



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 049 390 B3 2006.11.02**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 049 390.4**
 (22) Anmeldetag: **15.10.2005**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **02.11.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G02F 1/35 (2006.01)**
G02B 6/293 (2006.01)
H04B 10/20 (2006.01)

Innerhalb von drei 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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
BATOP GmbH, 99425 Weimar, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE10 2005 010695 B3

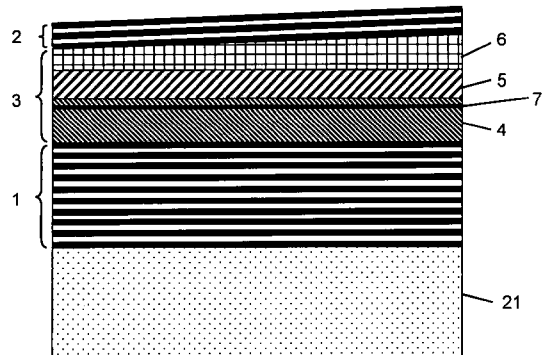
(72) Erfinder:
**Hohmuth, Rico, 07745 Jena, DE; Richter,
 Wolfgang, 99425 Weimar, DE**

(54) Bezeichnung: **Sättigbarer Absorberspiegel zur Regeneration oder Modulation optischer WDM-Signale**

(57) Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen sättigbaren Absorberspiegel zur Regeneration oder Modulation optischer WDM-Signale anzugeben, der einen lateralen Gradienten der Resonanzwellenlänge besitzt und mit bekannten technischen Verfahren herstellbar ist.

Der sättigbare Absorberspiegel besteht aus einem resonanten, asymmetrischen Fabry-Perot Interferometer mit einem hochreflektierenden rückseitigen Spiegel (1) und einem teildurchlässigen vorderen Spiegel (2), zwischen denen eine Abstandsschicht (3) mit einer oder mehreren sättigbaren Absorberschichten (7) eingebettet ist. Erfindungsgemäß besteht die Abstandsschicht (3) aus folgenden drei Teilschichten: einer Halbleiterschicht (4) mit eingebetteten Absorberschichten, einer Antireflexionsschicht (5) und einer dielektrischen Schicht (6) mit einer lateral inhomogenen Dicke.

Der sättigbare Absorberspiegel eignet sich zur Regeneration oder Modulation optischer WDM-Signale.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen sättigbaren Absorber nach dem Obergriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Optische-digitale Signale, die über längere Datenleitungen und über mehrere Verknüpfungsstellen geführt werden, erleiden Intensitätsverluste und müssen deshalb zwischenverstärkt werden (US 5519526). Alle Typen optischer Verstärker, wie beispielsweise optisch gepumpte Faserverstärker oder auch elektrisch gepumpte Halbleiterverstärker verstärken jedoch nicht nur das Eingangssignal infolge stimulierter Emission, sondern liefern außerdem noch spontan emittiertes Licht, das nichts mit dem eigentlichen optischen Signal zu tun hat und einen Rauschuntergrund bildet. Im Ergebnis einer mehrmaligen optischen Verstärkung eines Signals, das über längere Strecken transportiert wird, hat sich das Signal/Rausch-Verhältnis so weit verschlechtert, dass die Information nicht mehr sicher ermittelt werden kann. Um das zu vermeiden, muss das optische Signal wieder regeneriert werden. Dazu muss der Rauschuntergrund unterdrückt werden, damit die Pulse wieder eindeutig vom optischen Empfänger nachgewiesen werden können.

[0003] Üblicherweise werden heute in optischen Übertragungsstrecken gleichzeitig mehrere optische Signale verschiedener Wellenlängen mit dem sogenannten Wavelength Division Multiplexing (WDM) Verfahren geführt, wobei für jedes einzelne dieser Signale das oben beschriebene Problem des Signal/Rausch-Verhältnisses gilt. Eine Regeneration der optischen Signale nach der bisher üblichen Methode erfordert folgende Schritte: Auftrennung der einzelnen optischen Signale (Demultiplexing), optoelektronische Signalwandlung jedes einzelnen WDM Signals, elektronische Signalaufbereitung, Rückwandlung in die optischen Signale und Multiplexing in eine Übertragungsfaser.

[0004] Die Kosten für eine solche Regeneration optischer Signale sind hoch, weil infolge der üblichen hohen Bit-Raten optischer Signale alle Baugruppen für sehr hohe Frequenzen ausgelegt werden müssen.

[0005] Es sind deshalb Vorschläge unterbreitet worden, die eine rein passive optische Regenerierung der Pulse ohne die Umwandlung in elektrische Signale ermöglichen. Eine Regenerierung optischer Pulse kann mit sättigbaren Absorbern erreicht werden. Ein sättigbarer Absorber absorbiert schwache optische Signale wie beispielsweise den Rauschuntergrund stärker als die leistungsstärkeren Pulse. Dadurch wird das Signal/Rausch-Verhältnis beim Durchgang des Lichtes durch einen sättigbaren Absorber vergrößert

und damit verbessert. Die Schwelle, oberhalb derer die Pulse durch Absorption weniger geschwächt werden als der Rauschuntergrund, ist durch die Sättigungsintensität I_s des sättigbaren Absorbers gegeben. Die Intensitätsabhängigkeit der Absorption $A(I)$ wird durch die Funktion $A = A_0 / (1 + I/I_s)$ beschrieben, wobei A_0 die Absorption für geringe Intensitäten (ungesättigter Absorber) ist.

[0006] Damit auch hochfrequente optische Pulsfolgen mit einem sättigbaren Absorber regeneriert werden können, muss dieser außerdem eine geringe Relaxationszeit im Bereich von ps besitzen. Derart kurze Relaxationszeiten können in Halbleiterschichten durch geeignete Präparationsmethoden wie beispielsweise Niedrigtemperatur-Epitaxie (Applied Physics B 65 (1997) p. 137), Ionenimplantation (IEEE Journal of Quantum Electronics Vol. 34, No. 11, p. 2150) oder spannungsinduzierte Kristalldefekte (EP 0805529 A2 erreicht werden.

[0007] Ein wesentliches Problem beim Einsatz bekannter schnell relaxierender sättigbarer Absorber auf der Basis von Halbleiterschichten zur Regenerierung optischer Pulse ist deren relativ hohe Sättigungsintensität im Bereich von 10–100 MW/cm², die wesentlich größer ist als die Intensität üblicher Pulse in optischen Datenleitungen von 10–100 kW/cm². Dieses Problem kann dadurch gelöst werden, dass die sättigbaren Absorberschichten in den Feldstärkemaxima der Cavity eines Fabry-Perot Interferometers angeordnet werden (DE 10200501065 B3 Entsprechend der Feldstärkeüberhöhung in der Cavity vermindert sich dabei die effektive Sättigungsintensität.

[0008] Ein weiteres Problem beim Einsatz sättigbarer Absorber zur Rauschunterdrückung entsteht bei WDM Signalen dadurch, dass sich die Signale verschiedener Wellenlängen gegenseitig beeinflussen, wenn sie räumlich auf dem sättigbaren Absorber zusammenfallen. Da eine solche gegenseitige Beeinflussung der optischen Signale verschiedener Wellenlängen zu Datenverlusten führt und deshalb unbedingt vermieden werden muss, ist es erforderlich, dass die optischen Signale verschiedener Wellenlängen auf räumlich voneinander getrennte Bereiche des sättigbaren Absorbers treffen. Entsprechend der Patentschrift US 6 609 839 B1 mit einer Transmissionsanordnung und der FR 2784202 B1 (in der US 2003/043484 A1 zitiert) mit einer Reflexionsanordnung kann die räumliche Zerlegung der WDM Signale vor dem Absorber und die erneute Zusammenführung nach dem Absorber mit einem wellenlängendispersiven Element wie beispielsweise einem Reflexionsgitter erfolgen. Eine derartige Anordnung besitzt jedoch den Nachteil, dass im Falle eines resonanten Fabry-Perot Absorbers nur das eine Signal, dessen Wellenlänge mit der Resonanzwellenlänge des Absorbers übereinstimmt, optimal regeneriert werden kann. Die übrigen Signale werden um so schlechter

regeneriert, je stärker ihre Wellenlänge von der Resonanzwellenlänge des Absorbers abweicht und je größer die Finesse des Fabry-Perot Interferometers ist. Um dieses Problem zu lösen, wurde in der US 2003/043484 A1 vorgeschlagen, den resonanten sättigbaren Absorber lateral so strukturieren, dass er aus resonanten Microcavities besteht, wobei jede dieser Microcavities eine bestimmte Wellenlänge mit einer sättigbaren Absorberschicht regeneriert. Die Realisierung dieses Vorschlags stößt jedoch auf erhebliche technische Probleme. Neben der erforderlichen lateralen Schichtstrukturierung ist es vor allem sehr schwierig, die im Patent vorgeschlagene Anpassung der Dicke der Abstandsschicht in den Microcavities an die jeweilige Signalwellenlänge technisch zu realisieren. Halbleiterschichtsysteme können normalerweise nur mit einer homogenen Schichtdicke auf einem entsprechenden Substrat gewachsen werden. Der Realisierungsvorschlag zur lateralen Schichtdickenstrukturierung in der US 2003/043484 A1 betrifft die sogenannte „Selective Area Growth“ Methode. Mit dieser Methode können beispielsweise Laserdioden mit dem Chemical Vapour Deposition (CVD) Verfahren lateral strukturiert gewachsen werden. Die Anwendung einer derartigen Methode zum Wachstum lateral unterschiedlicher Dicken mit mehr als einer Dickenabstufung, wie es für die vorgeschlagene Lösung benötigt wird, konnte aber bisher technisch noch nicht realisiert werden.

Aufgabenstellung

[0009] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen sättigbaren Absorberspiegel zur Regeneration oder Modulation optischer WDM Signale anzugeben, der aus einem resonanten, asymmetrischen Fabry-Perot Interferometer mit einem hochreflektierenden rückseitigen Spiegel und einem teildurchlässigen vorderen Spiegel und einer dazwischen liegenden Abstandsschicht mit eingebetteten sättigbaren Absorberschichten besteht, einen lateralen Gradienten der Resonanzwellenlänge besitzt und mit bekannten technischen Verfahren herstellbar ist.

[0010] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch den Aufbau des sättigbaren Absorberspiegels nach Patentanspruch 1 gelöst. Der erfindungsgemäße sättigbare Absorberspiegel besitzt eine Abstandsschicht, die aus drei Teilschichten besteht. Die dem hochreflektierenden rückseitigen Spiegel zugewandte erste Teilschicht besteht aus einer optisch nicht absorbierenden Halbleiterschicht mit einer lateral konstanten Schichtdicke, in die eine oder mehrere sättigbare Absorberschichten an den Maxima des stehenden optischen Wellenfeldes eingebettet ist bzw. sind. Die auf der ersten Teilschicht angeordnete zweite Teilschicht ist eine Antireflexionsschicht mit einer lateral konstanten Schichtdicke für die Zentralwellenlänge der WDM Signale. Die auf der zweiten Teilschicht angeordnete dritte Teilschicht ist eine dielekt-

rische Schicht mit einer lateral nicht konstanten Dicke.

[0011] Die mit der Erfindung erreichten Vorteile des sättigbaren Absorberspiegels bestehen darin, dass die für eine Regeneration erforderliche laterale Abhängigkeit der Resonanzwellenlänge durch eine lateral nicht konstanten Dicke einer zusätzlichen dielektrischen Schicht unter Beibehaltung der technologisch bedingten homogenen Dicke des Halbleiterschichtsystems erreicht wird. Der erfindungsgemäße sättigbare Absorberspiegel kann vorteilhaft zur Regeneration oder Modulation optischer WDM Signale eingesetzt werden.

[0012] Der erfindungsgemäße sättigbare Absorberspiegel wird nachfolgend an Hand von zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

[0013] Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels.

[0014] Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels mit einem aus zwei Teilschichten bestehenden Antireflexionsschichtsystem.

[0015] Fig. 3 die Montage des erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels in einem dispersiven Demultiplex/Multiplexsystem zur Regeneration von WDM Signalen.

Ausführungsbeispiel

[0016] In Fig. 1 ist das erste Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels schematisch dargestellt. Der sättigbare Absorberspiegel besteht aus einem resonanten, asymmetrischen Fabry-Perot Interferometer mit einem hochreflektierenden rückseitigen Spiegel **1** aus Halbleiterschichten und einem teildurchlässigen vorderen Spiegel **2** aus dielektrischen Schichten, zwischen denen eine Abstandsschicht **3** mit einer oder mehreren sättigbaren Absorberschichten **7** eingebettet ist. Erfindungsgemäß besteht die Abstandsschicht **3** aus den folgenden drei Teilschichten:

Die dem hochreflektierenden rückseitigen Spiegel **1** zugewandte erste Teilschicht **4** ist eine Halbleiterschicht mit einer lateral konstanten Schichtdicke, in die sättigbare Absorberschichten **7** an den Maxima des optischen Stehwellenfeldes eingebettet sind.

[0017] Die auf der ersten Teilschicht **4** angeordnete zweite Teilschicht **5** ist eine Antireflexionsschicht mit einer lateral konstanten Schichtdicke für die Zentralwellenlänge der WDM Signale.

[0018] Die auf der zweiten Teilschicht **5** angeordnete dritte Teilschicht **6** ist eine dielektrische Schicht mit

einer lateral nicht konstanten Dicke.

[0019] Der wesentliche Effekt dieser Schichtanordnung besteht darin, dass auf die laterale Strukturierung der halbleitenden Schicht **4** verzichtet werden kann und statt dessen eine darüber liegende dielektrische Schicht **6** lateral strukturiert ist. Die zwischen den Teilschichten **4** und **6** liegende Antireflexions-schicht **5** sorgt dafür, dass für das Licht die Grenzfläche zwischen diesen beiden Teilschichten nicht zu einer zusätzlichen Fresnel-Reflexion führt und dass die gesamte Abstandsschicht dadurch optisch als eine einzelne Schicht wirksam ist. Die Antireflexions-schicht **5** realisiert eine optische Impedanzanpassung zwischen der lateral homogenen halbleitenden Schicht **4** und der lateral inhomogenen dielektrischen Schicht **6**. Die optische Dicke der Antireflexions-schicht **5** muss dabei entsprechend den bekannten Zusammenhängen aus der Optik von Entspiegelungsschichten (siehe beispielsweise das Lehrbuch „Thin-film optical filters“ von H.A. McLeod, Adam Hilger Ltd, Bristol, 1986) gleich einem Viertel der Zentralwellenlänge des WDM Signals betragen und der Brechungsindex der Antireflexionsschicht **5** muss gleich der Quadratwurzel aus dem Produkt der Brechungsindizes der halbleitenden Schicht **4** und der lateral inhomogenen dielektrischen Schicht **6** sein.

[0020] Die Herstellung einer lateral inhomogenen dielektrischen Schicht kann entsprechend dem Stand der Technik unter Verwendung von Schattenmasken (Lochmasken) mittels Sputter- oder Verdampfungsverfahren realisiert werden.

[0021] Durch den Einsatz der Antireflexionsschicht ist das ursprüngliche Problem der lateralen Strukturierung der Halbleiterschicht auf eine über der Halbleiterschicht angeordneten dielektrische Schicht übertragen worden, was einen entscheidenden technischen Vorteil bei der Realisierung des sättigbaren Absorberspiegels zur Folge hat.

[0022] **Fig. 2** zeigt den schematischen Aufbau des Schichtsystems gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels. Dieses Ausführungsbeispiel stellt eine verbesserte Variante des ersten Ausführungsbeispiels dar. Im ersten Beispiel wird zur Anpassung der optischen Impedanz der halbleitenden Schicht **4** und der lateral inhomogenen dielektrischen Schicht **6** lediglich eine sogenannte Lambda-Viertel-Schicht mit geeignetem Brechungsindex zur Entspiegelung eingesetzt. Diese Variante besitzt aber die folgenden beiden Nachteile:

Erstens kann mit einer Lambda-Viertel Schicht die Entspiegelung exakt nur für eine Wellenlänge erfolgen. Das ist erfindungsgemäß zweckmäßigerweise die Zentralwellenlänge des zu regenerierenden WDM Signals. Die WDM Signale, die von der Zentralwellenlänge abweichen, werden teilreflektiert, was zu

einer geringeren Effizienz der Regeneration dieser Signale im Vergleich zur Zentralwellenlänge führt.

[0023] Zweitens muss der Brechungsindex der entspiegelnden Lambda-Viertel Schicht entsprechend den obigen Ausführungen einen bestimmten Betrag besitzen. Das zu erreichen ist zwar technisch beispielsweise durch den Einsatz von Mischschichten möglich, aber doch recht aufwändig.

[0024] Diese beiden Nachteile des ersten Ausführungsbeispiels können gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel mit einer Breitbandentspiegelung aus zwei dielektrischen Subschichten **51** und **52** mit unterschiedlichem Brechungsindex beseitigt werden. Dabei kann entsprechend den bekannten Prinzipien der Breitbandentspiegelung (siehe beispielsweise das Lehrbuch von McLeod) auf die Brechungsindizes technisch gut beherrschter dielektrischer Schichten wie beispielsweise Siliziumdioxid und Tantalpentoxid zurückgegriffen werden. Die für die Breitbandentspiegelung erforderlichen Dicken der beiden Subschichten **51** und **52** ergeben sich entsprechend den bekannten Designprinzipien von Entspiegelungsschichtsystemen und können beispielsweise auch mit entsprechenden Computerprogrammen für den interessierenden Spektralbereich optimiert werden.

[0025] Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das zweite Ausführungsbeispiel gemäß dem Patentanspruch 6 auch dahingehend erweitert werden kann, dass zur weiteren Verbesserung einer breitbandigen Entspiegelung mehr als zwei Subschichten entsprechend den bekannten Prinzipien für optische Breitbandentspiegelungssysteme eingesetzt werden können. Es muss im konkreten Anwendungsfall ein Kompromiss zwischen dem technischen Aufwand und der optischer Entspiegelungswirkung gefunden werden.

[0026] **Fig. 3** zeigt die Montage des erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels **20** entsprechend dem ersten oder zweiten Ausführungsbeispiel in einem dispersiven Demultiplex/Multiplexsystem zur Regeneration von WDM Signalen mit dem Einsatz eines gekrümmten Gitters **31**. Die zu regenerierenden WDM Signale treten aus der Glasfaser **30** aus und werden mit dem gekrümmten Gitter **31** spektral zerlegt und auf den sättigbaren Absorberspiegel **20** wellenlängenspezifisch fokussiert. In der **Fig. 3** ist der Verlauf zweier WDM Signale mit den Wellenlängen λ_1 und λ_2 schematisch dargestellt. Die Dispersion des Gitters ist mit der lateral inhomogenen dielektrischen Schicht **6** des sättigbaren Absorberspiegels **20** durch laterale Justierung Absorberspiegels **20** so in Übereinstimmung gebracht, dass jedes einzelne WDM Signal an der Auftreffstelle auf dem Absorberspiegel **20** mit diesem in Resonanz ist und eine optimale Regeneration erfolgen kann. Die WDM Signale werden am sättigbaren Absorberspiegel **20** reflektiert

und über das gekrümmte Gitter **31** wieder in die Glasfaser **30** zurück reflektiert. Das auslaufende regenerierte WDM Signal kann dann vom einlaufenden WDM Signal beispielsweise mittels eines Circulators getrennt werden.

[0027] Anstelle eines fokussierenden Gitters **31** in **Fig. 3** können entsprechend Anspruch 8 auch andere wellenlängendispersive Baugruppen wie beispielsweise ein Arrayed Waveguide Grating (AWG) oder ein ebenes Gitter in Kombination mit zwei fokussierenden Linsen als Demultiplexer/Multiplexer der zu regenerierenden WDM Signale eingesetzt werden.

[0028] Der Einsatz des erfindungsgemäßen Absorberspiegels ist nicht auf die Regeneration von WDM Signalen begrenzt. Der Absorberspiegel kann infolge seiner nichtlinear-optischen Eigenschaften auch zur Wellenlängenumsetzung (Konversion) oder Modulation von WDM Signalen genutzt werden.

Patentansprüche

1. Sättigbarer Absorberspiegel (**20**) zur Regeneration oder Modulation optischer WDM-Signale, bestehend aus einem resonanten, asymmetrischen Fabry-Perot Interferometer mit einem hochreflektierenden rückseitigen Spiegel (**1**) und einem teildurchlässigen vorderen Spiegel (**2**), zwischen denen eine Abstandsschicht (**3**) mit einer oder mehreren sättigbaren Absorberschicht(en) (**7**) eingebettet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstandsschicht (**3**) aus drei Teilschichten besteht, wobei

- die dem hochreflektierenden rückseitigen Spiegel (**1**) zugewandte erste Teilschicht (**4**) aus einer optisch nicht absorbierenden Halbleiterschicht mit einer lateral konstanten Schichtdicke besteht, in die die eine oder die mehreren sättigbare(n) Absorberschicht(en) (**7**) an den Maxima des optischen Stehwellenfeldes eingebettet ist bzw. sind,
- die auf der ersten Teilschicht (**4**) angeordnete zweite Teilschicht (**5**) eine Antireflexionsschicht mit einer lateral konstanten Schichtdicke für die Zentralwellenlänge der WDM-Signale ist,
- die auf der zweiten Teilschicht (**5**) angeordnete dritte Teilschicht (**6**) eine dielektrische Schicht mit einer lateral nicht konstanten Dicke ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der hochreflektierende rückseitige Spiegel (**1**) aus einkristallinen Halbleiterschichten besteht.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der hochreflektierende rückseitige Spiegel (**1**) aus einer Metallschicht besteht.

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der teildurchlässige

vordere Spiegel (**2**) aus dielektrischen Schichten besteht.

5. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die als Antireflexionsschicht wirkende zweite Teilschicht (**5**) aus dielektrischem Material besteht und Entspiegelung zwischen der ersten, hochbrechenden Teilschicht (**4**) und der dritten, niedrigbrechenden Teilschicht (**6**) realisiert.

6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die als Antireflexionsschicht wirkende zweite Teilschicht (**5**) aus zwei Subschichten (**51**, **52**) mit unterschiedlichem Brechungsindex besteht.

7. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die lateral nicht konstante Schichtdicke der dritten Teilschicht (**6**) so bemessen ist, dass die lateral variierende optische Dicke der aus den drei Teilschichten (**4**, **5**, **6**) bestehenden Abstandsschicht (**3**) jeweils ein Vielfaches einer halben Wellenlänge der verschiedenen WDM-Signale ist.

8. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der sättigbare Absorberspiegel (**20**) in der Fokalebene eines WDM-Demultiplexers positioniert ist, wobei

- die verschiedenen WDM-Signale nebeneinander auf dem sättigbaren Absorberspiegel (**20**) fokussiert werden und
- die lateral nicht konstante Dicke der dritten Teilschicht (**6**) des sättigbaren Absorberspiegels (**20**) so bemessen ist, dass die einzelnen WDM-Signale jeweils in Resonanz sind.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

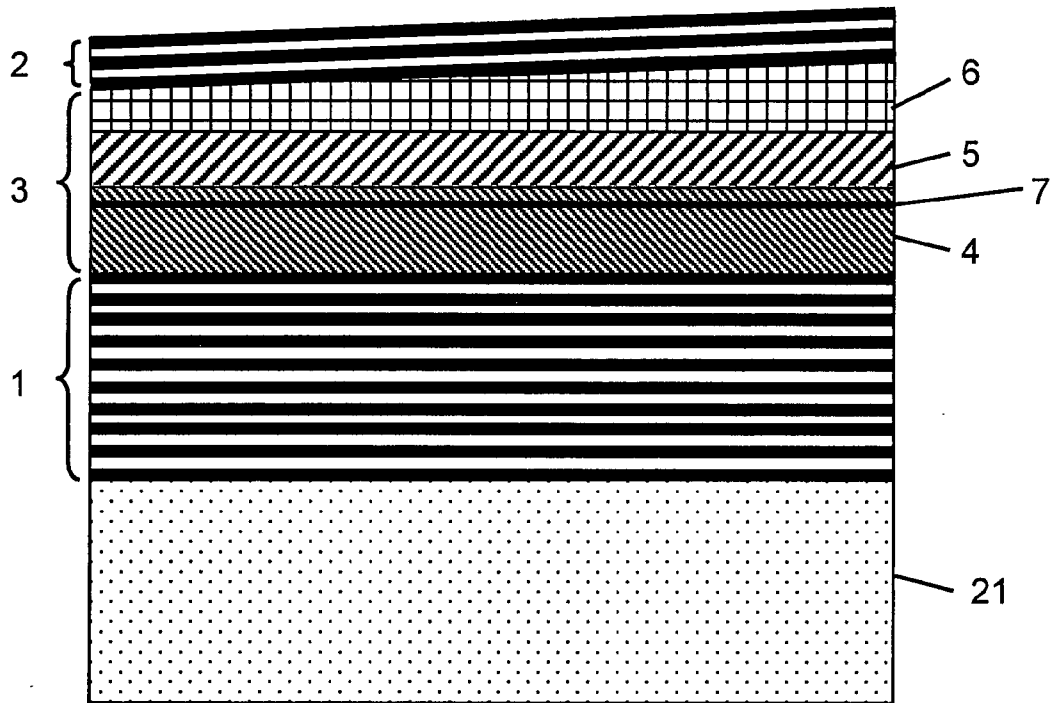


Fig. 2

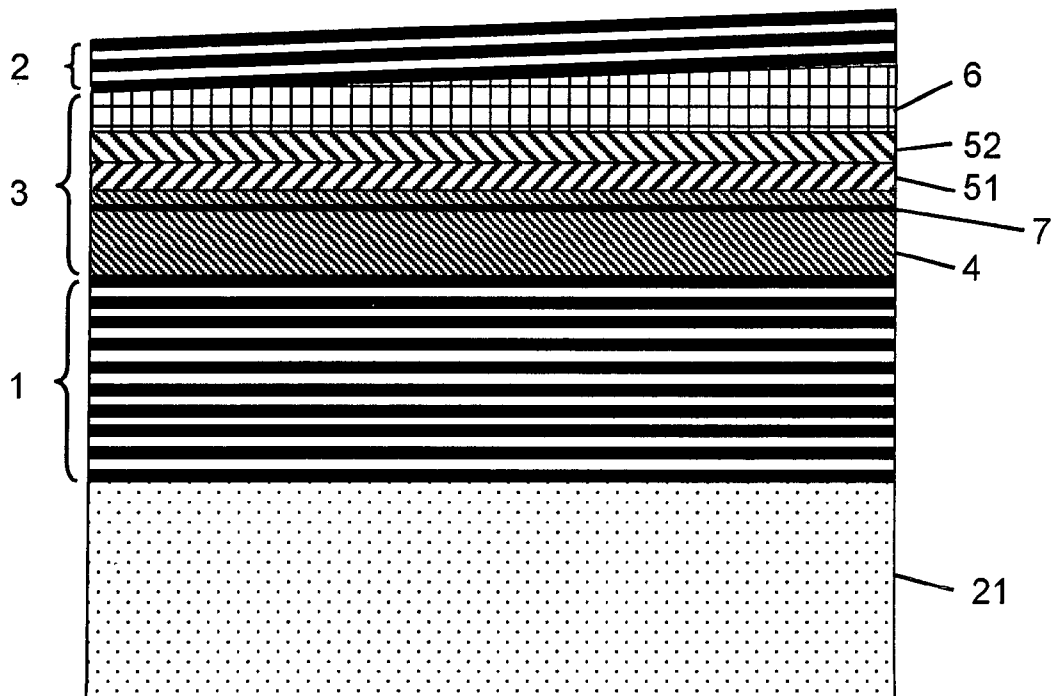


Fig. 3

