



(10) **DE 10 2013 006 473 A1** 2014.10.30

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 006 473.2**
(22) Anmeldetag: **15.04.2013**
(43) Offenlegungstag: **30.10.2014**

(51) Int Cl.: **H04B 10/299** (2013.01)
H04B 10/291 (2013.01)
H01S 5/065 (2006.01)
H01S 3/098 (2006.01)

(71) Anmelder:
BATOP GmbH, 07745 Jena, DE

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

(56) Ermittelte Stand der Technik:

BRAMERIE, L. u.a.: All-Optical 2R Regeneration With a Vertical Microcavity-Based Saturable Absorber. In: IEEE Journal of Selected

Topics in Quantum Electronics. 2012, Vol. 18, No. 2, S. 870 - 883

GAY, M. u.a.: Cascadability Assessment of a 2R Regenerator Based on a Saturable Absorber and a Semiconductor Optical Amplifier in a Path Switchable Recirculating Loop. In: IEEE Photonics Technology Letters. 2006, Vol. 18, No. 11, S. 1273 - 1275

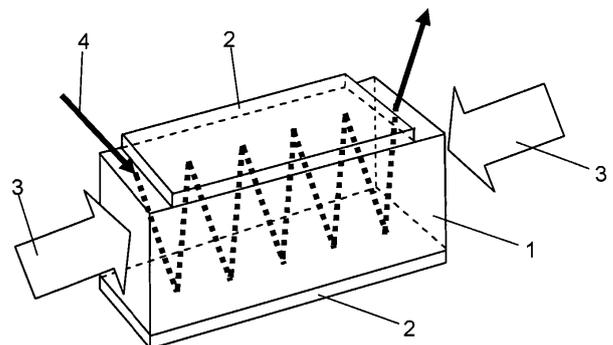
PENZKOFER, A.: Generation of picosecond and subpicosecond light pulses with saturable absorbers. In: Opto-Electronics Review. 1974, Bd. 6, S. 87 - 98

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur Regeneration optischer Pulse**

(57) Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung zur Regeneration optischer Pulse anzugeben, die eine Schwächung der optischen Pulse vermeidet und eine wesentliche Pulsverkürzung oder Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses ermöglicht. Erfindungsgemäß besteht die Anordnung zur Regeneration optischer Pulse aus einem optischen Verstärker (1) und einem resonanten sättigbaren Absorberspiegels (RSAM) (2), der bei seiner Resonanzwellenlänge Pulse mit sehr geringer Intensität nicht reflektiert, sondern vollständig absorbiert. Die zu regenerierenden optischen Pulse (4) werden vor, oder/und nach ihrer Verstärkung im optischen Verstärker (1) am RSAM (2) reflektiert. Die Resonanzwellenlänge des RSAM (2) ist gleich der Wellenlänge der optischen Pulse (4). Die erfindungsgemäße Anordnung kann zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses eines optischen Signals, zur Verkürzung der Dauer optischer Pulse und als rauscharmer optischer Verstärker verwendet werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Regeneration optischer Pulse. Mit der Anordnung kann die Pulsdauer verkürzt sowie das Signal-Rausch-Verhältnis der Pulse verbessert werden.

[0002] Es ist bekannt, dass sättigbare Absorber zur Verkürzung der Dauer optischer Pulse verwendet werden können (A. Penzkofer, „Generation of picosecond and subpicosecond light pulses with saturable absorbers“, Opto-electronics No. 6, (1974) 67–89). Insbesondere mittels halbleitender sättigbarer Absorberspiegel (SESAM – semiconductor saturable absorber mirror) können optische Pulse verkürzt werden (J.-C. Wang, „Nonlinear pulse-shaping phenomena of semiconductor saturable absorber mirror“, Appl. Phys. Lett. 89, (2006) 231106).

[0003] Besonders interessant als nichtlinear-optisches Element sind resonante sättigbare Absorberspiegel (RSAM – resonant saturable absorber mirror) mit einem Halbleiterabsorber, der in einem unsymmetrischen Fabry-Perot angeordnet ist. Bei geeigneter Wahl der Absorption und des teiltransparenten Spiegels des Fabry-Perot Resonators kann bei der Resonanzwellenlänge eine Absorption von 100% beziehungsweise eine Reflexion von Null eingestellt werden. Der Aufbau, die Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten solcher RSAMs sind in den folgenden Publikationen beschrieben: „All optical, high contrast absorptive modulation in asymmetric Fabry-Perot etalon“, Appl. Phys. Lett. 58 (1991), S. 2877–2879; „All-optical, high contrast GaInAs multiple quantum well asymmetric reflection modulator at 1.3 μm “, Appl. Phys. Lett. 62 (1993) S. 1550–1552; „Analytic performance analysis based on material properties for electroabsorptive asymmetric Fabry-Perot reflection modulators“, Applied Optics 41 (2002) S. 1574–1583.

[0004] Bisher hat sich jedoch der Einsatz sättigbarer Absorber zur Verkürzung optischer Pulse noch nicht durchgesetzt, weil der Verkürzungseffekt gering ist und außerdem ein erheblicher Teil der Pulsenergie bei der Wechselwirkung mit dem sättigbaren Absorber absorbiert und in Wärme umgewandelt wird und deshalb meistens mehr als die Hälfte der optischen Pulsenergie verloren geht.

[0005] Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR – signal to noise ratio) einer optischen Pulsfolge kann sich aus verschiedenen Gründen verschlechtern, so dass ein Bedarf für eine Verbesserung entsteht. Beispielsweise verringert sich die Pulsamplitude bei der optischen Datenübertragung in langen optischen Faserstrecken infolge von Streuung und Absorption. Gleichzeitig verringert sich das Signal-Rausch-Verhältnis. Deshalb ist es erforderlich, die Pulsfolge nach einer längeren Faserübertragungstrecke wieder zu regenerieren und damit das SNR aufzubessern.

[0006] Ein weiteres Beispiel für den Bedarf der Erhöhung des Signal-Rausch-Verhältnisses betrifft optische Pulsfolgen, die in einem optischen Verstärker verstärkt wurden. Infolge der spontanen Emission im Verstärker ergibt sich ein optisches Untergrundrauschen zwischen den Pulsen, dessen optische Gesamtenergie erheblich sein kann und deshalb bei der Nutzung der Pulsfolge beispielsweise für Messzwecke, die Materialbearbeitung oder die Datenübertragung stört.

[0007] Die Reflexion einer Pulsfolge an einem sättigbaren Absorberspiegel kann infolge der nichtlinear-optischen Eigenschaften des Absorberspiegels genutzt werden, um das Verhältnis der Pulsamplitude zum Untergrundrauschen zu vergrößern. Eine Anordnung zur Regeneration optischer Signale unter Verwendung sättigbarer Absorber in Transmission und in Reflexion ist in der Patentschrift FR 2784 202 B1 angegeben. In dieser Patentschrift ist auch eine Kaskadierung der Reflexion an einem sättigbaren Absorberspiegel vorgeschlagen, um den Effekt der Regeneration des Signal-Rausch-Verhältnisses zu vervielfachen. In der Patentschrift US 2003 0043 484 A1 wird ebenfalls eine Anordnung vorgeschlagen, bei der infolge der Reflexion der optischen Signale an einem sättigbaren Absorberspiegel das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert wird. Eine Anordnung mit einem sättigbaren Absorber in Transmission wird in der Patentschrift US 5726 787 zur Regeneration optischer Pulse vorgeschlagen. Die BATOP GmbH bietet resonante sättigbare Absorberspiegel (RSAM – resonant saturable absorber mirror) zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses optischer Pulse für verschiedene Wellenlängen an (<http://www.batop.de/products/products.html>).

[0008] Bisher hat sich jedoch der Einsatz sättigbarer Absorber zur Regeneration optischer Signale in der Praxis nur in wenigen Fällen durchgesetzt, weil in den meisten Fällen mehr als die Hälfte der optischen Signalenergie in Wärme umgewandelt wird und deshalb die Signale erheblich geschwächt werden.

[0009] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung zur Regeneration optischer Pulse anzugeben, die eine Schwächung der optischen Pulse vermeidet und eine wesentliche Pulsverkürzung oder Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses ermöglicht.

[0010] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe unter Verwendung eines optischen Verstärkers und eines resonanten sättigbaren Absorberspiegels (RSAM), der bei seiner Resonanzwellenlänge optische Pulse mit sehr geringer Intensität nicht reflektiert, sondern vollständig absorbiert, mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0011] Den Erfindungsanspruch vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die drei Ausführungsbeispiele mit den zugehörigen Abbildungen.

[0012] Gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 besteht die Anordnung zur Regeneration optischer Pulse aus einem optischen Verstärker und einem RSAM. Die zu regenerierenden optischen Pulse werden in dieser Anordnung vor, oder/und nach ihrer Verstärkung im optischen Verstärker am RSAM reflektiert. Die Resonanzwellenlänge des RSAM ist gleich der Wellenlänge der optischen Pulse.

[0013] Durch die erfindungsgemäße Anordnung wird zunächst erreicht, dass infolge der Reflexion der optischen Pulsfolge an einem RSAM eine effiziente Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses beziehungsweise eine Pulsverkürzung möglich ist. Durch die Nutzung eines optischen Verstärkers kann die Schwächung der Signalamplitude bei der Reflexion am RSAM ausgeglichen werden.

[0014] Gemäß Anspruch 2 kann der Effekt der Signalregeneration verstärkt werden, indem die zu regenerierenden optischen Pulse mehrfach die kombinierte Anordnung von RSAM und dem optischem Verstärker durchlaufen. Eine derartige Anordnung ist besonders für eine Verkürzung optischer Pulse geeignet. Die Dauer eines gaußförmigen optischen Pulses kann mittels einer Reflexion an einem RSAM maximal um den Faktor 1,4 verkürzt werden. Mit der erfindungsgemäßen Anordnung kann infolge der mehrfachen Reflexion des optischen Pulses am RSAM die Pulsdauer entscheidend, beispielsweise um den Faktor 10 verkürzt werden.

[0015] Im Unteranspruch 3 ist eine Anordnung angegeben, bei der der optische Verstärker zwischen den Oberflächen zweier RSAMs angeordnet ist. Wird die zu regenerierende optische Pulsfolge so in den optischen Verstärker eingestrahlt, dass sie auf einem Zickzackweg durch das Verstärkermaterial läuft und mehrfach an den RSAMs reflektiert wird, kann mit einer solchen kompakten Anordnung eine sehr effiziente Signalregeneration realisiert werden.

[0016] Im Unteranspruch 4 ist eine Anordnung mit einer mehrfachen Reflexion an einem RSAM beschrieben, wobei der Verstärker durch einen dichroitischen Spiegel hindurch optisch gepumpt wird. Der optische Verstärker besitzt die Form einer Platte, deren Unterseite auf der RSAM Oberfläche angebracht ist. Die Oberseite des Verstärkers ist mit einem dichroitischen Spiegel versehen, der die optische Pumpstrahlung transmittiert und die zu regenerierenden optischen Pulse in den Verstärker zurück reflektiert. Die zu regenerierenden optischen Pulse werden schräg in den Verstärker eingestrahlt, so dass sie mehrfach zwischen der RSAM-Oberfläche und dem dichroitischen Spiegel auf einem Zickzackweg durch den Verstärker laufen, bevor sie diesen wieder verlassen.

[0017] Eine zweckmäßige Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Lösung nach Anspruch 1 ist im Unteranspruch 5 beschrieben. Dabei wird als optischer Verstärker ein Faserverstärker eingesetzt. Eine solche Anordnung ist besonders zur Regeneration optischer Signale geeignet, die in optischen Fasern übertragen werden.

[0018] Eine Weiterentwicklung dieser Anordnung ist im Unteranspruch 6 beschrieben. Dabei wird die Kombination von RSAM und optischem Faserverstärker zur Signalregeneration am Ende einer optischen Faserübertragungsstrecke eingesetzt. Bei Bedarf wird eine längere optische Faserübertragungsstrecke mehrfach durch eine zwischengeschaltete Kombination von RSAM und optischem Faserverstärker unterbrochen. Auf diese Weise kann eine lange optische Übertragungsstrecke mit rein optischen Signalregeneratoren bestückt werden, ohne dass eine optisch-elektrisch-optische Signalwandlung zur Signalregeneration eingesetzt werden muss.

[0019] Im Unteranspruch 7 wird zusätzlich zur Kombination aus RSAM und optischem Verstärker ein optisches Bandpassfilter in den Lichtweg der zu regenerierenden Pulse eingebracht, das bei der Resonanzwellenlänge des RSAM transparent ist und alle anderen Wellenlängen blockiert. Auf diese Weise wird insbesondere beim Einsatz eines optischen Breitbandverstärkers vermieden, dass das vom RSAM nicht unterdrückte optische Verstärkeraussehen außerhalb der Resonanzwellenlänge des RSAM aus dem Signalweg entfernt wird.

[0020] Die erfindungsgemäße Anordnung kann zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses eines optischen Signals, zur Verkürzung der Dauer optischer Pulse und als rauscharmer optischer Verstärker verwendet werden.

[0021] Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von drei Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

[0022] Fig. 1 den Aufbau des ersten Ausführungsbeispiels zur Regeneration optischer Pulse,

[0023] Fig. 2 die graphische Darstellung der Abhängigkeit der RSAM Reflexion von der Pulsfluenz,

[0024] Fig. 3 die graphische Darstellung der Verkürzung der Pulsdauer gaußförmiger optischer Pulse nach der Reflexion am RSAM,

[0025] Fig. 4 den Aufbau des zweiten Ausführungsbeispiels zur Regeneration optischer Pulse,

[0026] Fig. 5 den Aufbau des dritten Ausführungsbeispiels zur Regeneration optischer Pulse,

[0027] Fig. 6 die graphische Darstellung der Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses durch die Anordnung des dritten Ausführungsbeispiels.

[0028] In Fig. 1 ist das erste Ausführungsbeispiel schematisch dargestellt. Die Anordnung dient hauptsächlich der Verkürzung der Dauer optischer Pulse, kann aber auch zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses optischer Pulse genutzt werden. Ein optischer Verstärker **1** ist zwischen zwei RSAM **2** angebracht. Der Verstärker **1** besitzt die Form einer Platte. Er besteht aus einem Nd dotierten YVO₄-Kristall, der seitlich mit Pumplicht **3** der Wellenlänge von 808 nm gepumpt wird und Licht der Wellenlänge von 1064 nm verstärken kann. Die Dicke des Verstärkers **1** beträgt 0,5 mm. Die zu regenerierenden optischen Pulse **4** besitzen eine Wellenlänge von 1064 nm und werden schräg in den optischen Verstärker **1** eingestrahlt. Beim Durchlaufen des Verstärkers **1** werden die Pulse **4** verstärkt und an den beiden RSAM **2** insgesamt neunmal reflektiert, bevor sie den Verstärker **1** wieder verlassen.

[0029] Die beiden RSAM **2** besitzen beim Einfallswinkel der zu regenerierenden Pulse **4** eine Resonanz bei der Wellenlänge von 1064 nm. Bei der Resonanzwellenlänge wird Licht sehr geringer Intensität am RSAM **2** nicht reflektiert, sondern nahezu vollständig absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die Reflexion R des RSAM **2** wächst zunächst mit wachsender Pulsfluenz F nahezu linear an und geht dann in die Sättigung über. Diese Abhängigkeit R(F) ist in Fig. 2 dargestellt. Bei Vernachlässigung der Zweiphotonenabsorption kann die Reflexion R als Funktion der Pulsfluenz F mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$R(F) = 1 - A_n - \Delta R \cdot \frac{F_{sat}}{F} (1 - e^{-F/F_{sat}}) \approx \frac{\Delta R}{2} \frac{F}{F_{sat}}$$

[0030] Dabei bedeuten A_n die nicht sättigbare Absorption, ΔR die Modulationstiefe und F_{sat} die Sättigungsfluenz des RSAM. Die Näherung der Funktion R(F) mit einer linearen Abhängigkeit der Reflexion von der Fluenz F für den praktisch interessanten Fall F ≤ F_{sat} ist auch mit angegeben.

[0031] Im ersten Ausführungsbeispiel besitzt der RSAM **2** folgende Parameter: A_n = 0,4, ΔR = 0,6 und F_{sat} = 10 μJ/cm². Die für die Sättigung des RSAM **2** maßgebliche Fluenz F ist eine Funktion der zeitabhängigen Intensität I(t) des Pulses sowie der Relaxationszeit t_R des RSAM. Sie kann für den praktisch wichtigen Fall, dass t_R klein gegenüber der Pulsdauer t_p ist, mit dem Produkt F(t) ≈ I(t)·t_R abgeschätzt werden. Die Zeitabhängigkeit der Intensität I(t) eines gaußförmigen optischen Pulses mit der Pulsfluenz F_p und der Pulsdauer t_p kann folgendermaßen angegeben werden:

$$I(t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{F_p}{t_p} e^{-2\frac{t^2}{t_p^2}}$$

[0032] Wird ein solcher Puls am RSAM **2** reflektiert, dann besitzt die reflektierte Intensität I_R die folgende Zeitabhängigkeit:

$$I_R(t) = R(I) \cdot I(t) = \frac{\Delta R}{\pi} \cdot \frac{F_P}{t_p} \cdot \frac{t_R}{t_p} \cdot \frac{F_P}{t_p} \cdot e^{-2 \frac{t^2}{\left(\frac{t_p}{\sqrt{2}}\right)^2}}$$

[0033] Die Dauer des reflektierten Pulses ist demzufolge um den Faktor $1/\sqrt{2} \approx 0,71$ gegenüber der Dauer des einfallenden Pulses verkürzt und seine maximale Intensität ist um einen Faktor x geschwächt, der durch folgende Größen bestimmt wird:

$$x = \frac{\Delta R}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cdot \frac{F_P}{F_{\text{sat}}} \cdot \frac{t_R}{t_p}$$

[0034] Für den ersten Faktor in der Gleichung ergibt sich mit $\Delta R = 0,6$ der Wert 0,24. Die Pulsfluenz F_P wird zweckmäßig gleich der Sättigungsfluenz F_{sat} des RSAM gewählt. Bei einer Pulsdauer $t_p = 100$ ps und einer Relaxationszeit des RSAM $t_R = 10$ ps beträgt die Intensität des am RSAM reflektierten Pulses nur 2,4% der einfallenden Intensität. Der Puls wird um den Faktor 42 geschwächt.

[0035] Der optische Verstärker ist so dimensioniert, dass der reflektierte Puls beim Durchgang durch den optischen Verstärker um den Faktor 42 verstärkt wird. Dadurch läuft bei der zweiten Reflexion des Pulses am RSAM im Wesentlichen das Gleiche ab wie bei der ersten Reflexion. Bei einer n -fachen Reflexion am RSAM verkürzt sich demzufolge die Pulsdauer um den Faktor $(1/\sqrt{2})^n$, solange die Relaxationszeit t_R des RSAM klein gegenüber der Pulsdauer t_p bleibt. Entsprechend verringert sich auch die Schwächung des Pulses bei der Reflexion am RSAM.

[0036] In **Fig. 3** ist diese zeitliche Verkürzung der Pulsdauer eines gaußförmigen Pulses mit einer Pulsdauer von $t_p = 100$ ps nach einer und nach vier Reflexionen am RSAM **2** dargestellt. Die Relaxationszeit des RSAM ist mit $t_R = 10$ ps wesentlich kürzer als die Pulsdauer, so dass sowohl die Vorderflanke als auch die Rückflanke des Pulses bei der Reflexion am RSAM **2** verkürzt werden.

[0037] Nach 6 Reflexionen hat sich die ursprüngliche Pulsdauer von 100 ps auf die Pulsdauer von ca. 15 ps verringert. Bei weiteren Reflexionen am RSAM **2** muss berücksichtigt werden, dass die Sättigung des RSAM **2** während der Reflexion der Rückflanke des Pulses nur unwesentlich relaxiert. Deshalb wird bei sehr kurzen Pulsen lediglich die Vorderflanke des Pulses bei der Reflexion verkürzt. Die Rückflanke des Pulses wird nur unwesentlich beeinflusst, wenn $t_p < t_R$ ist. In diesem Fall wird die Pulsdauer pro Reflexion am RSAM **2** nur etwa um den Faktor $1/2 \cdot (1/\sqrt{2} + 1) \approx 0,854$ verkürzt. Das führt bei weiteren 3 Reflexionen zu einer Verkürzung der Pulsdauer um den Faktor 0,62.

[0038] Demzufolge wird bei insgesamt 9 Reflexionen des Pulses in der Anordnung des ersten Ausführungsbeispiels die Pulsdauer von 100 ps auf weniger als 10 ps verringert, wobei die Pulsamplitude infolge der zehnmaligen Verstärkung weitgehend unverändert bleibt oder sich sogar vergrößert. Diese Anordnung kann beispielsweise zur Verkürzung der Pulsdauer von Mikrochip-Lasern genutzt werden, deren Pulsdauer im Bereich zwischen hundert und einigen hundert Pikosekunden liegen kann.

[0039] Die Anordnung gemäß diesem ersten Ausführungsbeispiel kann auch als rauscharmer Verstärker optischer Pulse eingesetzt werden. Die zu verstärkenden optischen Pulse **4** werden fokussiert in den Verstärker **1** eingestrahlt, so dass der Fokus etwa an der ersten Reflexion am unteren RSAM **2** in **Fig. 1** liegt. Anschließend vergrößert sich infolge der Beugung der Strahlquerschnitt der optischen Pulse **4**. Bei entsprechender Verstärkung steigt dabei die Pulsfluenz an. Um die erforderliche Verstärkung zu gewährleisten, wird die Intensität des Pumplichtes **3** am Ende des optischen Verstärkers **1** besonders hoch eingestellt. Bei einem optischen Verstärker wird außer den Pulsen auch das spontan emittierte Licht verstärkt, wodurch ein optischer Rauschuntergrund entsteht. Bei der erfindungsgemäßen Anordnung des ersten Ausführungsbeispiels wird bei jeder Reflexion am RSAM **2** der Rauschuntergrund absorbiert, so dass trotz des Rauschens des optischen Verstärkers **1** das Signal-Rausch-Verhältnis insgesamt verbessert wird. Die erfindungsgemäße Anordnung kann demzufolge zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses eines optischen Signals sowie allgemein als extrem rauscharmer optischer Verstärker verwendet werden.

[0040] **Fig. 4** zeigt das zweite Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur Formung optischer Pulse gemäß der vorliegenden Erfindung. Es unterscheidet sich vom ersten Ausführungsbeispiel nur dadurch, dass auf der Oberseite des optischen Verstärkers **1** ein dichroitischer Spiegel **5** angebracht ist, der das Pumplicht **3** in

den Verstärker transmittiert und die zu regenerierenden optischen Pulse **4** reflektiert. Bei dieser Anordnung werden die optischen Pulse **4** bei der Reflexion am RSAM **2** an der Unterseite des Verstärkers **1** regeneriert. Die Funktion dieser Anordnung entspricht bezüglich der Regeneration der optischen Pulse **4** der des ersten Ausführungsbeispiels.

[0041] Mit dieser Anordnung ist es einfacher, die erforderliche optische Verstärkung zwischen zwei Reflexionen am RSAM **2** zu gewährleisten, damit kein Intensitätsverlust bei der Pulsformung entsteht. Die Anordnung kann für die gleichen Zwecke wie die des ersten Ausführungsbeispiels genutzt werden.

[0042] Die erfindungsgemäßen Anordnungen des ersten und zweiten Ausführungsbeispiels können auch zur Regeneration optischer Signale **4** bei anderen Wellenlängen als der im ersten Ausführungsbeispiel angegebenen Wellenlänge von 1064 nm eingesetzt werden. Dazu muss nur das geeignete Material für den optischen Verstärker **1** und ein geeigneter RSAM **2** für die jeweilige Wellenlänge der optischen Signale **4** verwendet werden.

[0043] In Fig. 5 ist das dritte Ausführungsbeispiel der Erfindung schematisch dargestellt. Es besteht aus einer Kombination von einem fasergekoppelten RSAM **2** und einem optischen Faserverstärker **8** (EDFA – Erbium doped fiber amplifier), der für die Kommunikationswellenlängen um 1550 nm zur rein optischen Signalregeneration eingesetzt werden kann. Ein optisches Signal in der Form einer Pulsfolge wird in optischen Fasern **7** geführt und besitzt ein Signal-Rausch-Verhältnis SNR_{in} , das verbessert werden soll. Ein fasergekoppelter RSAM **2** mit der Resonanzwellenlänge gleich der Wellenlänge der optischen Pulse ist am mittleren Port eines 3-Port Zirkulators **6** angebracht. Das optische Signal wird über den Zirkulator **6** zum RSAM **2** geführt und nach der Reflexion am RSAM **2** über den Ausgangsport des Zirkulators **6** in einen Faserverstärker **8** eingespeist. Das Signal-Rausch-Verhältnis des Eingangssignals SNR_{in} wird am RSAM **2** verbessert. Der bei der Reflexion am RSAM **2** entstandene Intensitätsverlust des optischen Signals wird im Faserverstärker **8** überkompensiert, so dass am Ausgang der Kombination aus RSAM **2** und optischem Faserverstärker **8** ein verstärktes optisches Signal mit verbessertem Signal-Rausch-Verhältnis SNR_{out} entsteht.

[0044] In Fig. 6 ist die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses SNR_{in} bei der Reflexion am RSAM **2** sowie nach der Verstärkung im Faserverstärker **8** dargestellt. Die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses wächst mit steigendem SNR_{in} . Die mit „RSAM + EDFA“ bezeichnete Kurve zeigt das Signal-Rausch-Verhältnis SNR_{out} am Ausgang des Faserverstärkers **8**. Es ist um 6 dB geringer als nach der Reflexion am RSAM **2**, weil ein optischer Verstärker infolge des spontan emittierten Lichtes ein zusätzliches Rauschen verursacht, welches das Signal-Rausch-Verhältnis um ca. 6 dB verringert. Insgesamt wird jedoch mit der beschriebenen Anordnung aus RSAM **2** und Faserverstärker **8** eine rein optische Signalregeneration erreicht. Bei Bedarf kann die im dritten Ausführungsbeispiel dargestellte Kombination aus RSAM und optischem Faserverstärker mehrfach hintereinander geschaltet werden, um eine weitere Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses zu erreichen.

[0045] Die im dritten Ausführungsbeispiel beschriebene Anordnung zur Formung optischer Pulse kann zur rein optischen Regeneration optischer Signale eingesetzt werden, die in optischen Fasern übertragen werden. Bei Einsatz der erfindungsgemäßen Anordnung zur Signalregeneration entfällt die bisher unvermeidliche Umwandlung der optischen Signale in elektrische Signale und danach wieder in optische Signale, was einen hohen technischen Aufwand mit entsprechenden Kosten verursacht. Bei der Diskussion des ersten Ausführungsbeispiels wurde bereits erläutert, dass bei der Reflexion eines optischen Pulses am RSAM die Pulsflanken steiler werden. Durch diesen Effekt wird auch bei der im dritten Ausführungsbeispiel beschriebenen Anordnung nicht nur das Signal-Rausch-Verhältnis optischer Signale verbessert, sondern auch die Flankensteilheit der optischen Pulse erhöht.

[0046] Die Anordnung des dritten Ausführungsbeispiels mit dem fasergekoppelten RSAM **2** und dem optischen Faserverstärker **8** ist nicht auf eine Wellenlänge um 1550 nm beschränkt, sondern kann auch bei jeder anderen Wellenlänge optischer Signale eingesetzt werden. Dazu muss lediglich die Resonanzwellenlänge des RSAM **2** und die Verstärkungswellenlänge des optischen Faserverstärkers **8** an die Wellenlänge der zu regenerierenden optischen Signale angepasst werden.

Bezugszeichenliste

1	optischer Verstärker
2	resonanter sättigbarer Absorberspiegel (RSAM)
3	Pumplicht
4	optische Pulse
5	dichroitischer Spiegel
6	Zirkulator
7	optische Faser
8	Faserverstärker
SNR_{in}	Signal-Rausch-Verhältnis des Eingangssignals
SNR_{out}	Signal-Rausch-Verhältnis des Ausgangssignals

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- FR 2784202 B1 [0007]
- US 20030043484 A1 [0007]
- US 5726787 [0007]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- A. Penzkofer, „Generation of picosecond and subpicosecond light pulses with saturable absorbers”, Opto-electronics No. 6, (1974) 67–89 [0002]
- J.-C. Wang, „Nonlinear pulse-shaping phenomena of semiconductor saturable absorber mirror”, Appl. Phys. Lett. 89, (2006) 231106 [0002]
- „All optical, high contrast absorptive modulation in asymmetric Fabry-Perot etalon”, Appl. Phys. Lett. 58 (1991), S. 2877–2879 [0003]
- „All-optical, high contrast GaInAs multiple quantum well asymmetric reflection modulator at 1.3 μm ”, Appl. Phys. Lett. 62 (1993) S. 1550–1552 [0003]
- ”Analytic performance analysis based on material properties for electroabsorptive asymmetric Fabry-Perot reflection modulators”, Applied Optics 41 (2002) S. 1574–1583 [0003]
- <http://www.batop.de/products/products.html> [0007]

Patentansprüche

1. Anordnung zur Regeneration optischer Pulse unter Verwendung eines optischen Verstärkers (1) und eines resonanten sättigbaren Absorberspiegels (RSAM) (2), der bei seiner Resonanzwellenlänge Pulse mit sehr geringer Intensität nicht reflektiert, sondern vollständig absorbiert,

dadurch gekennzeichnet,

- a) dass die zu regenerierenden optischen Pulse (4) vor, oder/und nach ihrer Verstärkung im optischen Verstärker (1) am RSAM (2) reflektiert werden und
- b) dass die Resonanzwellenlänge des RSAM (2) gleich der Wellenlänge der optischen Pulse (4) ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die zu regenerierenden optischen Pulse (4) mehrfach die kombinierte Anordnung von RSAM (2) und optischem Verstärker (1) durchlaufen, um die Pulsformung zu verstärken.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass der optische Verstärker (1) zwischen den Oberflächen zweier RSAM (2) angeordnet ist.

4. Anordnung nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

- a) dass der optische Verstärker (1) die Form einer Platte besitzt, deren Unterseite auf der Oberfläche des RSAM (2) angebracht ist
- b) dass die Oberseite des Verstärkers (1) mit einem dichroitischen Spiegel (5) versehen ist, der die optische Pumpstrahlung (3) transmittiert und die zu regenerierenden optischen Pulse (4) reflektiert
- c) dass der optische Verstärker (1) durch den dichroitischen Spiegel (5) hindurch optisch gepumpt wird und
- d) dass die zu regenerierenden optischen Pulse (4) schräg in den Verstärker eingestrahlt werden, so dass sie mehrfach zwischen der Oberfläche des RSAM (2) und dem dichroitischen Spiegel (5) auf einem Zickzackweg durch den Verstärker (1) laufen, bevor sie diesen wieder verlassen.

5. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass der optische Verstärker (1) ein Faserverstärker (8) ist.

6. Anordnung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Kombination von RSAM (1) und optischem Faserverstärker (8) zur Signalregeneration am Ende einer optischen Faserübertragungsstrecke eingesetzt wird und dass bei Bedarf zur Regeneration optischer Pulse (4) eine längere optische Faserübertragungsstrecke mehrfach durch eine zwischengeschaltete Kombination von RSAM (2) und optischem Faserverstärker (8) unterbrochen wird.

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet,** dass zusätzlich zur Kombination aus RSAM (2) und optischem Verstärker (1) ein optisches Bandpassfilter in den Lichtweg der zu regenerierenden Pulse (4) gebracht wird, welches bei der Resonanzwellenlänge des RSAM (2) transparent ist und alle anderen Wellenlängen blockiert.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

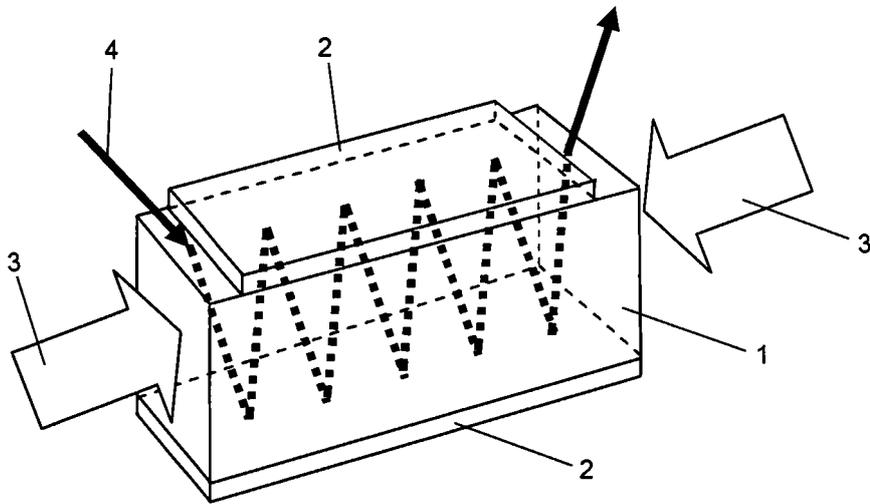


Fig. 2

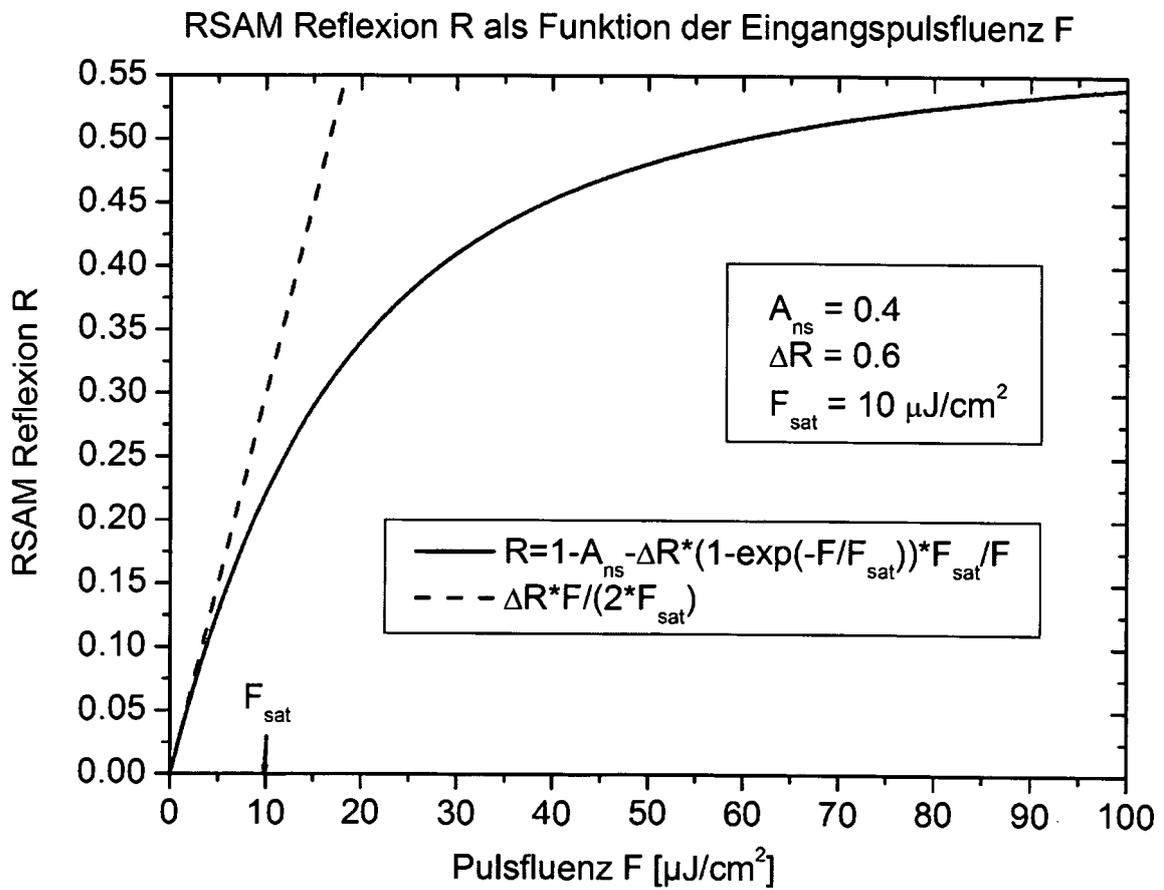


Fig. 3

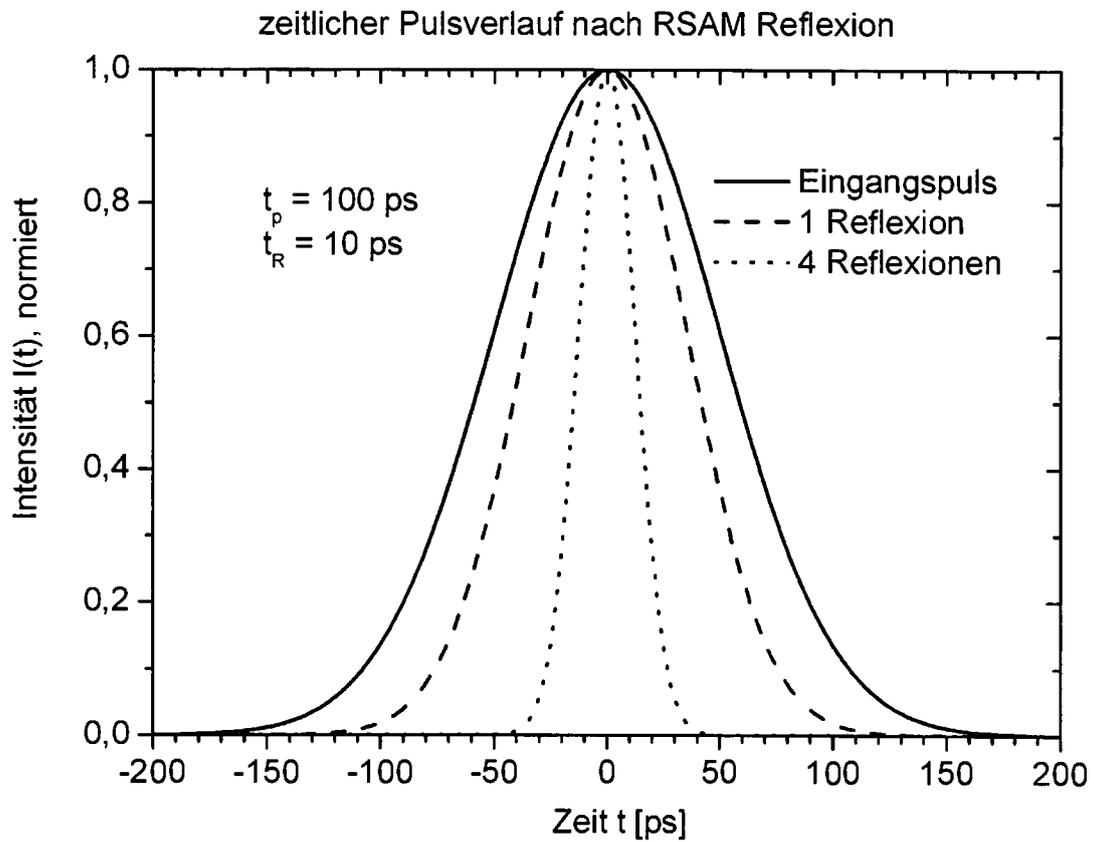


Fig. 4

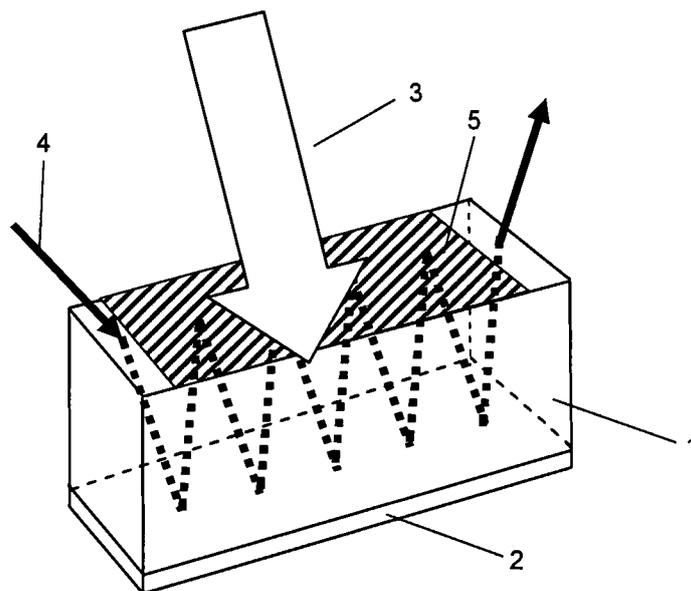


Fig. 5

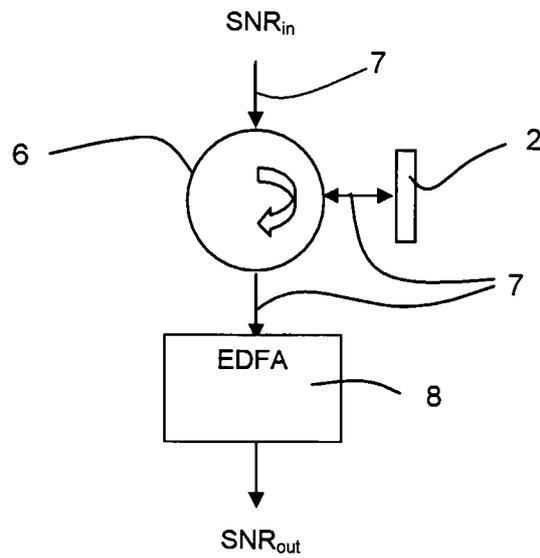


Fig. 6

