourier-Transformation auf das Interferenzmuster und unter Erzeugen eine graphischen Darstellung Spitzen aufweist, die mit den unterschiedlichen Grenzschichten des Wafers assoziiert sind. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass die optischen Positionen der Spitzen genauer bestimmt werden können, und dass dadurch die optische und die geometrische Tiefe der Region genauer bestimmt werden kann, als unter Verwendung der Verfahren, die kein Interferenzmuster durch Anwenden einer Fourier-Transformation analysieren. Zusätzlich kann in Abhängigkeit von der Zahl der Zwischenschichten des Halbleiterwafers die Tiefe der Region mit dem hohen Aspektverhältnis von der Differenz der Abstände bestimmt werden, nämlich der Abstand zwischen zwei Spitzen in der graphischen Darstellung.

[0010] Das Verfahren verwendet eine Fourier-Domänen-optische-Kohärenz-Tomographie (OCT, Fourier Domain optical coherence tomography), die auch als Fourier-Transformations-optische-Kohärenz-Tomographie (Fourier Transform optical coherence tomography) und spektrale-Domänen-optische-Kohärenz-Tomographie (spectral domain optical coherence tomography) bezeichnet wird, um eine graphische Darstellung, die mindestens eine Spitze aufweist, zu erzeugen. Die graphische Darstellung hat die gleiche Form wie die, die durch Zeit-Domänen-optische-Kohärenz-Tomographie (time domain optical coherence tomography) erzeugt wird. In der Zeit-Domänen-optischen-Kohärenz-Tomographie wird je-

doch für die graphische Darstellung sequentiell gemessen und eine Fourier-Transformation nicht eingesetzt.

[0011] In einer Ausführungsform wird die Intensität des Lichtes der mehrfachen Wellenlängen, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, als eine Funktion des Inversen der Wellenlänge gemessen.

[0012] In einer Ausführungsform wird die Intensität des Lichtes der mehrfachen Wellenlängen, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, unter Verwendung eines Detektors, der eine Vielzahl von Pixel aufweist, gemessen. Die Wellenlänge des Lichtes, das von jedem Pixel $\lambda(p)$ gesammelt wird, kann zum Beispiel unter Verwendung eines Spektrometers bestimmt werden. Die Intensität von jeder Wellenlänge für jedes Pixel wird kartographiert, um eine Intensität als eine Funktion k bereitzustellen, wobei $k = 2\pi/\lambda(p)$ der Äquidistanten k unter Verwendung einer schnellen Fourier-Transformation bereitgestellt wird. Dieses Verfahren kann, um eine graphische Darstellung der Intensität als eine Funktion des Inversen der Wellenlänge oder als eine Funktion einer optischen Dicke, die eine oder mehrere Spitzen aufweist, zu liefern, verwendet werden.

[0013] Auf 512 Pixel kann eine 1024 Punkte schnelle Fourier-Transformation (FFT, fast fourier transform) angewandt werden. Die gemessene Fläche z_1 ergibt sich zu

$$z_1 = 0.5 / \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)$$

λ_1 ist die minimale Wellenlänge und λ_2 ist die maximale Wellenlänge.

[0014] Die mindestens eine Spitze in der graphischen Darstellung kann mit einer optischen Dicke korrespondieren, einer Schicht, die durch zwei Grenzflächen des Halbleiterwafers definiert ist. Zum Beispiel könnte die Schicht durch die Grenzfläche zwischen der Umgebung und der ersten Hauptoberfläche und der Grenzfläche, die durch die zweite Hauptoberfläche und die Umgebung definiert ist, sein. Alternativ könnte die Schicht durch die Grenzfläche zwischen der Basis der Region und der Umgebung und durch die Grenzfläche zwischen der zweiten Hauptfläche und der Umgebung definiert sein.

[0015] Die geometrische Tiefe der Region kann durch Teilen der optischen Tiefe der Region und dem Brechungsindex der Schicht, zum Beispiel dem Brechungsindex des Materials des Halbleiterwafers, bestimmt werden.

[0016] Die graphische Darstellung kann auch die Intensität des Fourier-transformierten Interferenzmusters als eine Funktion der optischen Tiefe umfassen. In diesem Fall kann die optische Tiefe der Region mit dem hohen Aspektverhältnis durch die Differenz der Entfernungen zwischen den Spitzen in der graphischen Darstellung oder durch die absolute Position einer Spitze in der graphischen Darstellung bestimmt werden.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform wird mindestens eine der ersten Hauptoberfläche und der zweiten Hauptoberfläche mit Licht beleuchtet, das mehrfache Wellenlängen in zwei oder mehr Positionen aufweist. In einer Ausführungsform wird der Halbleiterwafer relativ zu der Lichtbeleuchtung des Halbleiterwafers bewegt und das Licht, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, wird mindestens in einer weiteren Position gemessen.

[0018] Diese Ausführungsform kann verwendet werden, um die Tiefe des zweiten getrennten Objektes, zum Beispiel eines zweiten Durchgangsloches, oder die Tiefe desselben Objektes, zum Beispiel eines Grabens, in einer anderen Position dieses Objektes zu messen. In einer weiteren Ausführungsform wird der Halbleiterwafer in zwei rechtwinklige Richtungen relativ zu der Lichtbeleuchtung des Halbleiterwafers bewegt und das reflektierte Licht wird analysiert, um ein dreidimensionales Bild des Halbleiterwafers herzustellen. In einem Kartesischen Koordinatensystem kann, wenn das Licht auf den Halbleiterwafer in der z-Richtung trifft, der Wafer in die x- und y-Richtungen bewegt werden.

[0019] Das Licht der mehrfachen Wellenlängen kann einen Wellenlängenbereich von 440 nm bis 500 nm oder von 350 nm bis 410 nm aufweisen. Diese Wellenlängenbereiche kennzeichnen blaues oder ultraviolettes Licht. Die Bandbreite der Lichtquelle kann 25 bis 30 nm sein.

[0020] Der Halbleiterwafer kann mit Licht, das mehrfache Wellenlängen aufweist, beleuchtet sein, das von einer aus der Gruppe emittiert wird, die aus einer Licht emittierenden Diode (LED), einer elektrischen oder laserbetriebenen Xenonlampe, einem Superkontinuum, das durch eine einzelne Faserquelle bereitgestellt wird, einer superlumineszierenden Diode (SLD) und einer geschenkten Quellen mit superlumineszierenden Diode (SLD, swept source super luminescent diode) besteht.

[0021] Wenn eine LED als Lichtquelle verwendet wird, kann sie Licht bei einer Wellenlänge von 450 nm \pm 30 nm, 470 nm \pm 30 nm oder 380 nm \pm 30 nm emittieren, wenn das Licht die Oberfläche des Halbleiterwafers einschließlich der Region, deren Tiefe zu messen ist, einschließen soll.

[0022] In anderen Ausführungsformen trifft das Licht, das den Wafer beleuchtet, auf die Rückseite des Wafers. In diesen Ausführungsformen wird Infrarotlicht verwendet.

[0023] In einer weiteren Ausführungsform wird Licht der mehrfachen Wellenlängen durch einen optischen Strahlteiler geschickt, bevor es auf den Halbleiterwafer trifft. Der optische Strahlteiler kann einen Eingabarm, einen Ausgabearm und einen Messarm aufweisen. Der Ausgabearm, der Eingabearm und der Messarm können durch optische Fasern bereitgestellt werden. Im Fall von optischen Fasern ist der optische Strahlteiler ein Phasenkoppler.

[0024] Das Licht der mehrfachen Wellenlängen kann den Einlassarm und den Messarm des optischen Strahlteilers passieren, bevor es auf den Halbleiterwafer trifft. Das reflektierte Licht von dem Halbleiterwafer kann durch den Messarm und den Ausgabearm des optischen Strahlteilers geführt werden. Das reflektierte Licht kann in ein Spektrometer, das mit dem Ausgabearm des optischen Strahlteilers verbunden ist, geführt werden.

[0025] Das Spektrometer wird zum Sammeln des reflektierten Lichtes verwendet. Das Spektrometer schließt eine Vielzahl von Pixel ein, wobei jeder dazu bestimmt ist, Licht von einer gewissen vorbestimmten Wellenlänge zu sammeln. Das Spektrometer kann zum Beispiel 512 Pixel umfassen. Das Spektrometer kann weiterhin Mittel zum Anwenden der Fourier-Transformation auf das Interferenzmuster enthalten, das durch das reflektierte Licht gebildet wird und eine graphische Darstellung erzeugen. Die Verarbeitungsfähigkeit, die für das Verwenden der Fourier-Transformation und für das Erzeugen der graphischen Darstellung erforderlich ist, kann durch einen zusätzlichen Computer, der mit dem Spektrometer gekoppelt ist, bereitgestellt werden.

[0026] Die Erfindung stellt auch eine Vorrichtung zum Bestimmen der Tiefe einer Region mit hohem Aspektverhältnis, die in die Oberfläche des Halbleiterwafers hineinragt, bereit. Die Vorrichtung umfasst eine Mehrfach-Wellenlängen-Lichtquelle, einen Halbleiterwaferhalter, der eine Frontseite zum Halten des Halbleiterwafers aufweist, einen Kopf, um die Mehrfach-Wellenlängen-Lichtquelle auf den Halbleiterwafer zu richten, ein Spektrometer zum Sammeln des Lichtes, das die mehrfachen Wellenlängen enthält, und das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, wobei der Spektrometer eine Vielzahl von Pixeln umfasst, wobei jeder Pixel dazu bestimmt ist, Licht von einer gewissen vorbestimmten Wellenlänge $\lambda(p)$ zur Bereitstellung der Intensität als Funktion von $k = 2\pi/\lambda(p)$ mit äquidistantem k zu sammeln. Die Vorrichtung umfasst ferner ein Analysemittel zum Bestimmen der Tiefe einer Region, aus einem Interferenzmuster des Lichtes, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird,

durch Bilden einer Fourier-Domänen-optischen-Kohärenz-Tomographie, wobei das Licht, das mehrfache Wellenlängen aufweist, einen Wellenlängenbereich von 440 nm bis 500 nm oder von 350 nm bis 410 nm aufweist. Das Analysemittel kann zum Beispiel ein in geeigneter Weise programmierter Computer sein.

[0027] Die Mehrfach-Wellenlängen-Lichtquelle kann eine Licht emittierende Diode, eine Superlumineszenz-Diode, eine schwenkbare Quelle einer Superlumineszenz-Diode, eine elektrische oder laserbetriebene Xenonlampe oder ein Superkontinuum, das durch eine einzelne Faserquelle bereitgestellt wird, sein. Das Mehrfach-Wellenlängen-Licht kann einen Wellenlängenbereich von 440 nm bis 500 nm oder von 350 nm bis 410 nm aufweisen.

[0028] Die Vorrichtung umfasst einen Halbleiterwaferhalter, um den Halbleiterwafer in einer Position zu halten, während er analysiert wird. Der Halbleiterwaferhalter kann eine einfache mechanische Klammer oder einen Vakuumentisch aufweisen.

[0029] Der Kopf zum Ausrichten der Lichtquelle auf den Halbleiterwafer kann benachbart zu der Frontseite eines Halbleiterwaferhalters oder benachbart zu der Unterseite des Halbleiterwafers angeordnet sein.

[0030] Die Vorrichtung kann weiterhin einen optischen Strahlteiler umfassen, der einen Eingabearm, gekoppelt mit der Lichtquelle, einen Ausgabearm, gekoppelt mit dem Spektrometer, und einen Messarm, gekoppelt mit dem Kopf, aufweist. Licht kann den Messarm passieren, um den Halbleiterwafer zu beleuchten, und Licht, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, kann auch durch den Messarm zum Beleuchten des Halbleiterwafers passieren, und Licht, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, kann auch durch den Messarm gesammelt werden und über den Ausgabearm zu dem Spektrometer geführt werden.

[0031] Um ein Kartographieren der Tiefe der Merkmale, die in der Oberfläche des Halbleiterwafers hineinragen, zu ermöglichen, kann der Halbleiterwafer in mindestens einer Richtung senkrecht zu dem Kopf oder in zwei Richtungen senkrecht zu dem Kopf bewegt werden. Alternativ oder zusätzlich kann der Kopf in mindestens eine Richtung parallel zu dem Halbleiterwaferhalter bewegt werden. Der Kopf kann auch in einer Richtung senkrecht zu dem Halbleiterwaferhalter bewegbar sein und damit senkrecht zu einem Halbleiterwafer, der durch den Halbleiterwaferhalter gehalten wird.

[0032] Die Erfindung bezieht sich auch auf den Gebrauch der Fourier-Domänen-optischen-Kohärenz-Tomographie, um die Tiefe von mindestens einer Region in der Oberfläche des Halbleiterwafers zu be-

stimmen, wobei die Region ein Graben, ein Durchgangsloch mit offenem Ende, ein Durchgangsloch mit geschlossenem Ende sein kann, die in die Oberfläche des Halbleiterwafers in einem Siliziumwafer hineinragen.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zum Bestimmen der Tiefe einer Region, die in eine Oberfläche eines Halbleiterwafers hineinragt,

Fig. 2 zeigt ein schematisches Diagramm eines Lichtes der mehrfachen Wellenlängen, das die Oberfläche eines Halbleiterwafers beleuchtet und dabei reflektiert wird,

Fig. 3 zeigt ein Interferenzmuster, das durch das Licht der mehrfachen Wellenlängen, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, erzeugt wird,

Fig. 4 zeigt graphische Darstellungen, nachdem eine Fourier-Transformation auf ein Interferenzmuster angewandt wurde,

Fig. 5 zeigt eine Messung der Tiefe einer Region durch Beleuchten der zweiten Seite des Halbleiterwafers.

[0033] **Fig. 1** zeigt eine Vorrichtung **10** zum Bestimmen der Tiefe einer Region **11**, die ein hohes Aspektverhältnis in eine Oberfläche **12** eines Halbleiterwafers **13** aufweist.

[0034] Die Vorrichtung **10** umfasst eine Lichtquelle **14**, die Licht mehrfacher Wellenlängen erzeugt, einen Kopf **15** zum Ausrichten der Lichtquelle auf den Halbleiterwafer **13**, ein Spektrometer **16** für das Sammeln des Lichtes der mehrfachen Wellenlängen, das von der Oberfläche **12** des Halbleiterwafers **13** reflektiert wird, und Analysemittel **21** zum Bestimmen einer Tiefe der Region **11** aus einem Interferenzmuster des Lichtes, das von dem Halbleiterwafer **13** reflektiert wird unter Durchführen einer Fourier-Domänen-optischen-Kohärenz-Tomographie.

[0035] Ein optischer Strahlteiler **17** wird bereitgestellt, der einen Eingabearm **18** hat, welcher die Lichtquelle **14** an den optischen Strahlteiler koppelt, und einen Messarm **19** hat, der zum Führen des Lichtes von der Lichtquelle **14** zu dem Kopf **15** und auf den Halbleiterwafer **13** verwendet wird. Der Kopf **15** und der Messarm **19** werden auch zum Sammeln des Lichtes verwendet, das von der Oberfläche **12** des Halbleiterwafers **13** reflektiert wird, welches dann durch den optischen Strahlteiler **17** über den Ausgabearm **20** zu dem Spektrometer **16** geführt wird. In dieser Ausführungsform sind der Eingabearm **18**, der Messarm **19** und der Ausgabearm **20** optische Fasern und der optische Strahlteiler ist ein Fasenkoppler.

[0036] Die Lichtquelle **14** erzeugt Licht mehrfacher Wellenlängen, die eine Bandbreite im blauen oder ul-

travioletten Bereich aufweisen. Die Lichtquelle wird in dieser Ausführungsform durch eine Xenonlampe bereitgestellt. Jedoch kann auch eine Licht emittierende Diode oder ein Superkontinuum durch eine einzelne Faserquelle bereitgestellt werden, die auch benutzt werden kann.

[0037] Das Analysemittel **21** umfasst einen in geeigneter Weise programmierten Prozessor, der zum Beispiel in Form eines Computers bereitgestellt werden kann. Das Analysemittel **21** ist programmiert, um eine Fourier-Transformation auf das Interferenzmuster, das durch das Spektrometer **16** gesammelt ist, anzuwenden und eine graphische Darstellung, welche mindestens eine Spitze aufweist, zu erzeugen.

[0038] Der Halbleiterwafer **13** ist auf einem Halbleiterwaferhalter **22** positioniert, der in zwei Richtungen bewegbar ist, die mit x- und y-Richtungen in **Fig. 1** bezeichnet sind, und zwar senkrecht zu dem Kopf **15** und senkrecht zu dem Licht, das mit z-Richtung in **Fig. 1** bezeichnet ist, das die Oberfläche **12** des Halbleiterwafers **13** beleuchtet.

[0039] Der Halbleiterwaferhalter umfasst auch einen Mechanismus **23** zum Ändern der Position des Halbleiterwaferhalters **21**, welcher mit dem Analysemittel **21** gekoppelt ist, so dass die Position des Halbleiterwafers **13** in dem Analysemittel **21** für jedes erzeugte Interferenzmuster bekannt ist. Auf diese Weise kann die Position des Halbleiterwafers **13** mit der Analyse der Oberfläche des Halbleiterwafers **13** koordiniert werden, um ein dreidimensionales Bild der Oberfläche **12** des Halbleiterwafers **13** zu erzeugen.

[0040] **Fig. 2a** zeigt eine detailliertere Ansicht der Region **11**, die ein hohes Aspektverhältnis aufweist, und die in die erste Oberfläche **12** in den Körper des Halbleiterwafers **13** hineinragt. In dieser Ausführungsform ist die Region **11** ein Durchgangsloch mit geschlossenem Ende, das in die erste Oberfläche **12** hineinragt.

[0041] In dieser Ausführungsform wird das Licht der mehrfachen Wellenlängen, das die Oberfläche **12** beleuchtet, mit einem Pfeil **24** gekennzeichnet und das Licht der mehrfachen Wellenlängen, das von dem Halbleiterwafer **13** reflektiert wird, wird mit der Vielzahl von Pfeilen **25**, **26** und **27** gekennzeichnet.

[0042] Wie in **Fig. 2a** gezeigt, wird das Licht von jeder Grenzfläche des Halbleiterwafers **13** reflektiert. In dieser Ausführungsform wird Licht **25** von der Grenzfläche zwischen der ersten Oberfläche **12** und der Umgebung reflektiert, Licht **26** wird von der Grenzfläche, die zwischen der Basis **28** des Durchgangslochs **11** und der Umgebung gebildet wird, reflektiert und Licht **27** wird von der Grenzschicht, die zwischen der zweiten Oberfläche **29** und dem Halbleiterwafer **13** und der Umgebung gebildet wird, reflektiert.

[0043] **Fig. 2b** zeigt eine weitere Ausführungsform, in der das Durchgangsloch **11'** ein höheres Aspektverhältnis aufweist als das der **Fig. 2a** und deshalb tiefer ist.

[0044] In diesem Zusammenhang wird ein hohes Aspektverhältnis verwendet, um das Verhältnis der Breite, welche mit der Referenznummer **w** bezeichnet ist, zu der Tiefe, welche mit der Referenznummer **d** der Region **11** bezeichnet ist, zu bestimmen. Ein hohes Aspektverhältnis wird hier definiert als ein Verhältnis der Breite zu der Tiefe von mindestens **1** zu **10**.

[0045] Das Licht, das schematisch in **Fig. 2** mit den Pfeilen **25**, **26** und **27** gezeigt ist, das von den unterschiedlichen Grenzflächen des Halbleiterwafers **13** reflektiert wird, umfasst mehrfache Wellenlängen und bildet ein Interferenzmuster **30**, das schematisch in **Fig. 3** gezeigt wird. Dieses Interferenzmuster **30** wird repräsentiert als ein Graph der Intensität gegenüber einer k , was gleich ist mit 2π geteilt durch die Wellenlänge. Das Interferenzmuster ist von einer Sinusform mit einer konstanten Periode, wie es in **Fig. 3** mit einer gestrichelten Linie gezeigt wird.

[0046] Das Analysemittel **21** wird zur Analyse des Interferenzmusters **30** verwendet, das durch das Spektrometer **16** gemessen wird. Das Analysemittel **21** verwendet eine Fourier-Transformation auf das Interferenzmuster an, um eine graphische Darstellung **31**, **31'**, wie in den **Fig. 4a** und **Fig. 4b** gezeigt, für die zwei Durchgangslöcher **11**, **11'**, die in den **Fig. 2a** beziehungsweise **2b** gezeigt sind, zu erzeugen.

[0047] Insbesondere wird die Intensität des Lichtes der mehrfachen Wellenlängen, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, unter Verwendung eines Detektors, der eine Vielzahl von Pixel aufweist, gemessen. Die Wellenlänge des Lichtes, das durch jedem Pixel $\lambda(p)$ gesammelt wird, wird mit dem Spektrometer **16** bestimmt. Die Intensität von jeder Wellenlänge für jeden Pixel wird kartographiert, um die Intensität als eine Funktion von k , wobei $k = 2\pi/\lambda(p)$ mit der Äquidistanten k unter Verwendung einer schnellen Fourier-Transformation bereitzustellen, um eine graphische Darstellung der Intensität als Funktion der optischen Dicke zur Verfügung zu stellen.

[0048] **Fig. 4** zeigt zwei Beispiele einer graphischen Darstellung **31**, **31'**, in denen die Intensität gegenüber der optischen Dicke gedruckt ist. Jede der graphischen Darstellungen **31**, **31'** weist drei Spitzen **32**, **33**, **34**, **32'**, **33'** beziehungsweise **34'** auf.

[0049] In **Fig. 4a** weist die Spitze **32** eine kleinere optische Dicke auf, welche die Dicke der optischen Dicke der Schicht repräsentiert, die zwischen der ersten Oberfläche **12** und der Basis **28** des Durchgangslochs **11** gebildet wird. Die zweite Spitze **33** repräsentiert die Dicke der Schicht, die zwischen der ersten

Oberfläche **12** des Halbleiterwafers **13** und der rückseitigen Oberfläche **29** des Halbleiterwafers **13** gebildet wird. Die dritte Spitze **34** repräsentiert die Dicke der Schicht, die durch die Basis **28** des Durchgangsloches **11** und der rückseitigen Oberfläche **29** des Halbleiterwafers gebildet wird. Die Tiefe d des Durchgangsloches **11** kann aus der Differenz zwischen den Positionen der Spitzen **33** und **34** bestimmt werden.

[0050] Wie in **Fig. 2b** gezeigt, ist die Schicht **t2**, die zwischen der ersten Oberfläche **12** und der Basis **28** des Durchgangsloches **11'** gebildet wird, größer als die Schicht **t1** des Durchgangsloches **11**, die in **Fig. 2a** gezeigt wird.

[0051] Diese wird in **Fig. 4b** durch eine vergrößerte optische Dicke dieser Schicht gezeigt, was in der ersten Spitze **32'** resultiert, die weiter nach rechts positioniert ist verglichen mit der Spitze **32**, die in **Fig. 4a** gezeigt wird, und auch in der Spitze **34'**, die weiter nach links positioniert ist verglichen mit der Spitze **34**, die in **Fig. 4a** gezeigt wird.

[0052] Die Position der zweiten Spitze **33'** ändert sich nicht verglichen mit der Spitze **33**, weil die Dicke des Halbleiterwafers **13**, welche die Dicke der Schicht zwischen der ersten Oberfläche **12** und der zweiten Oberfläche **29** des Halbleiterwafers **13** bildet, die gleiche ist.

[0053] Die geometrische Tiefe der Durchgangslöcher **11**, **11'** kann aus der optischen Dicke der Schicht durch Dividieren der optischen Dicke mit dem Brechungsindex des Materials, das die Schicht bildet bestimmt werden.

[0054] **Fig. 5** zeigt eine weitere Ausführungsform, in der das Licht der mehrfachen Wellenlängen **24** derart gerichtet ist, dass die zweite Seite **29** des Halbleiterwafers **13** beleuchtet wird. Die Vorrichtung **10** und die Verfahren zum Analysieren des reflektierten Lichtes, die oben beschrieben sind, können auch für diese Ausführungsform verwendet werden. Der Halbleiterwafer **13** kann auf dem Halbleiterhalter **22**, der in **Fig. 1** gezeigt wird, positioniert werden, so dass seine zweite Oberseite **29** nach oben zeigt und die erste Oberfläche **12** in Kontakt mit dem Waferhalter **22** ist. Alternativ könnte der Kopf **15** unter dem Waferhalter **22** positioniert werden und die zweite Oberfläche **29** verbleibt, mindestens in Kantenbereichen, in Kontakt mit dem Waferhalter **22**.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen der Tiefe einer Region, die ein hohes Aspektverhältnis aufweist, und in eine Oberfläche eines Halbleiterwafers hineinragt:
- Bereitstellen eines Halbleiterwafers, der eine erste Hauptoberfläche, eine zweite Hauptoberfläche, die gegenüberliegend der ersten Hauptoberfläche ange-

ordnet ist, und eine Region, die in die erste Hauptoberfläche hineinragt, aufweist, und wobei die Region eine Breite und eine Tiefe und ein hohes Aspektverhältnis aufweist,

- Beleuchten der ersten Hauptoberfläche mit Licht, das mehrfache Wellenlängen aufweist, wobei das Mehrfach-Wellenlängen-Licht einen Wellenlängenbereich von 440 nm bis 500 nm oder 350 nm bis 410 nm aufweist;

- Messen der Intensität des Lichtes der mehrfachen Wellenlängen, das von unterschiedlichen Grenzflächen des Halbleiterwafers als eine Funktion der Wellenlänge reflektiert wird, wobei das von dem Halbleiterwafer reflektierte Licht ein Interferenzmuster bildet;

- Sammeln des reflektierten Lichtes durch ein Spektrometer, wobei das Spektrometer eine Vielzahl von Pixeln umfasst, wobei jeder Pixel dazu bestimmt ist, Licht von einer gewissen vorbestimmten Wellenlänge $A(\rho)$ zur Bereitstellung der Intensität als Funktion von $k = 2\pi/\lambda(\rho)$ mit äquidistantem k zu sammeln;

- Analysieren des gemessenen Lichtes unter Anwendung einer Fourier-Transformation auf das Interferenzmuster, und Erzeugen einer graphischen Darstellung, die Spitzen aufweist, welche mit den unterschiedlichen Grenzflächen des Halbleiterwafers assoziiert sind, und

- Bestimmen der Tiefe des Bereichs mittels mindestens einer der Spitzen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Intensität des Lichtes der mehrfachen Wellenlängen, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, als eine Funktion der Inversen der Wellenlänge gemessen wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die graphische Darstellung die Intensität als eine Funktion der optischen Tiefe umfasst.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die optische Tiefe der Region durch die Position der Spitze in der graphischen Darstellung bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei mindestens eine Spitze mit einer optischen Dicke der Schicht korrespondiert, die durch zwei Grenzschichten definiert ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das gemessene Licht analysiert wird, um die optische Dicke t_1 einer Schicht, die durch die Grenzfläche zwischen der ersten Hauptoberfläche des Halbleiterwafers und der Umgebung und der Grenzfläche zwischen einer Basis der Region und der Umgebung definiert wird, zu bestimmen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das gemessene Licht analysiert wird, um die optische Dicke t_2 einer Schicht, die durch die Grenzfläche zwischen der ersten Oberfläche des Halbleiter-

wafers und der Umgebung und der Grenzfläche zwischen einer Basis der Region und der Umgebung definiert wird, zu bestimmen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Halbleiterwafer relativ zu dem Licht, das den Halbleiterwafer beleuchtet, bewegt wird und das reflektierte Licht an mindestens einer weiteren Position gemessen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Halbleiterwafer in zwei rechtwinklige Richtungen relativ zu der Lichtbeleuchtung des Halbleiterwafers bewegt wird und das reflektierte Licht analysiert wird und eine dreidimensionales Bild des Halbleiterwafers hergestellt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Halbleiterwafer ein Siliziumwafer ist und die Region eine aus der Gruppe ist, bestehend aus einem Durchgangsloch, einem einseitig geschlossenen Durchgangsloch und einem Graben.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Halbleiterwafer mit Licht beleuchtet wird, das mehrfache Wellenlängen umfasst, die von einer aus der Gruppe emittiert werden, bestehend aus einer Licht emittierenden Diode, einer Superlumineszenz-Diode, einer Superlumineszenz-Diode mit schwenkbarer Quelle, einer elektrisch oder laserbetriebenen Xenonlampe und einem Superkontinuum, das durch eine einzelne Faserquelle bereitgestellt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Licht der mehrfachen Wellenlängen einen optischen Strahlteiler, der einen Eingabearm, einen Ausgabearm und einen Messarm aufweist, passiert, bevor der Halbleiterwafer getroffen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das Licht der mehrfachen Wellenlängen den Eingabearm und den Messarm des optischen Strahlteilers passiert.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei das reflektierte Licht den Messarm und den Ausgabearm des optischen Strahlteilers passiert.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das reflektierte Licht auf das Spektrometer, das mit dem Ausgabearm des optischen Strahlteilers gekoppelt ist, gerichtet wird.

16. Vorrichtung zum Bestimmen einer Tiefe einer Region, die ein hohes Aspektverhältnis aufweist und in eine Oberfläche eines Halbleiterwafers hineinragt, umfassend:

- eine Mehrfach-Wellenlängen-Lichtquelle;

- einen Halbleiterwaferhalter, der eine Frontseite zum Halten des Halbleiterwafers aufweist;

- einen Kopf zum Ausrichten der Lichtquelle auf den Halbleiterwafer;

- ein Spektrometer zum Sammeln des Lichtes, das mehrfache Wellenlängen aufweist, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wird, wobei der Spektrometer eine Vielzahl von Pixeln umfasst, wobei jeder Pixel dazu bestimmt ist, Licht von einer gewissen vorbestimmten Wellenlänge $A(p)$ zur Bereitstellung der Intensität als Funktion von $k = 2\pi/\lambda(p)$ mit äquidistantem k zu sammeln; und

- ein Analysemittel zum Bestimmen einer Tiefe der Region von einem Interferenzmuster des Lichtes, das von dem Halbleiterwafer reflektiert wurde, mittels Durchführen einer Fourier-Domänen-optischen Kohärenz-Tomographie wobei das Licht, das mehrfache Wellenlängen aufweist, einen Wellenlängenbereich von 440 nm bis 500 nm oder von 350 nm bis 410 nm aufweist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, wobei der Kopf benachbart zu der Frontseite des Halbleiterwaferhalters positioniert ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 17, weiterhin umfassend einen optischen Strahlteiler, der einen Eingabearm, der mit der Lichtquelle gekoppelt ist, einen Ausgabearm, der mit dem Spektrometer gekoppelt ist, und einen Messarm, der mit dem Kopf gekoppelt ist, umfasst

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei der Halbleiterwaferhalter in mindestens eine Richtung senkrecht zu dem Kopf bewegbar ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei der Kopf in mindestens eine Richtung parallel zu dem Halbleiterwaferhalter bewegbar ist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei der Kopf in mindestens eine Richtung senkrecht zu dem Halbleiterwaferhalter bewegbar ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

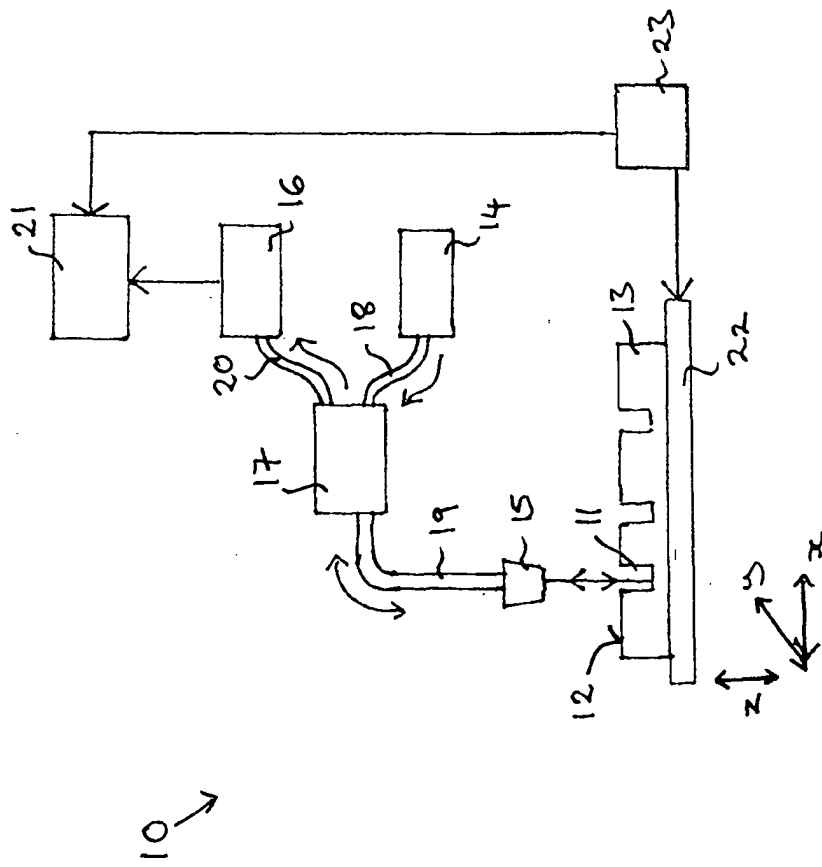


Fig. 1.

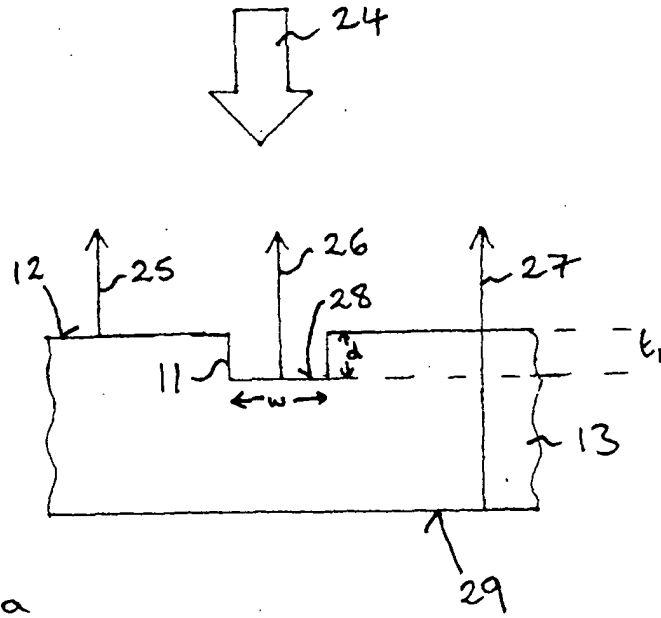


Fig. 2a

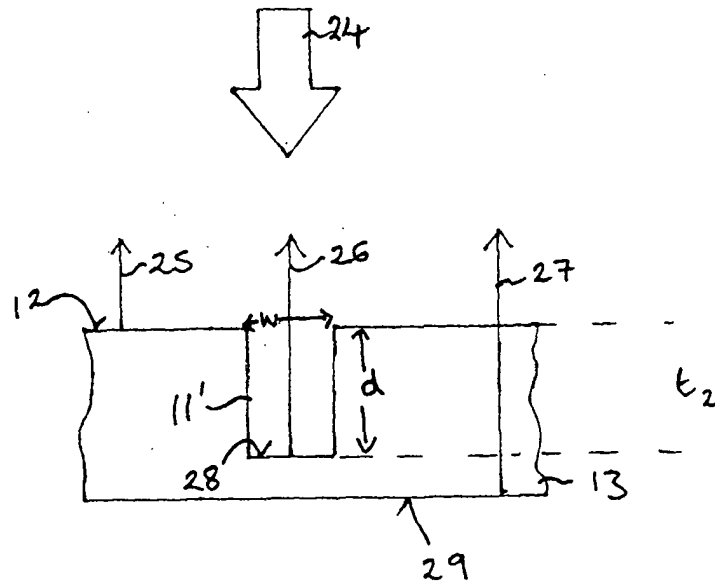


Fig. 2b

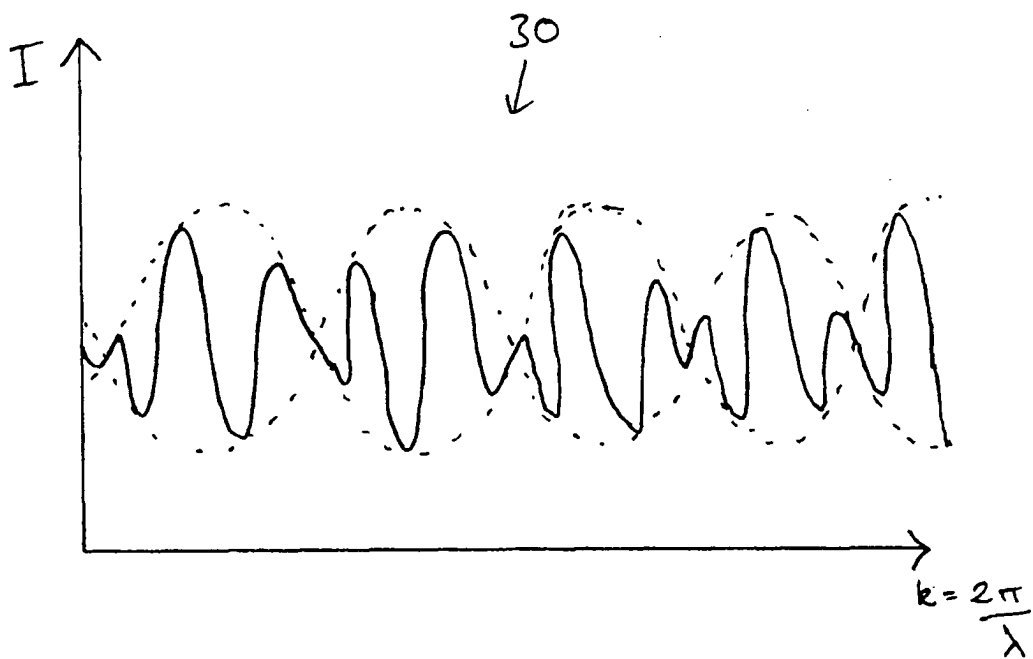
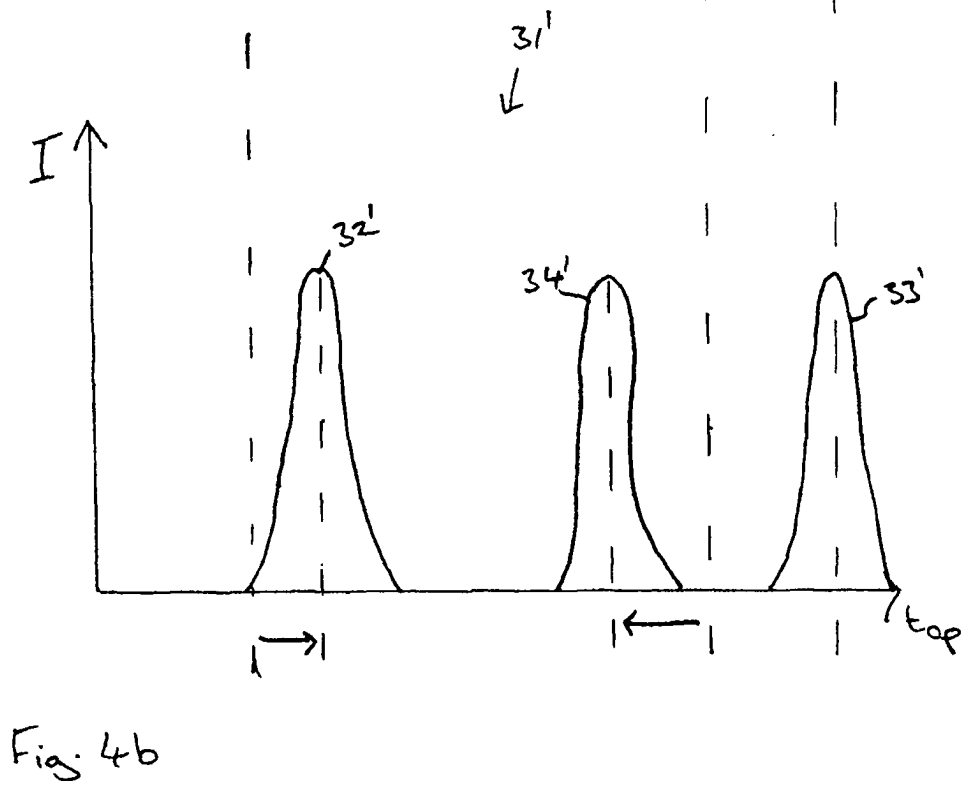
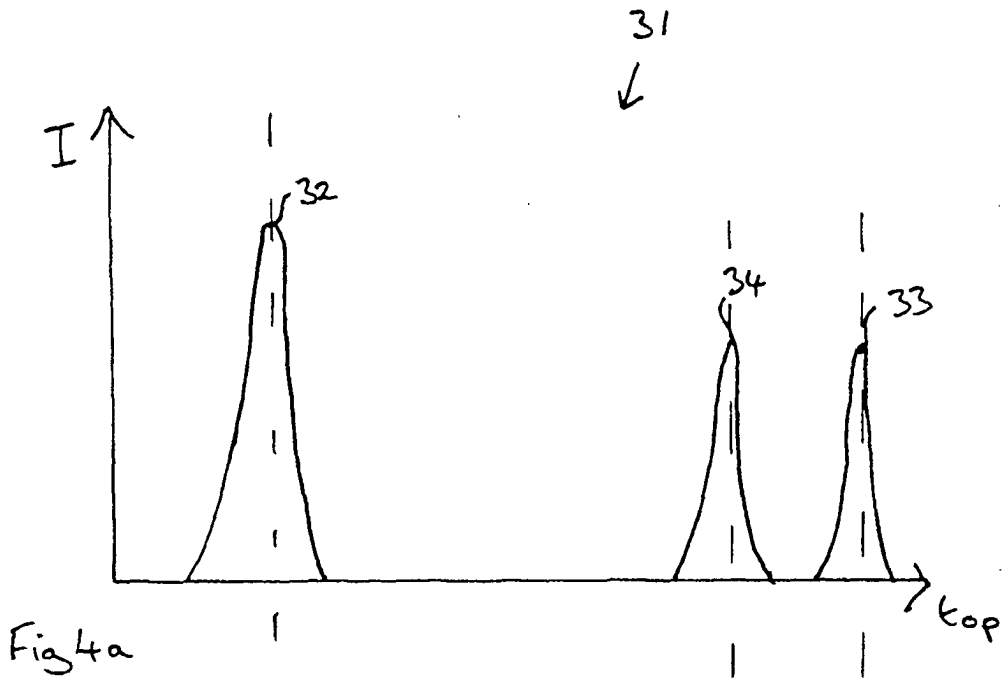


Fig. 3.



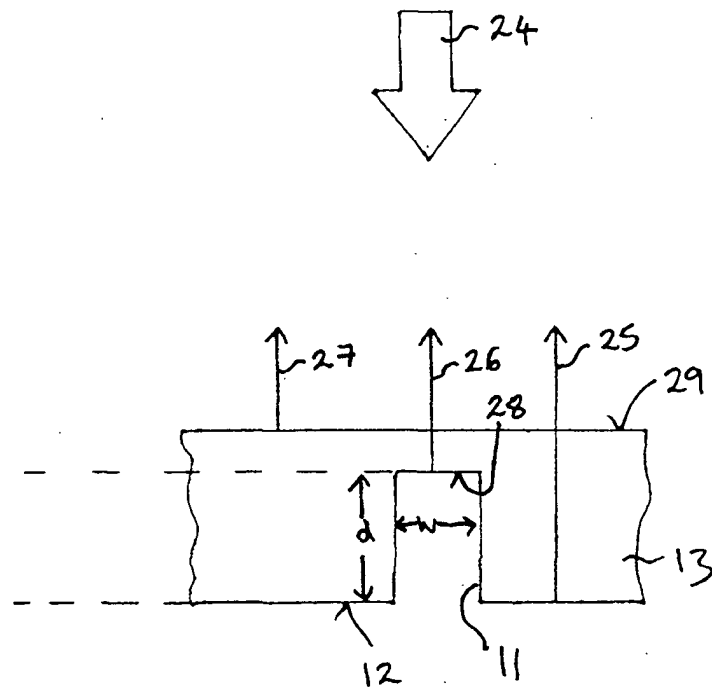


Fig. 5