



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 698 18 688 T2 2004.08.05

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 010 025 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 698 18 688.5

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US98/13916

(96) Europäisches Aktenzeichen: 98 967 002.1

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 99/018462

(86) PCT-Anmeldetag: 02.07.1998

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 15.04.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 21.06.2000

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 01.10.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 05.08.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: G02B 6/16

G02B 6/34

(30) Unionspriorität:

942590 02.07.1997 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:

Minnesota Mining and Manufacturing Company,  
St. Paul, Minn., US

(72) Erfinder:

Brennan, III, James F., Saint Paul, US; Labrake,  
Dwayne L., Saint Paul, US; Beauchesne, Gerard  
A., Saint Paul, US; Pepin, Ronald P., Saint Paul, US

(74) Vertreter:

Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner et col.,  
50667 Köln

(54) Bezeichnung: HERSTELLUNGVERFAHREN VON BRECHUNGINDEXGITTERN BELIEBIGER LÄNGE LÄNGS  
OPTISCHERWELLENLEITER

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 eingelebt, 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****GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen optischer In-Line-Wellenleiterbrechungsindexgitter von jeder gewünschten Länge. Genauer gesagt, betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines rein apodisierten "chirped" Faser-Bragg-Gitters (FBG) einer beliebigen gewünschten Länge durch Verschieben einer Faser in Bezug auf ein Interferogramm aktinischer Strahlung mit einer Intensität, die als Funktion der Zeit amplitudenmoduliert ist.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0002] Optische In-line-Weflenleiterbrechungsindexgitter sind periodische, aperiodische oder pseudoperiodische Variationen des Brechungsindex eines Wellenleiters. Gitter können beispielsweise durch physisches Aufdrücken einer Modulation auf den Wellenleiter, durch Verursachen einer Veränderung des Brechungsindex entlang des Wellenleiters unter Verwendung des Lichtempfindlichkeitsphänomens oder durch andere, auf diesem Gebiet bekannte Verfahren gebildet werden. In den Kern einer optischen Faser geschriebene Gitter sind insbesondere entscheidende Komponenten für viele Anwendungen in faseroptischen Kommunikations- und Sensorsystemen.

[0003] Um einen Bereich des Wellenleitermaterials lichtempfindlich zu machen, werden Dotierungssubstanzen, wie beispielsweise Germanium, hinzugefügt, wodurch bewirkt wird, daß der Brechungsindex dieses Bereichs zum Ansteigen neigt, wenn er aktivischer Strahlung ausgesetzt ist. Das gegenwärtig bevorzugte Verfahren zum "Schreiben" eines In-line-Gitters umfaßt das Aussetzen eines Teils des Wellenleiters der Interferenz zwischen zwei Strahlen aktivischer (üblicherweise ultravioletter) Strahlung. Die beiden Strahlen fallen in Querrichtung auf die Führungsstruktur des Wellenleiters ein, um ein Interferogramm, d. h. ein Muster optischer Interferenz, zu erzeugen. Der Winkel zwischen den beiden Strahlen (und die Wellenlänge der Strahlung) bestimmt den Streifenabstand des Interferogramms. Üblicherweise bilden die beiden Strahlen aktinischer Strahlung die Schenkel eines Interferometers oder werden durch Abschießen eines einzelnen Strahls durch eine Phasenmaske erzeugt. Das Phasenmaskenverfahren wird im allgemeinen als für die Herstellung von In-line-Gittern in großem Maßstab geeigneter angesehen, weil es sehr häufig wiederholbar ist, weniger anfällig gegenüber mechanischen Schwingungen des optischen Aufbaus ist und mit Schreibstrahlen von viel geringerer Kohärenzlänge durchgeführt werden kann.

[0004] Die Vorteile optischer In-line-Faser-Gitter gegenüber konkurrierenden Techniken umfassen Gesamtformgeometrie, geringen Einfügungsverlust, hohe Rückflußdämpfung oder -löschung und potentiell geringe Kosten. Eine der herausragendsten Merkmale von Fasergittern jedoch ist die durch die Gitter gegebene Flexibilität zum Erreichen erwünschter spektraler Eigenschaften. Zahlreiche physikalische Parameter der Gitter können variiert werden, einschließlich der induzierten Indexveränderung, Länge, Apodisation, Perioden-"Chirp", Gittergrundmaßneigung, und ob das Gitter eine Kopplung in mitausbreitender (Langperioden- oder Transmissionsgitter) oder sich in Gegenrichtung ausbreitender Kopplung (Bragg-Gitter) bei einer gewünschten Wellenlänge unterstützt. Durch Veränderung dieser Parameter können Gitter für spezielle Anwendungen maßgeschneidert werden.

[0005] Die Vielseitigkeit eines In-line-Gitters hängt weitgehend von zwei Faktoren, der Gesamtlänge der Gitterstruktur und dem Profil des Reflexionsvermögens (oder der Durchlässigkeit) der Gitterstruktur selbst ab. Komplizierte Reflexionsvermögensprofile können durch sorgfältige Steuerung der Brechungsindexstörung entlang der Wellenleiterlänge,  $x$ , erreicht werden. Die Indexstörung  $\delta n(x)$  kann als phasen- und amplitudenmodulierte periodische Funktion charakterisiert werden,

$$\delta n(x) = \delta n_0(x) \cdot \left\{ A(x) + m(x) \cdot \cos \left[ \frac{2\pi}{\Lambda_0} \cdot x + \phi(x) \right] \right\}, \quad (1)$$

wobei  $\delta n_0(x)$  die über eine Gitterperiode räumlich Bemittelte Indexveränderung,  $A(x)$  ein Versatz (üblicherweise ist  $A = 1$ ),  $m(x)$  die Streifensichtbarkeit der Indexveränderung,  $\Lambda_0$  die nominelle räumliche Periode des Grundmaßes ist und  $\phi(x)$  das Gitter-"Chirp" beschreibt. Um den Herstellungsprozeß zu automatisieren, ist es erwünscht, dieses beliebige Brechungsindexprofil in einem einzigen Verfahrensschritt in einen Wellenleiter einzuschreiben, d. h. mit einem einzigen Durchlauf des Laserstrahls über den Wellenleiter und ohne physische Veränderung der Schreibvorrichtung. Für eine vollständige Flexibilität bei der Gitterherstellung müssen die  $\delta n_0(x)$  beschreibenden Parameter jeweils unabhängig gesteuert werden.

[0006] Durch Steuerung von z. B.  $\delta n_0(x)$  und  $m(x)$  entlang der Gitterlänge kann insbesondere eine Apodisation eines Gitterspektrums erzielt werden. Der Hauptscheitelwert im Reflexionsspektrum eines In-line-Gitters endlicher Länge mit einheitlicher Modulation des Brechungsindex geht mit einer Reihe von Nebenkeulen mit

benachbarten Wellenlängen einher. Das Senken des Reflexionsvermögens der Nebenkeulen oder das "Apodisieren" des Reflexionsspektrums des Gitters ist wünschenswert bei Vorrichtungen, bei denen eine starke Unterdrückung von nicht-resonantem Licht erforderlich ist. Durch Apodisation werden auch die Dispersionskompen-sationseigenschaften von "chirped" Gittern verbessert. Bei den meisten dieser Anwendungen ist eine Apodisation gewünscht, die durch Konstanthalten von  $\delta n_0(x)$  und  $A(x)$  über die Gitterlänge geschaffen wird, wobei  $m(x)$  variiert wird, wobei angenommen wird, daß dies durch Steuern des Laserstrahls allein nicht in einem Ein-Schritt-Verfahren (bei voller Flexibilität) hätte erreicht werden können.

[0007] Eine Variation der Indexmodulation durch Veränderung der Ultraviolettbelichtung entlang der Länge des Gitters verursacht sowohl eine Veränderung des Ausmaßes der Brechungsindexmodulation als auch des durchschnittlichen lichtinduzierten Brechungsindex. Die durchschnittliche Indexvariation führt zu unerwünschten effektiven "Chirps" der resonanten Wellenlänge des Gitters und erweitert die Gitterspektralempfindlichkeit. Zur Abschwächung dieser Symptome ist es erwünscht, das Gitter "rein zu apodisieren", d. h., sowohl die un-einheitliche modulierte ultraviolette Interferenzerscheinung als auch eine Kompensationsbelichtung zu erzeu-gen, die automatisch gewährleistet, daß der durchschnittliche lichtinduzierte Brechungsindex entlang der Län-ge der Faser konstant ist. Einige Forscher haben das erwünschte Apodisationsprofil durch Phasenmodulation des Wellenleiters in dem Interferogramm geschaffen, um die Brechungsindexinterferenzsichtbarkeit an be-stimmten Stellen entlang der Wellenleiterlänge zu vermindern, doch erfordern diese Techniken komplexe me-chanische Befestigungen für die Phasenmaske und den Wellenleiter, die in Vibrationen versetzt, aber dennoch präzise positioniert werden können.

[0008] Außer der in den Wellenleiter geschriebenen speziellen Indexstörung ist die Gitterlänge auch bei be-stimmten Anwendungen bei faseroptischen Kommunikationssystemen und Systemen mit verteilten Sensoren von Bedeutung. Es wurden beispielsweise Bragg-Gitter aus "chirped" Fasern von großer Länge als attraktive Vorrichtungen für die Herstellung von Dispersionskompensatoren vorgeschlagen. Hochgeschwindigkeitsda-tenfernübertragungen, insbesondere Übertragungen über bestehende nicht-dispersionsverschobene Faser-netzwerke, sind durch die chromatische Dispersion in der optischen Faser begrenzt. Da die Transmissions-bandbreite üblicherweise durch die Systembedürfnisse vorbestimmt ist, müssen "chirped" Bragg-Gitter über eine so große Bandbreite für Dispersionskompensation sorgen, daß typische Halbleiterlaserwellenlängentole-ranzen abgedeckt sind, um in der Praxis als Dispersionskompensatoren verwendbar zu sein. Es wurde berich-tet, daß ein Gitter in der Ordnung von 1 Meter Länge mit einem konstanten Dispersionsprofil und einer breiten Bandbreite erforderlich wäre, um eine Zeitverzögerung von ~1700 ps/nm zu erzielen, die zum Kompensieren von 100 km nicht-dispersionsverschobener Faser über 5 nm bei einer Wellenlänge von 1550 nm ausreichen würde.

[0009] Es besteht ein Bedarf an einem Verfahren zum Herstellen von Bragg-Gittern von großer Länge mit komplexen Gitterstrukturen. Es ist ein Verfahren beschrieben, bei dem ein UV-Strahl über eine Langphasen-maske mit einer festen Position in bezug auf die Faser streicht. Durch Variieren der Belichtungszeit oder durch Nachbearbeitung des Gitters werden komplexe Strukturen hinzugefügt. Ein anderes Verfahren erörtert die Ver-wendung von in einer festen Position relativ zu speziell entwickelten Langphasenmasken mit einer bereits in die Maske eingedrückten komplexen Struktur gehaltenen Fasern. Diese Techniken sind jedoch beide durch die Länge der verfügbaren Phasenmasken, üblicherweise von etwa ~10 cm, limitiert.

[0010] Es ist ein Verfahren zum Schreiben von Gittern vorgeschlagen worden, bei dem der Wellenleiter sich in bezug auf die Maske bewegt. Diese Technik ist jedoch limitiert, da die Interferenzsichtbarkeit der Indexmo-dulation in dem Wellenleiter bedeutend abnimmt, wenn der Wellenleiter sich in bezug auf die Phasenmaske zu sehr bewegt, so daß keine Gitter hergestellt werden können, die viel größer als eine Phasenmaske sind. Jün-gere Entwicklungen versuchten sich an der Erzeugung langer komplexer Gitter durch Abtasten einer Phasen-maske durch einen UV-Strahl und Schreiben von Teilgittern (eine Anzahl von Gitterelementen) bei jedem Be-strahlungsschritt auf der Faser, wobei die Faser unter Verwendung eines sehr präzisen piezoelektrischen Meß-wandlers bewegt wird, wie dies in Stubbe Group et al: "Novel technique for writing long superstructured fiber bragg gratings"; photosensitivity and quadratic nonlinearity in glass waveguides fundamentals and applica-tions, Band 22, 9. September 1995, Seiten 285 bis 287, XP002046186, offenbart ist und von dem die Oberbe-griffe der Ansprüche 1 und 22 ausgehen. Um die Gitterstruktur zu vergrößern, kann dann eine Anzahl von Teil-gittern miteinander verknüpft werden. Die Faser wird in Hochpräzisionsgestellen in Bezug auf ein Interfero-gramm aus UV-Licht verschoben. Die Position des Gestells wird interferometrisch verfolgt und der Laser wird ausgelöst, wenn die Faser die gewünschte Position für die nächste Bestrahlung erreicht. Der Phasenabgleich zwischen diesen Teilgittern kann gesteuert werden, um einige komplexe Strukturen zu schaffen, wie beispiels-weise "Chirps". Apodisation kann durch Zittern um eine Interferogramm-/Faser-Relativposition erreicht wer-den.

[0011] Der Verknüpfungsvorgang leidet darunter, daß extrem genaue Positionierungsgestelle benötigt wer-den, die sich zur Zeit lediglich durch Verwendung eines Interferometers als Kodierer erreichen lassen. Ohne interferometrische Steuerung leidet das Verknüpfungsverfahren unter "Näh"-Fehlern, d. h. Fehlern beim Ab-gleichen der Gitterelemente. Gegenwärtig kann lediglich ein sich linear bewegendes Gestell gesteuert werden;

bei Drehgestellen müssen mechanisch geführte Kodierer verwendet werden. Daher ist die Länge eines mittels eines Verknüpfungsverfahrens hergestellten Fasergitters durch die bei Präzisionsgestellen mögliche lineare Bewegung begrenzt, wobei dessen Implementierung zur Zeit unerschwinglich teuer wird, sofern es viel länger als ein Meter ist. Da das Schutzgehäuse um eine Faser für die Gitterherstellung entfernt werden muß, wird eine große Länge von das Gitter enthaltender bloßgelegter Faser von dem Präzisionsgestell entfernt und zwecks Verpackung aufgewickelt, wodurch die Komplexität der Herstellung erhöht (gesteigerte Materialbewegung), die Herstellungsautomatisierung erschwert und die mechanische Festigkeit der Faser wahrscheinlich verringert wird.

[0012] Es bleibt der Bedarf an einer effektiven Schreibtechnik für optische In-line-Wellenleitergitter von sehr großer Länge und komplizierten Reflexionsvermögensprofilen.

[0013] Dokument WO 98/08120 A ist ein Dokument unter Art. 54(3) EPÜ (d. h. ein Dokument, dessen Prioritätsdatum vor dem der vorliegenden Anmeldung liegt und das nach dem Prioritätsdatum der vorliegenden Anmeldung veröffentlicht worden ist), und offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines optischen In-line-Wellenleiterbrechungsindexgitters mit einem gewünschten Grundmaß A, das die folgenden Schritte aufweist: Bereitstellen eines lichtempfindlichen Wellenleiters, Bereitstellen eines Schreibstrahls aktivischer Strahlung, Erzeugen einer periodischen oder quasi-periodischen Intensitätsverteilung mit der räumlichen Periode  $\Lambda_0$  vom Schreibstrahl, Verschieben des Wellenleiters in bezug auf die Intensitätsverteilung und die Geschwindigkeit v(t) und Modulieren der Intensität des Schreibstrahls als Funktion der Zeit mit einer Frequenz f(t), wobei v(t) und f(t) als Funktion von  $\Lambda_0$  gewählt werden, so daß  $v(t)/f(t) \approx \Lambda_0$ , woraus sich das Schreiben eines Brechungsindexgitters mit einem Grundmaß von  $A \approx \Lambda_0$  ergibt.

[0014] Ein Verfahren zum punktweisen Schreiben von Umwandlungsgittern mit abstimmbarem Modus ist in Electronic Letters, Band 20, 1990, Seiten 1270 bis 1272 offenbart: Die Verschiebung des Wellenleiters in bezug auf den Schreibstrahl und die Frequenz der Schreibstrahlimpulse sind konstant. Unter Verwendung dieses Verfahrens ist kein Interferogramm und kein genaues Positioniersystem erforderlich. Aufgrund der fehlenden Synchronisation der Wellenleiterverschiebung und der Schreibstrahlimpulse ist die Genauigkeit des resultierenden Gitters schlechter als die Genauigkeit bei der Verwendung synchronisierter Verfahren.

[0015] Eine Aufgabe der Erfindung ist es, eine effektive Schreibtechnik für sehr lange optische In-line-Wellenleitergitter mit komplizierten Reflexionsvermögensprofilen zu schaffen.

[0016] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen von Anspruch 1 bzw. Anspruch 21 gelöst.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0017] Die vorliegende Erfindung offenbart ein neuartiges Verfahren zur Herstellung eines Gitters beliebiger Länge, mit unabhängiger Steuerung jedes die Indexstörung begrenzenden Parameters. Bei dem Herstellungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein lichtempfindlicher Wellenleiter, wie beispielsweise eine optische Faser, bereitgestellt. Ein Schreibstrahl aktivischer Strahlung, wie beispielsweise eine optische Faser, wird bereitgestellt. Ein Schreibstrahl aktivischer Strahlung, wie beispielsweise ein UV-Laserstrahl, ist zum Schreiben auf der Faser positioniert. Eine periodische Intensitätsverteilung wird beispielsweise durch Verwendung eines Interferenzmustergenerators, wie beispielsweise einer zwischen dem Schreibstrahl und dem Wellenleiter positionierten Phasenmaske, gebildet, um ein Interferogramm der Periode  $\Lambda_0$  zu schaffen.

[0018] Dann wird der Wellenleiter durch die periodische Intensitätsverteilung in Bezug auf den Schreibstrahl mit einer präzise gesteuerten Geschwindigkeit v(t) verschoben. Die Faser ist mit einer Spule gekoppelt, welche sich dreht, um die Faser mit v(t) durch die periodische Intensitätsverteilung zu ziehen. Schließlich variiert ein Modulator die Amplitude der Strahlintensität als eine Funktion der Zeit mit einer Frequenz f(t) derart, daß

$$\frac{v(t)}{f(t)} \approx \Lambda_0.$$

[0019] Der Schreibstrahl an der Faser hat eine Spitzenintensität  $I_0$  und eine Breite D. Der an die Faser abgegebene Teilchenfluß  $\Phi(x)$  wird durch die Gleichung

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{\nu(x)} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2} \cdot \cos \left[ \frac{\omega(x)}{\nu(x)} \cdot x \right] \right\} \quad (2)$$

bestimmt, wobei  $w = 2\pi \cdot f$ . Während des Schreibvorgangs können entweder v oder w konstant gehalten werden. Jeder Parameter kann zum "Chirpen" der Brechungsindexstörung entlang der Gitterlänge x = v·t verstimmt werden.

[0020] Das Verfahren kann auch den Schritt des weiteren Steuerns der Intensität des Schreibstrahls zum Variieren der Sichtbarkeit der Indexvariation, m, und der die Faser beleuchtenden Spitzenintensität  $I_0$  aufweisen. Der Versatz der schwingenden Indexstörung A kann auch gesteuert werden. Der an die Faser abgegebene

Teilchenfluß wird dann durch die Gleichung

$$\phi(x) \approx \frac{I_0(x)}{4} \frac{D}{v(x)} \left\{ A(x) - \frac{m(x)}{2} \cos \left[ \frac{w(x)}{v(x)} x \right] \right\} \quad (3)$$

bestimmt.

[0021] Die Modulation der Indexvariationssichtbarkeit m ermöglicht die Herstellung rein apodisierter Gitter. Durch Variieren dieser zusätzlichen Parameter, d. h. der Amplitude und des Versatzes der Brechungsindexschwingungen, kann die Brechungsindexhüllkurve entlang der Faserlänge präzise gesteuert werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0022] **Fig.** 1 ist eine vereinfachte schematische Darstellung eines Faser-Bragg-Gitters einschließlich eines möglichen Brechungsindexprofils.

[0023] **Fig.** 2 ist eine vereinfachte schematische Darstellung einer optischen In-line-Wellenleiterbrechungsindexschreibanordnung, bei der Fasergitter gemäß der vorliegenden Erfindung geschrieben werden.

[0024] **Fig.** 3 ist eine vereinfachte schematische Darstellung einer optischen In-line-Wellenleiterbrechungsindexschreibanordnung für eine Brechungsindexhüllkurvenmodulation, wobei Fasergitter gemäß der vorliegenden Erfindung geschrieben werden.

[0025] **Fig.** 4 ist eine detailliertere Darstellung des Translationsmechanismus der vorliegenden Erfindung, wobei die Faser mittels einer Spule gezogen wird.

[0026] **Fig.** 5 ist eine Skizze eines "chirped" Brechungsindexprofils eines Wellenleiters, hergestellt entsprechend der vorliegenden Erfindung.

[0027] **Fig.** 6 ist eine Skizze eines reinen Apodisationsbrechungsindexprofils eines Wellenleiters, hergestellt gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0028] **Fig.** 7 ist ein vereinfachtes schematisches Diagramm eines gemäß der vorliegenden Erfindung ausgebildeten Dispersionskomoensators.

[0029] **Fig.** 8 ist ein das Verfahren nach dem Stand der Technik veranschaulichendes Flußdiagramm.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0030] In **Fig.** 1 ist eine optische Faser **10** mit einem Gitter **20** einer Länge L dargestellt. Die Faser **10** weist üblicherweise Silika auf, obwohl andere auf dem Gebiet bekannte Ausführungsformen Kunststoffverbindungen aufweisen können. Die optische Faser **10** weist einen Kern **12** und eine oder mehrere Ummantelungen **14** auf. Das Gitter **20** ist eine Reihe periodischer, aperiodischer oder pseudoperiodischer Variationen auf dem Kern **12** und/oder einer oder mehrerer der Ummantelungen **14** der Faser. Wie in der in **Fig.** 1 gezeigten angegliederten Skizze dargestellt, besteht das Gitter **20** aus Variationen bei dem Brechungsindex der Faser **10**.

[0031] **Fig.** 2 stellt schematisch eine das Schreibverfahren der vorliegenden Erfindung anwendende Indexschreibanordnung **100** dar. Die Indexschreibanordnung **100** weist eine einen Strahl **132** erzeugende Lichtquelle **130**, einen Interferenzmustergenerator **140**, einen Modulator **150** und eine zum Halten einer Faser **110** verwendete Faserhalteanordnung **160** auf. In der Indexschreibanordnung kann mehr als ein Wellenleiter gleichzeitig angeordnet und verschoben werden. Dem Kieselglas eines Bereichs der Faser **110** wird Germanium oder andere lichtempfindliche Dotierungssubstanzen hinzugefügt, wodurch der Brechungsindex dieses Bereichs der optischen Faser empfänglich für Veränderungen, insbesondere für eine Erhöhung, wird, wenn er aktinischer Strahlung ausgesetzt ist. Im Handel erhältliche lichtempfindliche Fasern, wie beispielsweise Corning® SMF-28™ CPC6 (Corning Incorporated, Coming, NY), können verwendet werden. Wie für den Fachmann auf dem Gebiet ersichtlich, kann das Verfahren der vorliegenden Erfindung nicht nur zum Verändern des Brechungsindex von optischen Fasern, sondern auch von anderen Wellenleitern, wie beispielsweise planaren Wellenleitern, verwendet werden.

[0032] Die Lichtquelle **130** ist eine Quelle aktinischer Strahlung, wie beispielsweise ein UV-Laserlicht oder Röntgenstrahlung. Die Lichtquelle ist so ausgewählt, daß sie einen Strahl ausreichender Intensität und mit einem ausreichend schmalen Durchmesser zum Schreiben des gewünschten Gitters liefert. Abhängig von der Art der verwendeten Faser und dem gewünschten Gittermuster können andere, auf dem Gebiet bekannte Lichtquellen verwendet werden. Die Lichtquelle **130** erzeugt einen Strahl **132** mit einer Spitzenintensität von  $I_0$  und einem Durchmesser D.

[0033] Der Interferenzmustergenerator **140** ist zwischen der Faser **110** und der Lichtquelle **130** angeordnet und erzeugt eine Intensitätsverteilung, d. h., ein räumlich variierendes, sich wiederholendes Lichtintensitätsmuster, das periodisch oder quasi-periodisch (wie beispielsweise ein Interferogramm) sein kann, mit einer räumlichen Periode oder einem Grundmaß  $\Lambda_0$ . Die Periode  $\Lambda_0$  der Intensitätsverteilung ist im allgemeinen an das gewünschte Gittergrundmaß angepaßt. Der Interferenzmustergenerator **140** ist eine Phasenmaske der

Periode  $2\Lambda_0$ , wie beispielsweise ein Lasirus PM-248-1.078-25.4 (Lasirus Inc., Saint-Laurent, Quebec, Kanada) der Periode  $2\Lambda_0 = 1,078 \mu\text{m}$ , der ein Interferogramm der Periode  $\Lambda_0 = 0,539 \mu\text{m}$  erzeugt. Das Interferogramm kann mittels anderer Verfahren, wie beispielsweise einem Interferometer, erzeugt werden. Wie für den Fachmann wohl ersichtlich, ist es alternativ nicht zwingend erforderlich, daß die periodische (oder quasi-periodische) Intensitätsverteilung der zur Herstellung eines Gitters verwendeten aktinischen Strahlung durch Aufbau eines Interferogramms erreicht werden muß. Zur Erzeugung der Intensitätsverteilung kann beispielsweise ein Amplitudenmasken verwendendes Bildverkleinerungssystem verwendet werden.

[0034] **Fig. 3** zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel der elektronischen Signalsteuerungen des Modulators **150**. Die elektronischen Signalsteuerungen des Modulators **150** umfassen eine Amplitudenmodulationsfunktion **152**, eine Frequenzmodulationsfunktion **154** und einen Gleichstromversatz **156**. Es können viele verschiedene Modulatoren verwendet werden, wie beispielsweise ein opto-akustischer Modulator (z. B. IntraAction ASM-1251LA3 von IntraAction, Bellwood, IL). Der Modulator **150** nimmt eine Amplitudenmodulation des Strahls **132** bei einer Frequenz  $f(t)$  vor. Außerdem kann, wie in **Fig. 3** dargestellt, das den Modulator steuernde elektronische Signal durch einen Funktionsgenerator, wie beispielsweise durch Stanford Research Systems DSM345 (Stanford Research Systems, Sunnyvale, CA), geformt sein, um das Indexstörungsprofil entlang der Faserlänge zwecks Bewirken von "Chirpen" und Apodisation in dem resultierenden Gitter maßzuschneidern.

[0035] Die Faser **110** wird mit einer Geschwindigkeit  $v(t)$  relativ zu der Intensitätsverteilung verschoben. Durch die periodische Intensitätsverteilung kann mehr als ein Wellenleiter gleichzeitig verschoben werden. Zur Erzeugung von FBG von jeder gewünschten Länge werden ein Laserstrahl, der als Funktion der Zeit einer Amplitudenmodulation unterzogen wird, und eine Phasenmaske verwendet. Bei dem vorliegenden Beispiel wird die Faser **110** mit einer präzisen Geschwindigkeit  $v(t)$  an einer stationären Phasenmaske **140** vorbeigeschoben, durch welche sich der Laserstrahl **132** ausbreitet, dessen Amplitude mit einer Radialfrequenz  $w(w = 2\pi \cdot f)$  moduliert ist, wobei  $f(t)/v(t) \approx 1/\Lambda_0$ . Abhängig von der Schreibanordnung und dem gewünschten Profil können sowohl  $f(t)$  als auch  $v(t)$  variable Funktionen sein, oder eine oder beide können Konstanten sein. Natürlich ist der Ausdruck Konstante innerhalb der annehmbaren Parameter für auf Zittern oder Fehler zurückzuführende Abweichungen in dem Phasengittergrundmaß ( $\delta\Lambda$ ), wie nachfolgend erläutert, definiert.

[0036] Die Bewegung der Faser **110** in bezug auf die Intensitätsverteilung wird von einem Translationsmechanismus präzise gesteuert. Die Faser **110** ist an der Faserhalteanordnung **160** angebracht, einem sehr präzisen geschwindigkeitsgesteuerten Bewegungsgestell, welches ein Dreh- oder ein Lineargestell sein kann. Bei einer in **Fig. 4** dargestellten alternativen Ausführungsform ist eine durchgehende Faserlänge in einer Spule **170** gespult, und die Position des Schreibstrahls wird so verfolgt, daß er bei Drehung der Spule auf der Faser bleibt. Die Bewegung des Gestells oder der Spule ist gekoppelt, so daß sie synchron mit dem Modulator,  $v(t)/f(t) \approx \Lambda_0$ , erfolgt. Bei wieder anderen alternativen Ausführungsformen kann der Translationsmechanismus die Bewegung der Lichtquelle **130** und des Inter Ferogrammgenerators **140** steuern.

[0037] Der Laserstrahl **132** braucht sich nicht in bezug auf die Phasenmaske **140** zu bewegen. Der an einen gegebenen Punkt  $x$  des Wellenleiters abgegebene Teilchenfluß  $\Phi(x)$  kann als

$$\begin{aligned} \Phi(x) &= \int_{x/v}^{x+D/v} I_0 \cdot \sin^2 \frac{\omega}{2} t \cdot \sin^2 \left[ \frac{\pi}{\Lambda_0} \cdot (x - v \cdot t) \right] \cdot dt \\ &= \frac{I_0}{4} \int_{x/v}^{x+D/v} (1 - \cos \omega t) \cdot \left( 1 - \cos \left[ \frac{2\pi}{\Lambda_0} \cdot (x - v \cdot t) \right] \right) \cdot dt \quad (4) \end{aligned}$$

ausgedrückt werden, wobei  $I_0$  die die Faser beleuchtende Spitzenintensität und  $D$  der Durchmesser des Strahls und von  $\Phi(x)$  ist. Das Integral kann gekürzt werden, so daß sich

$$\begin{aligned} \Phi(x) &= \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v} \cdot \left\{ 1 - \operatorname{sinc} \left[ \frac{2\pi}{\Lambda} \cdot D \right] - \operatorname{sinc} \left( \frac{\omega}{2 \cdot v} \cdot D \right) \cdot \cos \left[ \frac{\omega}{v} \cdot x + \frac{\omega}{2 \cdot v} \cdot D \right] \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \operatorname{sinc} \left[ D \cdot \left( \frac{2\pi}{\Lambda} \pm \frac{\omega}{v} \right) \right] \cdot \cos \left[ \pm \frac{\omega}{v} \cdot x - D \cdot \left( \frac{2\pi}{\Lambda_0} \pm \frac{\omega}{v} \right) \right] \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

ergibt, wobei  $\operatorname{sinc}(x) = \sin(x)/x$ ,  $m$  die Indexvariation und  $A(x)$  der Versatz der schwingenden Indexstörung ist. Das gewünschte Gittergrundmaß ist dann als  $\Lambda_0$  definiert, wobei  $f(t)/v(t) \approx 1/\Lambda_0$  ist. Falls der Durchmesser  $D$  des Strahls viel größer als das Grundmaß  $\Lambda_0$  der Phasenmaske ist, verkürzt sich Gleichung (5) auf

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2} \operatorname{sinc} \left[ D \cdot \left( \frac{2\pi}{\Lambda_0} \pm \frac{\omega}{v} \right) \right] \cdot \cos \left[ \pm \frac{\omega}{v} \cdot x - D \cdot \left( \frac{2\pi}{\Lambda_0} \pm \frac{\omega}{v} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

[0038] Der zweite Term in Gleichung (6) (die eigentlich aus zwei Termen besteht) enthält einen Abstimmparameter

$$\left( \frac{2\pi}{\Lambda_0} \pm \frac{\omega}{v} \right)$$

wobei wenn  $f(t)/v(t) \approx 1/\Lambda_0$  (wobei  $w = 2\pi f$ ), dann

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2} \cdot \cos \left[ \frac{\omega}{v} \cdot x \right] \right\} \quad (7)$$

[0039] Durch Verstimmen der Frequenz der Lichtamplitudenmodulation oder Verändern der Geschwindigkeit der Faser, beispielsweise in einem "chirped" (zunehmenden oder abnehmenden) Muster, kann ein "chirped" FBG von beliebiger Länge hergestellt werden. Fig. 5 zeigt ein exemplarisches "chirped" Brechungsindexprofil einer Faser, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt ist. Eine kleine Phasenmaske (z. B. 1 Inch Außendurchmesser) einer entsprechenden Periode könnte zur Herstellung sehr langer Gitter verwendet werden, die über einen sehr breiten Wellenlängenbereich "chirped" sind. In einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung deckt das Dispersionskompensationsprodukt den vollen erbiumdotierten Faserverstärkerbereich von 1528 nm bis 1568 nm ab. Ein "Chirp" von 40 nm wird in ein einzelnes FBG mit einem Laserstrahl durchmesser von weniger als  $\sim 10 \mu\text{m}$  eingeschrieben, indem das Argument in der Sincfunktion in Gleichung (6) geringer als  $\pi$  gehalten wird. Ein "chirped" FBG von 4 nm kann mit einem Strahldurchmesser von weniger als  $\sim 100 \mu\text{m}$  geschrieben werden. Diese Durchmesser sind mathematische Obergrenzen. In der Praxis würde man Strahlen von weniger als der Hälfte dieser Durchmesser verwenden, um eine verwendbare Interferenzsichtbarkeit in das Gitter zu schreiben.

[0040] Wenn die Frequenz der Lichtmodulation oder die Geschwindigkeit der Faser verändert wird, nimmt der Abstimmparameter in der Sincfunktion von Gleichung (6) von Null ausgehend zu und bewirkt eine Abnahme der Amplitude der Kosinusfunktionsraummodulation. Falls diese Steuerungsparameter zu stark verändert werden, ergibt sich keine Nettomodulation. Die Amplitudenabnahme ist proportional zu dem Durchmesser des Laserstrahls, der fokussiert werden kann, um breite Wellenlängen-"Chirps" zu ermöglichen. Die Grenzen der Beziehung  $f(t)/v(t) \approx 1/\Lambda_0$  sind an der Grenze festgelegt, an der eine ausreichende Brechungsindexmodulation in den Wellenleiter geschrieben wird, um ein passendes Gitter zu erzeugen. Abhängig von der Art und der Präzision des geschriebenen Gitters könnte diese Differenz zwischen den Seiten der obigen Gleichung beispielsweise bis zu 10% betragen.

[0041] Ein Hauptunterschied zwischen diesem erfinderischen Verfahren und anderen In-line-Gitterherstellungstechniken besteht darin, daß bei dem vorliegenden Verfahren die Geschwindigkeit der Bewegung zwischen der optischen Faser und dem Interferogramm gesteuert wird, während die anderen Techniken zur Herstellung von Gittern großer Länge sich auf präzise Positionierungsvorrichtungen (intermittierende Bewegung) verlassen.

[0042] Auf Gerätezittern zurückzuführende Abweichungen in dem Fasergittergrundmaß ( $\delta/\Lambda$ ) können durch Einstellen der Gestellgeschwindigkeit auf  $v = v_0 \pm \delta v$  und der Modulatorfrequenz als  $f = f_0 \pm \delta f$  bestimmt werden, wobei  $\delta v$  und  $\delta f$  die jeweiligen Zitterterme sind. Das Fasergittergrundmaß wäre

$$\Lambda \pm \delta \Lambda \approx \frac{v_0 \pm \delta v}{f_0 \pm \delta f} \approx \frac{v_0}{f_0} \left( 1 \pm \frac{\delta v}{v_0} \pm \frac{\delta f}{f_0} \right) \quad (8)$$

wobei sich aufgrund des Gerätezitters Abweichungen in der FBG-Resonanzwellenlänge in der Ordnung von

$$\delta \Lambda \approx \pm \frac{\delta v}{v_0} \pm \frac{\delta f}{f_0} \quad (9)$$

ergäben.

[0043] Die Geschwindigkeit des Bewegungsgestells und die Frequenz des Modulators würden  $< 0,0\%$  variieren, um in dem erbiumdotierten Faserverstärkerwellenlängenbereich eine Genauigkeit von 0,15 nm zu erzielen. Bei der Herstellung von Dispersionskompensations-FBG betragen die Abtastgeschwindigkeiten üblicherweise  $\sim 1 \text{ mm/s}$ , so daß ein Bewegungsgestell mit einer Präzision  $< 0,1 \mu\text{m/s}$  benötigt wird. Bei dieser Schreib-

geschwindigkeit ist eine Modulation von ~2 KHz mit einem Vibrieren von < 0,2 Hz notwendig, um Gitter in dem erbiumdotierten Faserverstärkerband zu erzeugen. Zur Zeit erhältliche optoakustische Modulatoren können ein Vibrieren von < 1 µHz erreichen, und im Handel erhältliche, über eine Phase-Lock-Loop-Schaltung gesteuerte Drehgestelle können ein Vibrieren mit einer Geschwindigkeit < 0,001% bei einer Randzonengeschwindigkeit von 1 mm/s erreichen. Fasern mit höherer Lichtempfindlichkeit gestatten eine erhöhte FBG-Schreibgeschwindigkeit, wodurch die Anforderungen an das Bewegungsgestell geringer werden.

[0044] Zur Herstellung eines Gitters, das länger als der Verfahrweg der Präzisionsbewegungsgestelle ist, kann die Faser in einem Bahntriebssystem durch das Interferogramm verschoben werden. Die Faser könnte in V-Rillen oder Präzisions-Keilriemenscheiben ähnlich den in der in **Fig. 2** dargestellten Faserhalteanordnung **160** verwendeten angeordnet werden, um eine präzise Ausrichtung der Faser mit dem Interferenzmuster beizubehalten. Da das Verfahren der vorliegenden Erfindung im Gegensatz zur präzisen Positionierung eine Steuerung der Geschwindigkeit erfordert, kann die Faser, wie in **Fig. 4** dargestellt, auf Spulen **170** aufgewickelt werden, welche sich zum Verschieben einer durchgehenden Länge der Faser **172** vor einem Interferogramm drehen, das mittels einer Phasenmaske von einem modulierten Laserstrahl **174** erzeugt ist. Die Spule **170** ist Teil eines Spule-Spule-Systems. Die Drehzahl dieser Spulen wird mittels eines Spindelmotors erzielt, der von einer einfachen Phase-Locked-Loop-Schaltung **176** gesteuert wird, um für präzise Randzonengeschwindigkeiten zu sorgen. Wie in **Fig. 4** dargestellt, wird der Strahl **174** durch vertikales Verschieben des Strahls **174** synchron mit der Drehung der Spule **170** auf der Faser **172** gehalten. Die Position des Schreibstrahls **174** kann, z. B. mit einem Laserstrahl, verfolgt werden, um bei Drehung der Spule auf der Faser **172** zu bleiben.

[0045] In einem alternativen Ausführungsbeispiel dieser Erfindung kann die unbeschichtete Faser dauerhaft an der Spule befestigt sein, und die Spule kann mit dem Gitter verpackt werden, wodurch die Faser nicht so häufig gehandhabt werden muß.

[0046] Das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung kann auch zur Herstellung apodisierter Faser-Bragg-Gitter mit einem Brechungsindexprofil gemäß der Darstellung in **Fig. 6** verwendet werden. Rein apodisierte Gitter können mit dem Verfahren der vorliegenden Erfindung durch Modulieren der Amplitude des Sinussignals über einen anderen Funktionsgenerator oder geeignete Elektronik beim Verschieben der Faser durch das Interferogramm hergestellt werden. Zum Erzielen einer reinen Apodisation wird die Sinusfunktionsamplitude gesteuert, bevor ein Versatz angelegt wird. Mathematisch kann dieses Schema als

$$\Phi(x) \approx \frac{I_0(x)}{4} \cdot \frac{D}{v(x)} \left\{ A(x) - \frac{m(x)}{2} \cos \left[ \frac{w(x)}{v(x)} x \right] \right\} \quad (10)$$

ausgedrückt werden, wobei die Amplitudenmodulation  $m$  zwischen Null und Eins variiert, falls  $A(x) = 1$  ist. Wie für den Fachmann ersichtlich sein mag, können auch die die Faser beleuchtende Spitzenintensität  $I_0$ , die Verschiebungsgeschwindigkeit  $v$  und der Versatz der schwingenden Indexstörung,  $A$ , so gesteuert werden, daß das Brechungsindexprofil eines Gitters maßgeschneidert wird. Falls Spitzenintensität, Geschwindigkeit und Versatz als Funktion der Zeit konstant gehalten werden, ist der an die Faser abgegebene durchschnittliche Teilchenfluß konstant, d. h.

$$\bar{\phi}(x) \approx \frac{I_0}{4} \cdot \frac{D}{v}$$

ungeachtet des Niveaus der Amplitudenmodulation.

[0047] "Chirped" FBG mit reiner Apodisation können in einem Ein-Schritt-Schreibvorgang ohne spezielle Phasenmasken, optische Abschwächungselemente oder gesteuerte Laserstrahlabschwächung hergestellt werden. Ein 4 nm breites, linear "chirped" FBG von 160 cm Länge kann beispielsweise durch Verschieben einer Faser mit einer Geschwindigkeit von 1 mm/s über eine Phasenmaske der Periode 1,0739 µm hergestellt werden, wenn die Frequenz der Laserstrahlmodulation linear von 1859,98 zu 1864,76 Hz (eine Spanne von 4,784033 Hz) variiert wird. Da das Schreiben des Gitters 1600 s lang dauert, kann eine erhöhte Sinusapodisation durch Amplitudenmodulation des Funktionsgeneratorkaustgangs mit einer Sinuskurve von 0,312 Millihertz erzielt werden. Zum Anpassen des FBG an bestimmte Anwendungen können andere Amplitudenmodulationsprofile verwendet werden.

[0048] Gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellte Bragg-Fasergitter von großer Länge können in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen verwendet werden. **Fig. 7** zeigt die Verwendung eines Bragg-Gitters **210** aus Fasern von großer Länge in einem Dispersionskompensator **200**. Nachdem das Signal **280** eine beträchtliche Strecke der Faser (üblicherweise in der Ordnung von Hunderten von Kilometern) zurückgelegt hat, leidet es an chromatischer Dispersion. Das Signal ist mit einem Zirkulator **284** gekoppelt, der das Signal zu dem Bragg-Gitter **210** aus "chirped" Fasern von großer Länge leitet. Das Spektrum der Wellenlängen des Signals wird jeweils nach Zurücklegen einer unterschiedlichen Strecke durch das Faser-Bragg-Gitter reflektiert. Die zusätzliche Wegstrecke verdichtet das Signal neu, wobei dem Zirkulator **284** ein dispersionskompensierte

Signal 282 zugeführt wird.

[0049] **Fig. 8** ist ein Flußdiagramm, das ein Verfahren zur Herstellung von optischen In-line-Wellenleiterbrechungsindexgittern von praktisch jeder Länge nach dem Stand der Technik veranschaulicht. Es wird ein Schreibstrahl aktinischer Strahlung bereitgestellt. Über den Weg des Schreibstrahls ist ein lichtempfindlicher Wellenleiter bereitgestellt und angeordnet. Dann wird der Wellenleiter in Bezug auf den Schreibstrahl mit einer Geschwindigkeit  $v(t)$  verschoben. Die Intensität des Schreibstrahls als Funktion der Zeit wird mit einer Frequenz  $f(t)$  moduliert, wobei  $v(t)/f(t) \approx \Lambda$ . Falls apodisierte Gitter gewünscht sind, kann die Intensität des Schreibstrahls weiter variiert werden, um die Hüllkurve der Brechungsindexstörung zu steuern.

[0050] Das Verfahren der vorliegenden Erfindung bietet die Möglichkeit des Schreibens optischer In-line-Wellenleiterbrechungsindexgitter von praktisch jeder Länge mit komplizierten Brechungsindexprofilen. Die Verfügbarkeit von Gittern von mehr als einem Meter Länge ermöglicht erstmalig die effektive Verwendung von Gittern bei vielen verschiedenen Anwendungen. Wie für den Fachmann ersichtlich, kann das in dem vorliegenden Dokument offenbare erforderliche Verfahren nicht nur zum Modifizieren des Brechungsindex optischer Fasern, sondern auch planarer Wellenleiter verwendet werden.

[0051] Die hier beschriebenen und dargestellten Verfahren und Ausführungsformen sind lediglich veranschaulichend und sollen nicht als Einschränkungen des Rahmens der vorliegenden Erfindung verstanden werden. Der Fachmann auf dem Gebiet wird erkennen, daß im Einklang mit dem Umfang der vorliegenden Erfindung andere Variationen und Modifizierungen vorgenommen werden können.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines optischen In-Line-Wellenleiterbrechungsindexgitters mit einem gewünschten Gittergrundmaß  $\Lambda$ , wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:
  - Bereitstellen eines lichtempfindlichen Wellenleiters (**110**),
  - Bereitstellen eines Schreibstrahls (**132**) aktinischer Strahlung,
  - Erzeugen einer periodischen oder quasi-periodischen Intensitätsverteilung mit der räumlichen Periode  $\Lambda_0$  vom Schreibstrahl, und
  - Verschieben des Wellenleiters in Bezug auf die Intensitätsverteilung mit einer Geschwindigkeit  $v(t)$ , **dadurch gekennzeichnet**, daß
    - vor dem Schritt des Verschiebens des Wellenleiters der Wellenleiter mit einer Spule (**170**) verbunden wird,
    - der Schritt des Verschiebens des Wellenleiters den Schritt des Drehens der Spule (**170**) umfaßt, um den Wellenleiter mit  $v(t)$  zu ziehen, und
    - die Intensität des Schreibstrahls als Funktion der Zeit mit einer Frequenz  $f(t)$  moduliert wird, wobei  $v(t)$  und  $f(t)$  als Funktion von  $\Lambda_0$  gewählt werden, so daß

$$\frac{v(t)}{f(t)} \approx \Lambda_0$$

– woraus sich das Schreiben eines Brechungsindexgitters mit einem Grundmaß von  $\Lambda \approx \Lambda_0$  ergibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Erzeugens der Intensitätsverteilung das Anordnen eines Interferenzmustergenerators (**140**) zwischen dem Schreibstrahl und dem Wellenleiter umfaßt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Interferenzmustergenerator (**140**) eine Phasenmaske mit einer Periode von  $2\Lambda$  ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Schritt des Bereitstellens eines Schreibstrahls das Bereitstellen eines Schreibstrahls mit einer die Faser beleuchtenden Spitzenintensität  $I_0$  und einer Breite  $D$  umfaßt, wobei der an einen bestimmten Punkt  $x$  des Wellenleiters abgegebene Teilchenfluß  $\phi(x)$  durch die folgende Gleichung wiedergegeben wird:

$$\phi(x) \approx \frac{I_0(x)}{4} \frac{D}{v(x)} \left\{ A(x) - \frac{m(x)}{2} \cos \left[ \frac{w(x)}{v(x)} x \right] \right\}$$

wobei  $A$  einen Versatz angibt,  $m$  die Interferenzsichtbarkeit angibt und  $w$   $2nf$  beträgt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, ferner mit dem Schritt des weiteren Variierens des an den Wellenleiter abgegebenen Teilchenflusses  $\phi(x)$  zum Steuern der Hüllkurve der Brechungsindexstörung, die über die Wellenleiterlänge geschrieben wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem der Schritt des weiteren Variierens des an den Wellenleiter abgegebenen Teilchenflusses  $\phi(x)$  den Schritt des Variierens von  $I_0$  zum Steuern der Hüllkurve des Brechungsindexprofils entlang der Wellenleiterlänge umfaßt.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem der Schritt des weiteren Variierens des an den Wellenleiter abgegebenen Teilchenflusses  $\phi(x)$  den Schritt des Variierens des Versatzes A zum Steuern der Hüllkurve des Brechungsindexprofils entlang der Wellenleiterlänge umfaßt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem der Schritt des weiteren Variierens des an den Wellenleiter abgegebenen Teilchenflusses  $\phi(x)$  den Schritt des Variierens der Sichtbarkeit m zum Steuern der Hüllkurve des Brechungsindexprofils entlang der Wellenleiterlänge umfaßt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, bei dem der Schritt des weiteren Variierens des an den Wellenleiter abgegebenen Teilchenflusses  $\phi(x)$  den Schritt des Variierens der Geschwindigkeit v zum Steuern der Hüllkurve des Brechungsindexprofils entlang der Wellenleiterlänge umfaßt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem  $v(t)$  eine Konstante ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem  $f(t)$  eine Konstante ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem der Schritt des Modulierens der Intensität des Schreibstrahls als Funktion der Zeit mit einer Frequenz  $f(t)$  ferner den Schritt des Variierens von  $f(t)$  beim Herstellen des Gitters umfaßt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem  $f(t)$  nach einem "chirped" Muster verändert wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und 11 bis 13, bei dem der Schritt des Verschiebens des Wellenleiters ferner den Schritt des Variierens von  $v(t)$  bei der Herstellung des Gitters umfaßt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei dem der Schritt des Verschiebens des Wellenleiters das Steuern der Geschwindigkeit des Wellenleiters unter Verwendung einer Phase-Locked-Loop-Schaltung umfaßt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, bei dem der Strahl ein UV-Strahlungs-Laserstrahl ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und 11 bis 16, bei dem  $v(t)$  und  $f(t)$  Variable sind.

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem eine der Variablen im allgemeinen konstant gehalten wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, bei dem wenigstens eine der Variablen  $v(t)$  und  $f(t)$  derart variiert wird, daß das Verhältnis  $v(t)/f(t) \Lambda_0$  verstimmt wird, um ein komplexes Brechungsindexgitter zu schreiben.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, bei dem der Wellenleiter eine lichtempfindliche optische Faser ist.

21. Anordnung (**100**) zum Schreiben eines optischen In-Line-Wellenleiterbrechungsindexgitters zum Herstellen eines optischen Wellenleiterbrechungsindexgitters mit einem gewünschten Gittergrundmaß  $\Lambda$ , wobei die Anordnung umfaßt:

- eine Quelle (**130**) eines Schreibstrahls aktivischer Strahlung (**132**),
- einen Modulator (**150**), der zum Variieren der Intensität des Schreibstrahls als Funktion der Zeit mit einer Frequenz  $f(t)$  verbunden ist, und
- einen Generator (**140**) einer periodischen oder quasi-periodischen Intensitätsverteilung mit einer räumlichen Periode  $\Lambda_0$  vom Schreibstrahl,  
gekennzeichnet durch
- einen Verschiebungsmechanismus (**160**), der einen Wellenleiter durch die periodische Intensitätsverteilung mit einer Geschwindigkeit  $v(t)$  verschiebt, wobei  $v(t)$  und  $f(t)$  als Funktion von  $\Lambda_0$  gewählt sind, so daß

$$\frac{v(t)}{f(t)} \approx \Lambda_0$$

– woraus sich das Schreiben eines Brechungsindexgitters mit einem Grundmaß von  $\Lambda \approx \Lambda_0$  ergibt, und

# DE 698 18 688 T2 2004.08.05

– der Translationsmechanismus (**160**) eine drehbare Spule (**170**) aufweist, mit welcher der Wellenleiter verbindbar ist, um von der drehenden Spule mit  $v(t)$  gezogen zu werden.

22. Anordnung nach Anspruch 21, bei der der Generator der periodischen Intensitätsverteilung eine Phasenmaske mit einer Periode von  $2\Lambda_0$  ist.

23. Anordnung nach Anspruch 21 oder 22, bei der eine Einrichtung zum weiteren Variieren der Intensität des Schreibstrahls vorgesehen ist, um die Hüllkurve des über die Länge des Wellenleiters geschriebenen Brechungsgitters zu steuern.

24. Anordnung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, bei der der Modulator ein opto-akustischer Modulator ist.

25. Anordnung nach einem der Ansprüche 21 bis 24, bei der der Translationsmechanismus zum gleichzeitigen Verschieben von mehr als einem Wellenleiter durch die periodische Intensitätsverteilung ausgebildet ist.

26. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die verwendete Geschwindigkeit  $v_0$  und die verwendete Frequenz  $f_0$  aufgrund von Gerätezittern gewisse Abweichungen  $\delta v$  und  $\delta f$  aufweisen, woraus eine Grundmaßabweichung

$$\delta \Lambda \approx \pm \frac{\delta v}{v_0} \pm \frac{\delta f}{f_0}$$

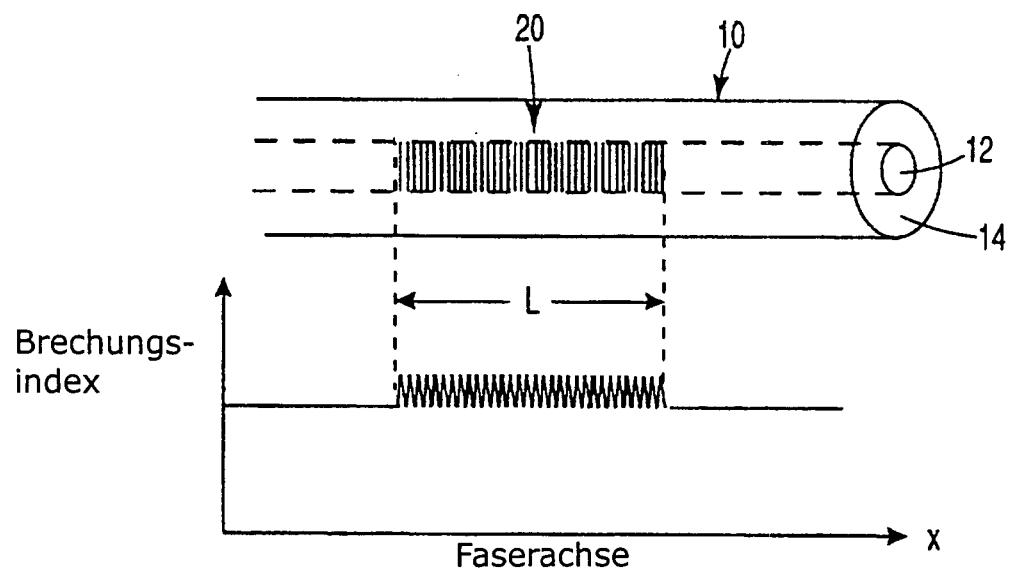
und für die Bragg-Gitterresonanzwellenlänge  $\lambda_0$  eine Wellenlängenabweichung

$$\frac{\delta \lambda}{\lambda_0} = \pm \frac{\delta v}{v_0} \pm \frac{\delta f}{f_0}$$

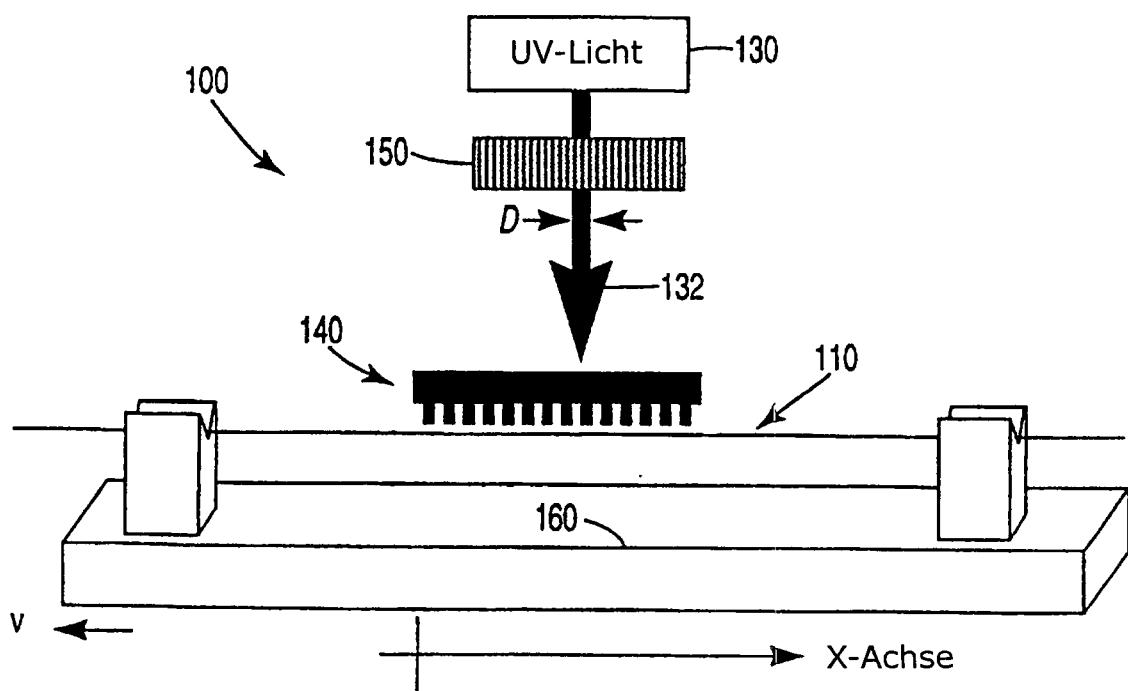
resultiert.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

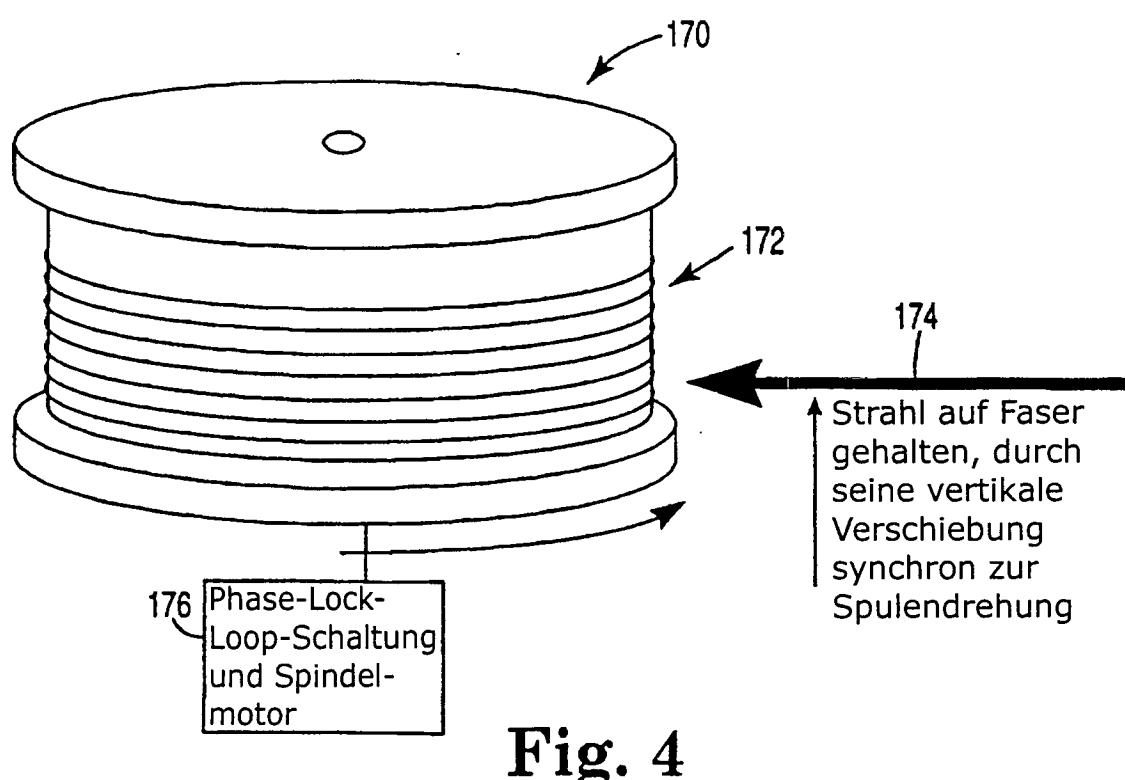
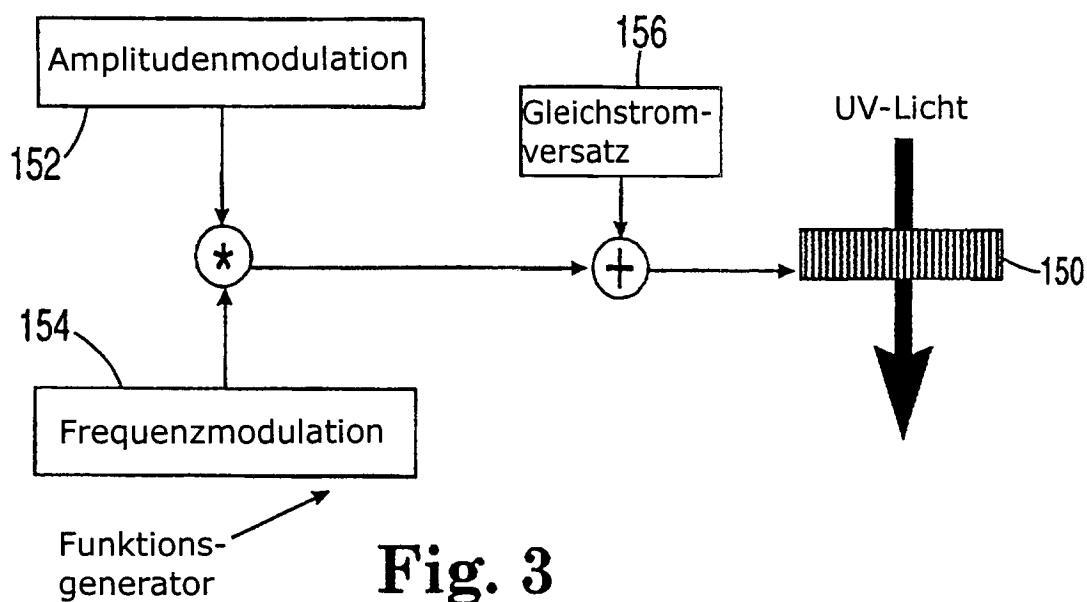
Anhängende Zeichnungen



**Fig. 1**



**Fig. 2**



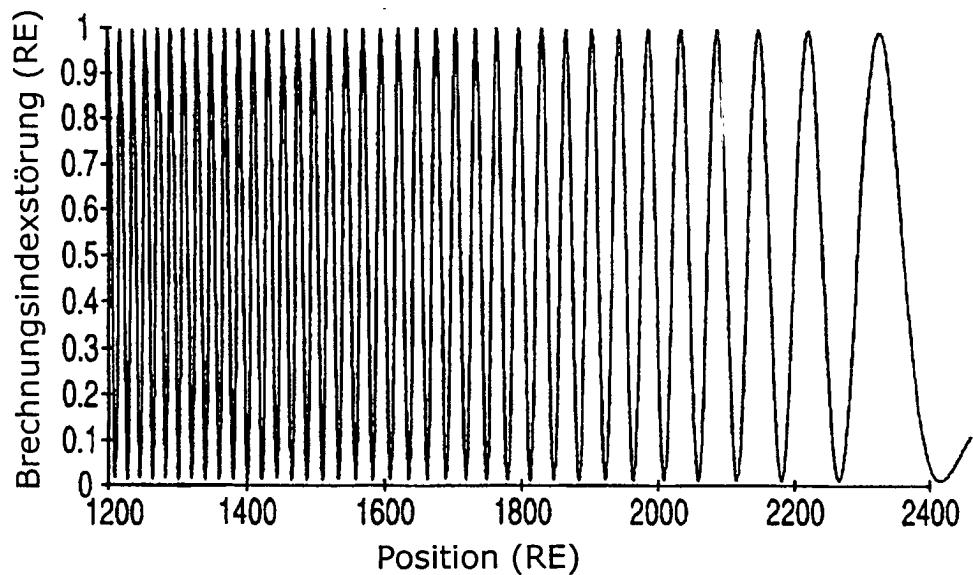


Fig. 5

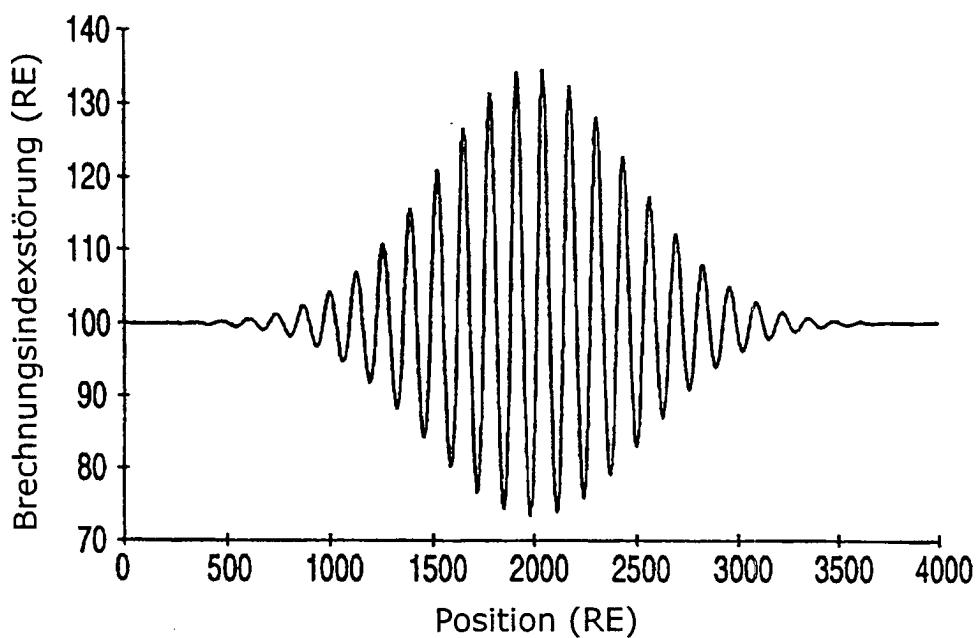


Fig. 6

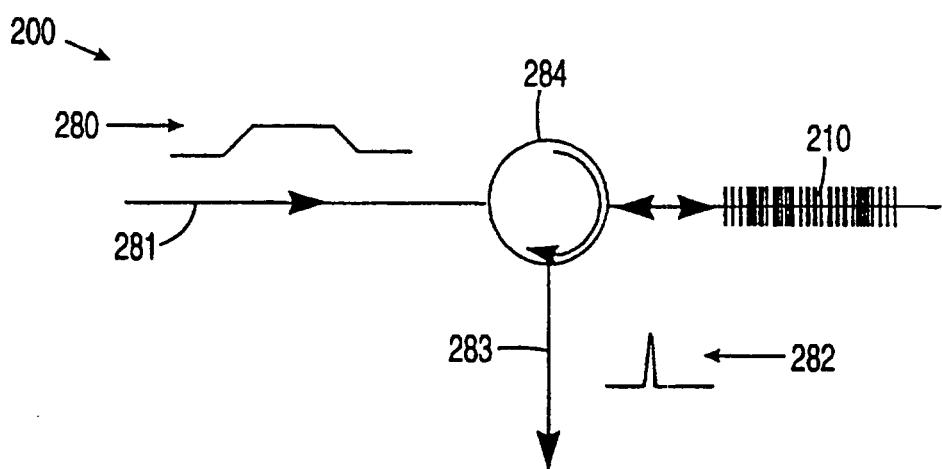


Fig. 7

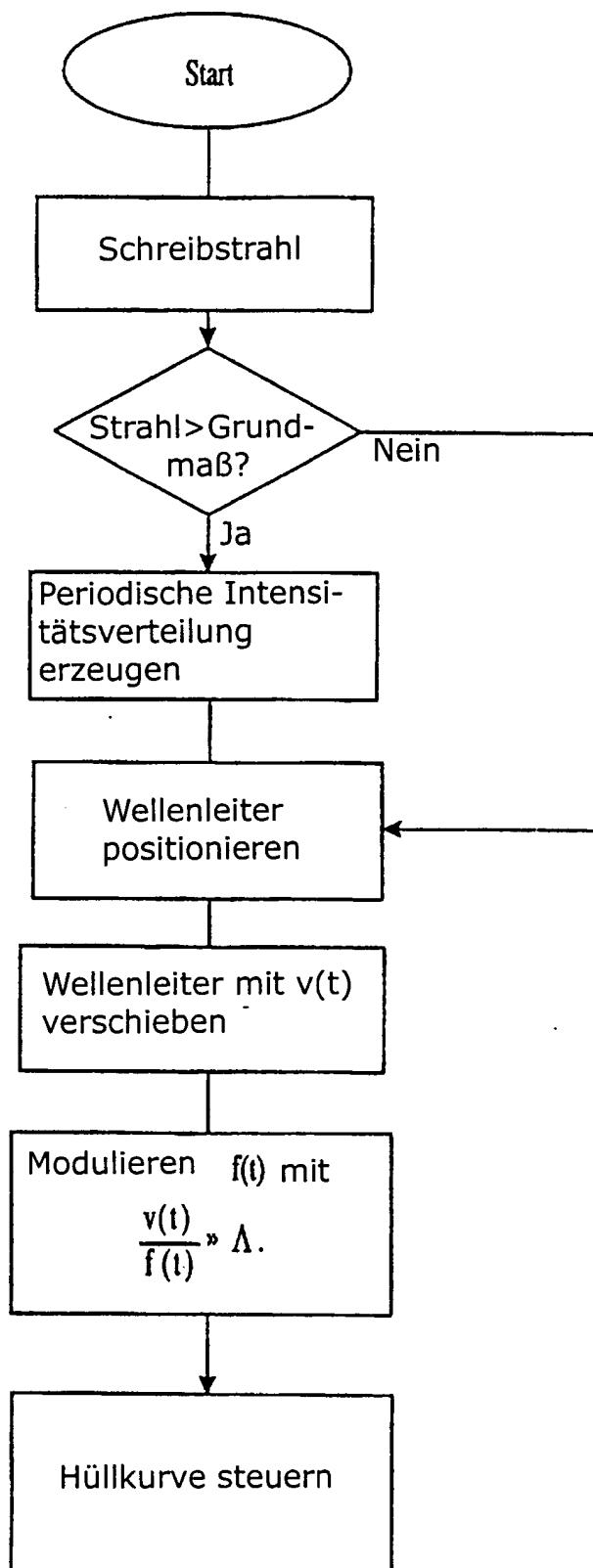


Fig. 8