



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 013 925 B3** 2009.05.07

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 013 925.4**
(22) Anmeldetag: **12.03.2008**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **07.05.2009**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 5/065** (2006.01)
H01S 3/098 (2006.01)
G02F 1/35 (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. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
BATOP GmbH, 07745 Jena, DE

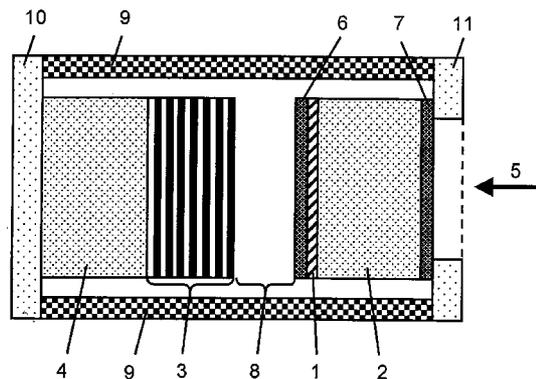
(72) Erfinder:
**Hohmuth, Rico, 07745 Jena, DE; Richter,
Wolfgang, 99425 Weimar, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
WO 96/36 906 A1
WO 2003/0 55 014 A2
US 65 38 298 B1
EP 10 79 483 B1
JP 2002-2 70 929 A
JP 2001-0 68 774 A
DE 199 34 639 A1
DE 100 30 672 B4
DE 100 09 309 A1
US 52 37 577 A
EP 11 30 703 A2
DE10 2005 010695 B3

(54) Bezeichnung: **Sättigbarer Absorberspiegel mit einem Luftspalt**

(57) Zusammenfassung: Sättigbare Absorberspiegel zur Modenkopplung von PulsLasern werden als monolithische Kombination eines hochreflektierenden Bragg-Spiegels und einer darauf epitaktisch gewachsenen sättigbaren Absorberschicht für Laserwellenlängen im Bereich von 800 nm bis 1550 nm hergestellt. Für Laser mit Wellenlängen größer als 1550 nm ist es wegen der großen Schichtdicke der dafür erforderlichen halbleitenden Bragg-Spiegel nicht möglich, entsprechende sättigbare Absorberspiegel mit vertretbarem Aufwand herzustellen. Der erfindungsgemäße sättigbare Absorberspiegel löst dieses Problem. Der sättigbare Absorberspiegel besteht aus einem hochreflektierenden Spiegel (3) und einem sättigbaren Absorberschichtsystem (1) auf einem Halbleitersubstrat (2), zwischen denen sich ein dünner Luftspalt (8) befindet, dessen Dicke mit einem Abstandshalter (9) einstellbar ist. Durch die Einstellung der Dicke des Luftspalts (8) kann die sättigbare Absorption auf die Erfordernisse des PulsLasers angepasst werden.

Modenkopplung von PulsLasern.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen sättigbaren Absorberspiegel nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Mittels sättigbarer Absorberspiegel können Laser im modengekoppelten Pulsregime betrieben werden. Sättigbare Absorberspiegel wirken dabei sowohl als Reflektor und ersetzen damit den in einem Laserresonator erforderlichen hochreflektierenden Spiegel als auch als nichtlinear-optisches Bauelement mit einer Absorption, die von der Fluenz des Laserpulses abhängig ist und den Laser zum Pulsen bringt.

[0003] Für die Realisierung eines sättigbaren Absorberspiegels wird üblicherweise eine monolithische Schichtanordnung aus einem Bragg-Spiegel und einem auf diesem Bragg-Spiegel angeordneten Halbleiterschichtsystem mit eingebetteter Halbleiter-Absorberschicht gewählt. Da die absorbierende Halbleiterschicht üblicherweise aus einem einkristallinen III-V-Halbleitermaterial besteht, muss diese zusammen mit dem Bragg-Spiegel als Schichtsystem auf einem einkristallinen III-V-Halbleitersubstrat aus GaAs oder InP epitaktisch aufgewachsen werden. Die Designwellenlänge des Bragg-Spiegels und die Absorptionskante der sättigbaren Absorberschicht sind durch die verwendete Laserwellenlänge bestimmt.

[0004] Der wesentliche physikalische Aspekt der monolithischen Integration von Bragg-Spiegel und sättigbarem Absorberschichtsystem besteht darin, dass die Absorberschicht beziehungsweise das Absorberschichtsystem im stehenden Wellenfeld vor dem Bragg-Spiegel präzise positioniert werden kann, so dass eine vorgebbare sättigbare Absorption realisiert wird.

[0005] Die üblichen Bezeichnungen für derartige sättigbare Absorberspiegel sind SAM – saturable absorber mirror und SESAM – semiconductor saturable absorber mirror, wobei bei der letzteren Bezeichnung explizit auf die Verwendung einer halbleitenden sättigbaren Absorberschicht hingewiesen wird.

[0006] Monolithische Anordnungen für sättigbare Absorberspiegel zum Modenkoppeln von Lasern mit antiresonantem und resonantem Schichtdesign sind beispielsweise in folgenden Patentschriften beschrieben: WO 96/36906 A1, WO 2003/055014 A2, US 6 538 298 B1, EP 1 079 483 B1, JP 2002 270929 A, JP 2001 068774 A, DE 199 34 639 A1, DE 100 30 672 64, DE 100 09 309 A1. Es gibt auch Vorschläge für sättigbare Absorberspiegel, bei denen außer dem halbleitenden Bragg-Spiegel und dem halbleitenden Absorberschichtsystem ein weiteres dielektrisches Spiegelschichtsystem aus einem Isolatormaterial in das Gesamt-Schichtsystem integriert ist, um spezifi-

sche resonante oder antiresonante Schichtsysteme zu realisieren. Beispiele für solche sättigbaren Absorberspiegel sind in den Patentschriften US 5 237 577 A, EP 1 130 703 A2, DE 10 2005 010 695 B3 beschrieben.

[0007] Sättigbare Absorberspiegel für Laserwellenlängen im Bereich von 800 nm bis 1550 nm werden auf der Grundlage der in den oben angegebenen Patentanmeldungen beschriebenen Schichtsystemen hergestellt und in modengekoppelten PulsLasern eingesetzt. In letzter Zeit werden auch Laser mit Emissionswellenlängen im Bereich von 1900 nm bis etwa 3 μm entwickelt, für deren Betrieb ein sättigbarer Absorberspiegel zum Modenkoppeln dieser Laser wünschenswert ist. Im Prinzip kann auch für Wellenlängen größer als 1500 nm ein sättigbarer Absorberspiegel aus einem epitaktisch gewachsenen Halbleitermaterial und darauf angeordneten halbleitenden Absorberschichten hergestellt werden, jedoch ist infolge der großen Gesamtdicke des Halbleiterschichtsystems von mehr als etwa 8 μm eine ökonomische Herstellung mit den bekannten Halbleiterepitaxieverfahren nicht möglich.

[0008] Wenn jedoch aus den genannten Kostengründen auf den integrierten Bragg-Spiegel verzichtet wird und ein sättigbarer Absorber ohne integrierten Bragg-Spiegel im Strahlengang des Laserresonators angeordnet wird, ist die sättigbare Absorption gering und die Sättigungsfluenz hoch, weil sich in einem modengekoppelten KurzpulsLaser kein stehendes Wellenfeld ausbildet, sondern statt dessen ein Puls umläuft. Ein einfacher sättigbarer Absorber ohne integrierten Bragg-Spiegel besitzt demzufolge nicht die geeigneten Parameter für ein effizientes Modenkoppeln von PulsLasern.

[0009] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen sättigbaren Absorberspiegel für die Modenkopplung von PulsLasern mit großen Wellenlängen anzugeben, der mit einem geringen Beschichtungsaufwand herstellbar ist und dessen Absorption auf den für den Betrieb des Lasers erforderlichen Wert eingestellt werden kann.

[0010] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch den Aufbau des sättigbaren Absorbers nach Patentanspruch 1 gelöst. Der erfindungsgemäße sättigbare Absorberspiegel besteht aus einem sättigbaren Absorberschichtsystem auf einem Halbleitersubstrat und einem hochreflektierenden Spiegel, wobei jeweils das sättigbare Absorberschichtsystem und der hochreflektierende Spiegel auf verschiedenen Trägersubstraten angeordnet sind und sich zwischen dem sättigbaren Absorberschichtsystem und dem hochreflektierenden Spiegel ein Luftspalt mit einer Dicke im Bereich von 1 μm bis 100 μm befindet und die Dicke des Luftspaltes mit einem mechanischen Abstandshalter verändert werden kann.

[0011] Die mit der Erfindung erreichten Vorteile des sättigbaren Absorberspiegels bestehen darin, dass erstens der hochreflektierende Spiegel aus einem dielektrischen Schichtsystem als Bragg-Spiegel mittels konventioneller Sputter- oder Aufdampfverfahren auch für große Wellenlängen kostengünstig herstellbar ist, zweitens infolge des geringen Abstandes zwischen hochreflektierendem Spiegel und Absorberschicht sich letztere im stehenden Wellenfeld des hochreflektierenden Spiegels befindet und drittens die sättigbare Absorption beziehungsweise die Sättigungsfluenz durch Veränderung der Dicke des Luftspaltes auf einen für den Betrieb des Pulsasers erforderlichen Wert eingestellt werden kann.

[0012] Der erfindungsgemäße sättigbare Absorberspiegel kann besonders zum Betrieb langwelliger modengekoppelter Pulsaser eingesetzt werden. Darüber hinaus ist auch der Einsatz als einstellbarer Modenkoppler für Pulsaser mit anderen Wellenlängen vorteilhaft.

[0013] Vorteilhaft ist entsprechend dem Unteranspruch 2 die beidseitige Entspiegelung des Halbleitersubstrats, auf dem das sättigbare Absorberschichtsystem angeordnet ist. Die Entspiegelung vermeidet Reflexionen auf beiden Substratseiten, wodurch das Substrat im stehenden Wellenfeld vor dem hochreflektierenden Spiegel ohne Beeinflussung dieses Feldes entlang der optischen Achse verschoben werden kann.

[0014] Eine zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung nach Unteranspruch 3 betrifft die mechanische Vorrichtung zur Veränderung der Dicke des Luftspaltes. Danach kann der Abstandshalter zur Veränderung der Dicke des Luftspaltes mit einem piezoelektrischen Stallelement realisiert werden, wodurch eine präzise Einstellung des Luftspaltes auf den erforderlichen Wert gewährleistet werden kann.

[0015] Entsprechend dem Unteranspruch 4 ist es zweckmäßig, den hochreflektierenden Spiegel aus einem Schichtsystem mit abwechselnd hoch- und niedrigbrechenden oxidischen optischen Schichten auf einem Glassubstrat zu realisieren. Mit oxidischen optischen Schichten können extrem verlustarme, hochreflektierende Spiegel beispielsweise mittels Sputterverfahren hergestellt werden. Die Verwendung von Glassubstraten ist besonders kostengünstig.

[0016] Eine einfache Möglichkeit der Realisierung des sättigbaren Absorberschichtsystems ist im Unteranspruch 5 angegeben. Dabei besteht das Absorberschichtsystem aus einem bei der Laserwellenlänge λ absorbierenden Quantum Well, das beidseitig von absorptionsfreien Halbleiterschichten umgeben ist. Die Nutzung eines Quantum Wells als absorbierende Schicht ist deshalb zweckmäßig, weil dieses

infolge einer gegenüber einer dicken Absorberschicht reduzierten elektronischen Zustandsdichte eine geringere Sättigungsfluenz besitzt und somit einen geringen Verlust optischer Energie bei der Sättigung gewährleistet.

[0017] Zur Erhöhung der sättigbaren Absorption kann entsprechend dem Unteranspruch 6 für das sättigbare Absorberschichtsystem anstelle eines einzelnen Quantum Wells eine Gruppe von mehreren bei der Laserwellenlänge λ absorbierenden Quantum Wells mit Barrieren aus absorptionsfreien Halbleiterschichten verwendet werden. Um sicherzustellen, dass sich die Quantum Wells alle am Ort einer bestimmten elektrischen Feldamplitude des stehenden Wellenfeldes vor dem Bragg-Spiegel befinden, muss die gesamte optische Dicke der Gruppe von Quantum Wells kleiner als $\lambda/4$ sein.

[0018] Gemäß dem Unteranspruch 7 kann zur Erzielung einer größeren sättigbaren Absorption das sättigbare Absorberschichtsystem aus mehreren bei der Laserwellenlänge λ absorbierenden Quantum Wells mit umgebenden absorptionsfreien Halbleiterschichten bestehen, wobei die Quantum Wells zu Gruppen mit einer optischen Dicke geringer als $\lambda/4$ zusammengefasst sind und der optische Abstand dieser Gruppen $\lambda/2$ beträgt. Bei einer derartigen Gruppierung der Quantum Wells ist gesichert, dass sie sich alle bei einer nahezu gleichen elektrischen Feldamplitude des stehenden Wellenfeldes vor dem Bragg-Spiegel befinden.

[0019] Der erfindungsgemäße sättigbare Absorberspiegel wird nachfolgend an Hand von zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

[0020] Fig. 1 den Aufbau eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels im Querschnitt,

[0021] Fig. 2 den Verlauf der elektrischen Feldamplitude entlang der optischen Achse des sättigbaren Absorberspiegels des ersten Ausführungsbeispiels mit einem Luftspalt der optischen Dicke einer viertel Wellenlänge,

[0022] Fig. 3 den Verlauf der elektrischen Feldamplitude entlang der optischen Achse des sättigbaren Absorberspiegels des ersten Ausführungsbeispiels mit einem Luftspalt der optischen Dicke einer halben Wellenlänge,

[0023] Fig. 4 die Abhängigkeit der Absorption des sättigbaren Absorberspiegels des ersten Ausführungsbeispiels von der Dicke des Luftspaltes,

[0024] Fig. 5 die Abhängigkeit der Reflexion des sättigbaren Absorberspiegels des ersten Ausführungsbeispiels von der Dicke des Luftspaltes,

rungsbeispiels von der Dicke des Luftspalts,

[0025] [Fig. 6](#) den Verlauf der elektrischen Feldamplitude entlang der optischen Achse des sättigbaren Absorberspiegels eines zweiten Ausführungsbeispiels mit einem Luftspalt der optischen Dicke einer viertel Wellenlänge und

[0026] [Fig. 7](#) die Abhängigkeit der Absorption des sättigbaren Absorberspiegels des zweiten Ausführungsbeispiels von der Dicke des Luftspalts.

[0027] In [Fig. 1](#) ist ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels unter Verwendung eines sättigbaren Absorberschichtsystems **1** auf einem GaAs-Halbleitersubstrat **2** sowie eines hochreflektierenden, dielektrischen Bragg-Spiegels **3** auf einem Glassubstrat **4** schematisch dargestellt. Der Laserpuls **5** mit einer Wellenlänge von 2 μm durchläuft zunächst ein Entspiegelungsschichtsystem **7** für das GaAs-Substrat **2** und erreicht dann das sättigbare Absorberschichtsystem **1**. Anschließend passiert er das Entspiegelungsschichtsystem **6** und eine Luftschicht **8** mit einer optischen Dicke von wenigen Laserwellenlängen, die durch einen piezoelektrischen Abstandshalter **9** sowie die Träger **10** und **11** zwischen dem Halbleitersubstrat **2** und dem Glassubstrat **4** bestimmt wird. Auf dem Glassubstrat **4** befindet sich der dielektrische Bragg-Spiegel **3** mit 12 Paaren abwechselnd niedrig- und hochbrechender Lambda-Viertel Schichten aus Siliziumdioxid beziehungsweise Tantalpentoxid, deren geometrische Dicken 347 nm beziehungsweise 250 nm betragen. Der Laserpuls **5** wird an diesem Bragg-Spiegel **3** reflektiert. Der vordere Teil des reflektierten Pulses interferiert mit dem hinteren Teil dieses Pulses und bildet ein stehendes Wellenfeld, das sich mit abnehmender Interferenzamplitude in das Halbleitersubstrat hinein erstreckt.

[0028] Die optische Dicke der Luftschicht **8** kann mit dem piezoelektrischen Abstandshalter **9** kontinuierlich zwischen einem geradzahligen und einem ungeradzahligen Vielfachen einer Lambda-Viertel Dicke eingestellt werden. Die Entspiegelungsschichtsysteme **6** und **7** bestehen jeweils aus einer 97,6 nm dicken Siliziumdioxidschicht auf dem GaAs und einer 143,5 nm Tantalpentoxidschicht.

[0029] Das Absorberschichtsystem **1** besteht aus einem 20 nm InGaAs Quantum Well **12**, welches in GaAs eingebettet ist. Der Indium-Gehalt des Quantum Wells **12** ist so bemessen, dass es bei der Laserwellenlänge von 2 μm absorbiert. Das Halbleitersubstrat **2** aus GaAs besitzt üblicherweise eine Dicke von etwa 400 μm . Da es beidseitig entspiegelt ist, treten keine durch die Substratdicke verursachten Interferenzen auf.

[0030] In [Fig. 2](#) ist der Verlauf der elektrischen Fel-

damplitude entlang der optischen Achse des sättigbaren Absorberspiegels des ersten Ausführungsbeispiels mit einem Luftspalt **8** der optischen Dicke einer viertel Wellenlänge dargestellt. Die optische Dicke des Halbleitersubstrats **2** ist dabei der Übersichtlichkeit wegen auf nur fünf viertel Wellenlängen beschränkt. Vor dem Bragg-Spiegel **3** bildet sich ein stehendes Wellenfeld aus. Das absorbierende Quantum Well **12** befindet sich gerade in einem Maximum des stehenden Wellenfeldes. Dadurch ergibt sich eine besonders starke Absorption, die etwa um den Faktor **4** größer ist als im Falle einer laufenden Welle.

[0031] In [Fig. 3](#) ist der Verlauf der elektrischen Feldamplitude entlang der optischen Achse des sättigbaren Absorberspiegels des ersten Ausführungsbeispiels mit einem Luftspalt **8** der optischen Dicke einer halben Wellenlänge dargestellt. Das absorbierende Quantum Well **12** befindet sich gerade in einem Minimum des stehenden Wellenfeldes. Dadurch ergibt sich eine besonders geringe Absorption nahe Null.

[0032] In [Fig. 4](#) ist die Abhängigkeit der Absorption des sättigbaren Absorberspiegels des ersten Ausführungsbeispiels von der Dicke des Luftspalts **8** bei einer geringen optischen Intensität, also ohne Sättigung, dargestellt. Die periodische Abhängigkeit von der Dicke des Luftspaltes **8** kommt dadurch zustande, dass sich die Position des Quantum Wells **12** gegenüber dem stehenden Wellenfeld vor dem hochreflektierenden Spiegel **3** zwischen den Maxima und Minima verschiebt. Die räumliche Ausdehnung des Laserpulses s entlang der optischen Achse wird durch seine Pulsdauer t nach folgender Beziehung bestimmt: $s = c \cdot t$. Dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit. Die Ausdehnung des stehenden Wellenfeldes ist deshalb auf einen Bereich von etwa $c \cdot t / 2$ beschränkt. Für einen Laserpuls mit der Pulsdauer von 1 ps ergibt sich dadurch eine Ausdehnung des stehenden Wellenfeldes in Luft von 150 μm . Um unter diesen Bedingungen die Abhängigkeit der Absorption des sättigbaren Absorberspiegels von der Dicke des Luftspaltes **8** im stehenden Wellenfeld effektiv nutzen zu können, soll die Dicke des Luftspaltes **8** nicht größer als etwa ein Zehntel der Ausdehnung des Wellenfeldes, also 15 μm sein. Für geringe Dicken des Luftspaltes **8** ist die Absorption eine periodische Funktion seiner Dicke.

[0033] In [Fig. 5](#) ist die Abhängigkeit der Reflexion des sättigbaren Absorberspiegels des ersten Ausführungsbeispiels von der Dicke des Luftspalts **8** bei einer geringen optischen Intensität, also ohne Sättigung, dargestellt. Die Reflexion R wird durch die Absorption A des Quantum Wells **12** und die Transmission T des hochreflektierenden Bragg-Spiegels **3** bestimmt. Es gilt $R = 100\% - T - A$. Die Transmission des Bragg-Spiegels mit den 12 Schichtpaaren beträgt 0,16%. Die periodische Abhängigkeit der Reflexion von der Dicke des Luftspaltes **8** ergibt sich aus

dem in Abb. 4 dargestellten Verlauf der Absorption.

[0034] Ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen sättigbaren Absorberspiegels unterscheidet sich vom ersten Ausführungsbeispiel lediglich im inneren Aufbau des sättigbaren Absorberschichtsystems **1**. Im zweiten Ausführungsbeispiel besteht das sättigbare Absorberschichtsystem **1** aus sechs bei der Laserwellenlänge $\lambda = 2 \mu\text{m}$ absorbierenden Quantum Wells aus InGaAs mit umgebenden absorptionsfreien Halbleiterschichten aus GaAs, wobei je drei Quantum Wells zu insgesamt zwei Gruppen **13** zusammengefasst sind, deren optischer Abstand $\lambda/2$ beträgt. Die Dicke der sechs Quantum Wells beträgt jeweils 15 nm. Die Dicke der beiden GaAs Barriereschichten zwischen den in einer Gruppe zusammengefassten Quantum Wells beträgt jeweils 10 nm.

[0035] In Fig. 6 ist der Verlauf der elektrischen Feldamplitude entlang der optischen Achse des sättigbaren Absorberspiegels des zweiten Ausführungsbeispiels mit einem Luftspalt **8** der optischen Dicke einer viertel Wellenlänge dargestellt. Die optische Dicke des Halbleitersubstrats **2** ist dabei der Übersichtlichkeit wegen auf nur fünf viertel Wellenlängen beschränkt. Vor dem Bragg-Spiegel **3** bildet sich ein stehendes Wellenfeld aus. Die beiden Gruppen **13** der absorbierenden Quantum Wells befinden sich in benachbarten Maxima des stehenden Wellenfeldes. Dadurch ergibt sich eine stärkere Absorption als im ersten Ausführungsbeispiel mit nur einem 20 nm breiten InGaAs Quantum Well **12**.

[0036] In Fig. 7 ist die Abhängigkeit der Absorption des sättigbaren Absorberspiegels des zweiten Ausführungsbeispiels von der Dicke des Luftspalts **8** bei einer geringen optischen Intensität, also ohne Sättigung, dargestellt. Die periodische Abhängigkeit von der Dicke des Luftspaltes **8** kommt dadurch zustande, dass sich die Position der zwei Gruppen **13** von jeweils drei Quantum Wells gegenüber dem stehenden Wellenfeld vor dem Bragg-Spiegel zwischen den Maxima und Minima der elektrischen Feldamplitude verschiebt. Die minimal Absorption ist in diesem Beispiel etwas größer als Null, weil sich nicht alle Quantum Wells gleichzeitig in den Minima der elektrischen Feldamplitude befinden können. Entsprechendes gilt auch für die Maxima der elektrischen Feldamplitude. Zur Erreichung eines großen Hubs zwischen minimaler und maximaler Absorption bei Veränderung der optischen Dicke der Luftschicht **8** ist es deshalb zweckmäßig, wenn die optische Dicke zusammengefasster Quantum Wells wesentlich kleiner als eine viertel Wellenlänge ist.

[0037] Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die beiden angegebenen Ausführungsformen, deren Gegenstand ein sättigbarer Absorberspiegel zur Modenkopplung von Pulslasern ist. So kann beispielsweise

das Absorberschichtsystem auch aus Quantum Dots oder aus einem Farbstoff bestehen, der hochreflektierende Spiegel kann ein Metallspiegel sein und der Abstandshalter kann mit einer Stellschraube betätigt werden.

Bezugszeichenliste

1	sättigbares Absorberschichtsystem
2	Halbleitersubstrat
3	hochreflektierender Spiegel
4	Glassubstrat
5	Laserpuls
6	Entspiegelungsschichtsystem
7	Entspiegelungsschichtsystem
8	Luftspalt
9	mechanischer Abstandshalter
10	Träger
11	Träger
12	Quantum Well
13	Gruppe von Quantum Wells

Patentansprüche

1. Sättigbarer Absorberspiegel zur Modenkopplung von Pulslasern, bestehend aus einem sättigbaren Absorberschichtsystem (**1**) auf einem Halbleitersubstrat (**2**) und einem hochreflektierenden Spiegel (**3**),

dadurch gekennzeichnet, dass

(a) jeweils das sättigbare Absorberschichtsystem (**1**) und der hochreflektierende Spiegel (**3**) auf verschiedenen Trägersubstraten angeordnet sind,

(b) sich zwischen dem sättigbaren Absorberschichtsystem (**1**) und dem hochreflektierenden Spiegel (**3**) ein Luftspalt (**8**) mit einer Dicke im Bereich von $1 \mu\text{m}$ bis $100 \mu\text{m}$ befindet

(c) und die Dicke des Luftspaltes (**8**) mit einem mechanischen Abstandshalter (**9**) verändert werden kann.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleitersubstrat (**2**) mit dem sättigbaren Absorberschichtsystem (**1**) auf beiden Seiten für die Laserwellenlänge entspiegelt ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstandshalter (**9**) zur Veränderung der Dicke des Luftspaltes (**8**) zwischen dem sättigbaren Absorberschichtsystem (**1**) und dem hochreflektierenden Spiegel (**3**) aus einem piezoelektrischen Stallelement besteht.

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der hochreflektierende Spiegel (**3**) aus einem Schichtsystem mit abwechselnd hoch- und niedrigbrechenden oxidischen optischen Schichten auf einem Glassubstrat besteht.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, dass das sättigbare Absorberschichtsystem (1) aus einem bei der Laserwellenlänge λ absorbierenden Quantum Well (12) besteht, das beidseitig von absorptionsfreien Halbleiterschichten umgeben ist.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das sättigbare Absorberschichtsystem (1) aus einer Gruppe (13) von bei der Laserwellenlänge λ absorbierenden Quantum Wells (12) mit umgebenden absorptionsfreien Halbleiterschichten besteht und eine gesamte optische Dicke von weniger als $\lambda/4$ besitzt.

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das sättigbare Absorberschichtsystem (1) aus mehreren Gruppen (13) von bei der Laserwellenlänge λ absorbierenden Quantum Wells mit umgebenden absorptionsfreien Halbleiterschichten besteht, wobei der optische Abstand dieser Gruppen (13) $\lambda/2$ beträgt.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

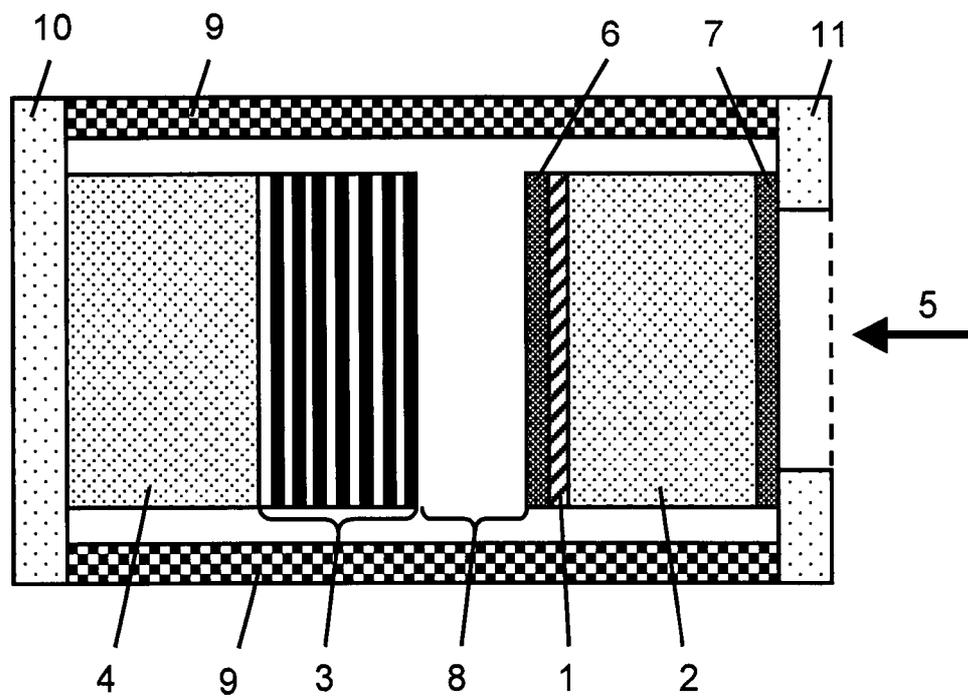


Fig. 2

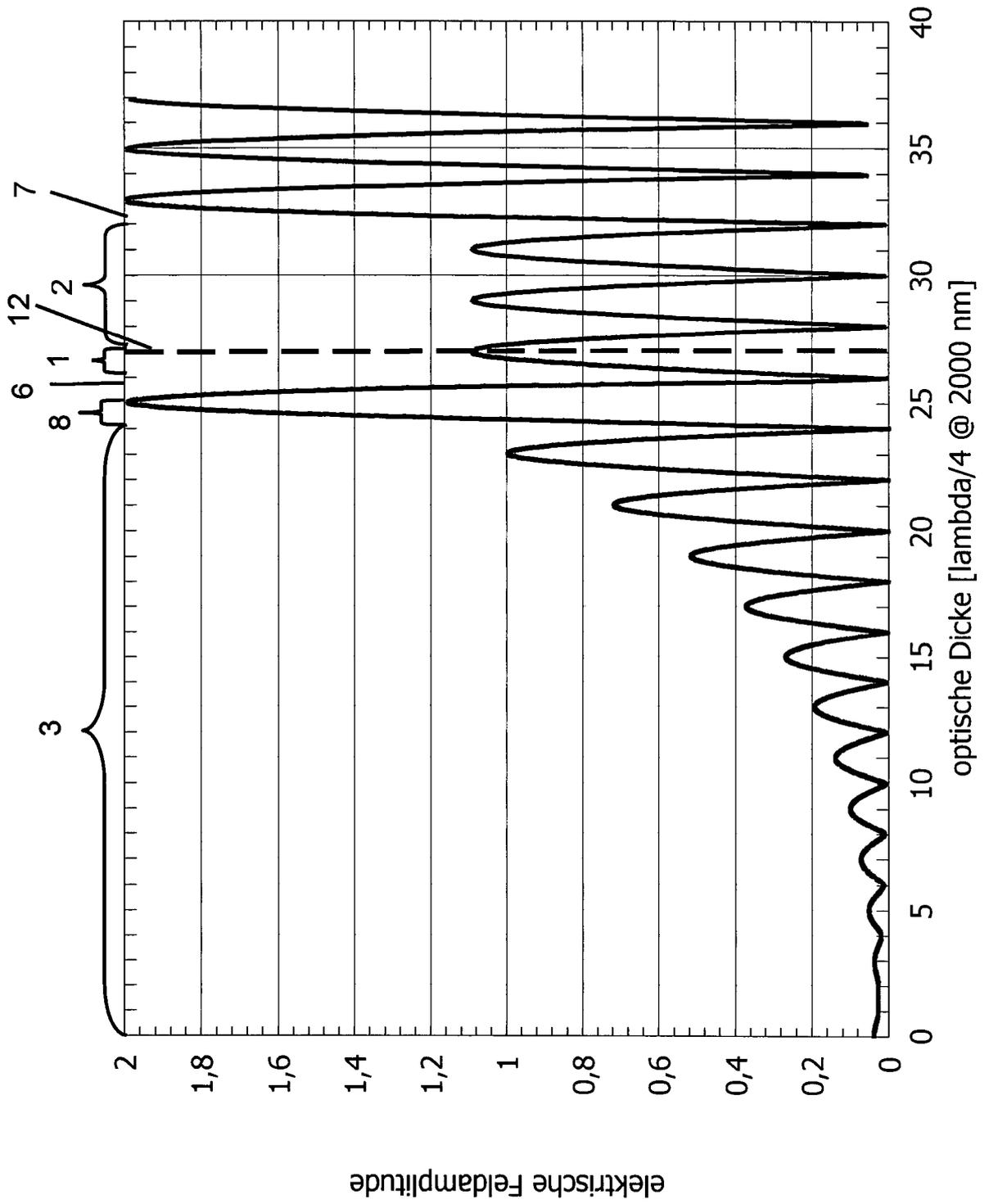


Fig. 3

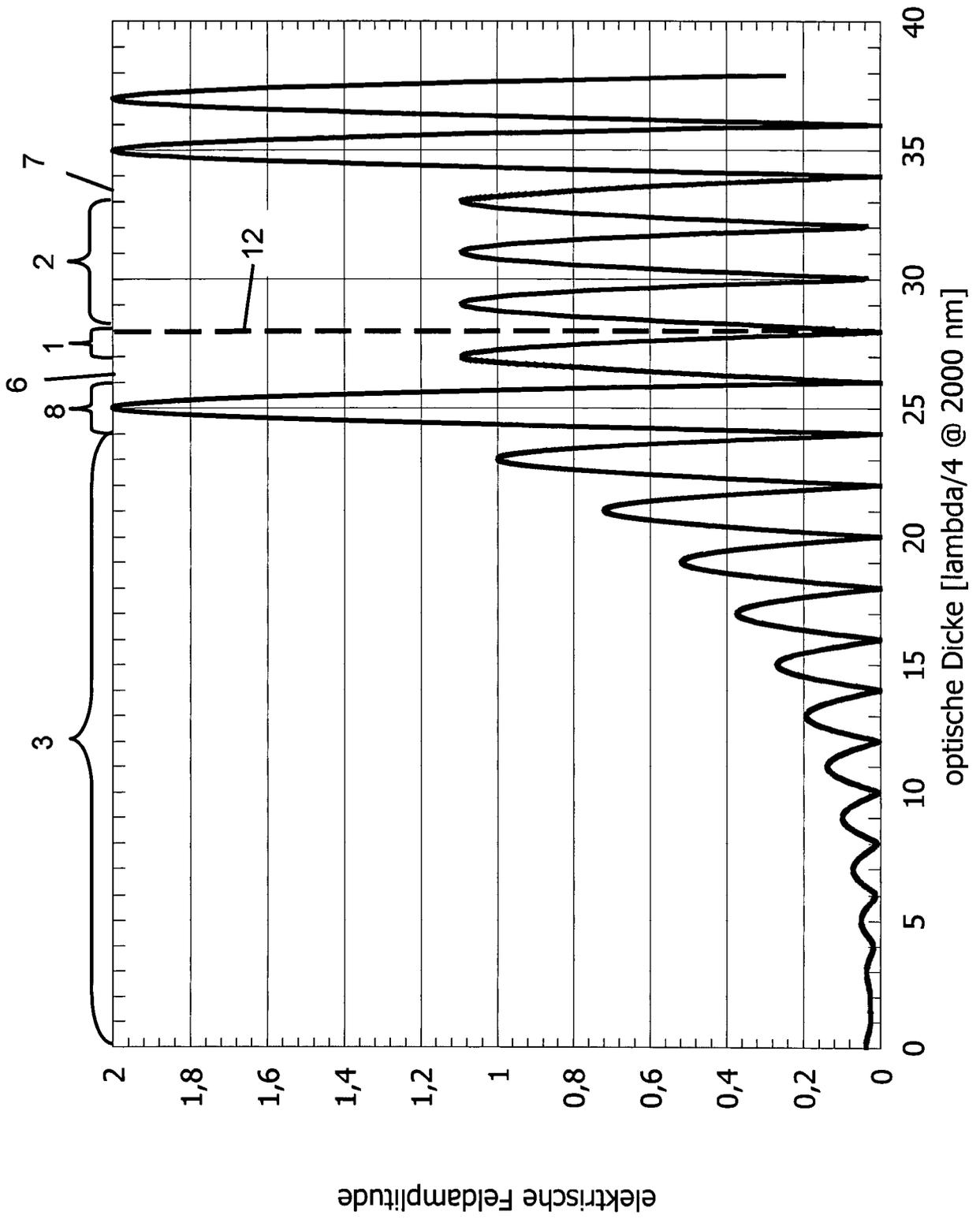


Fig. 4

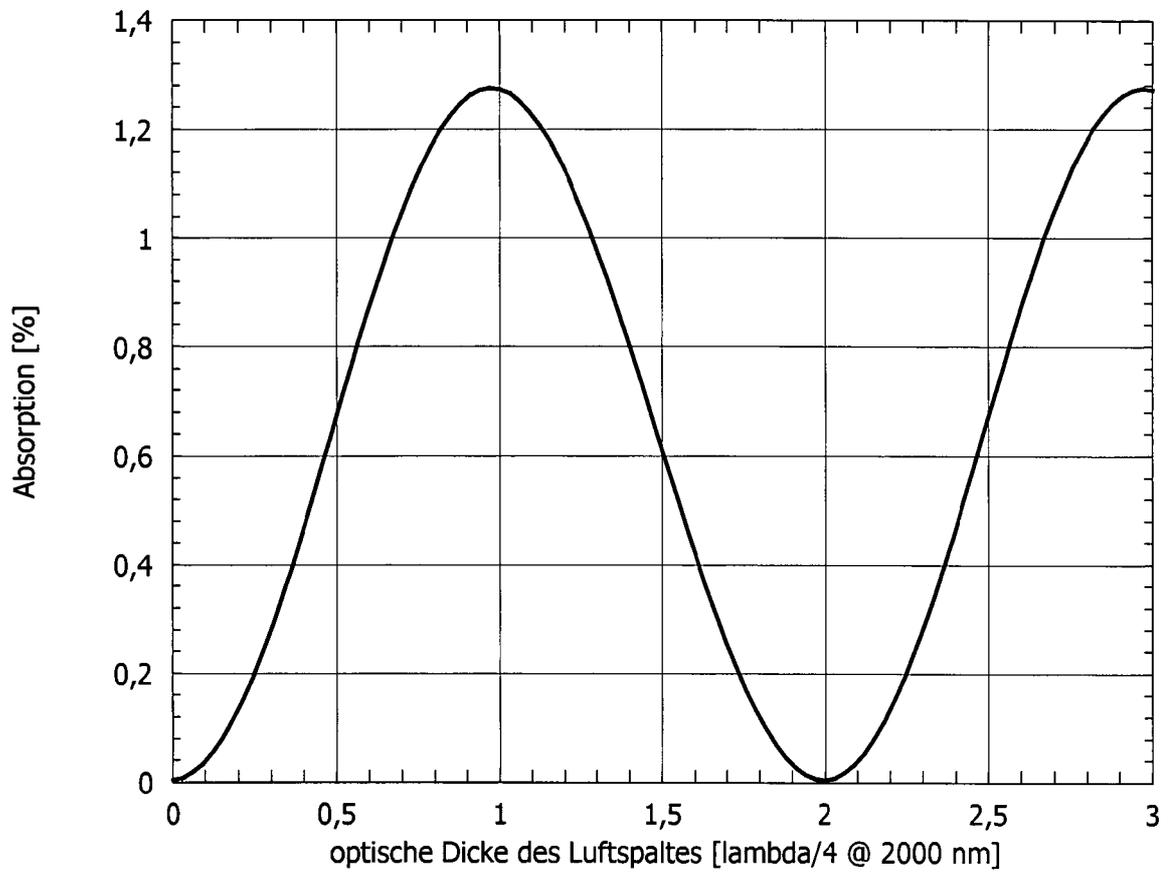
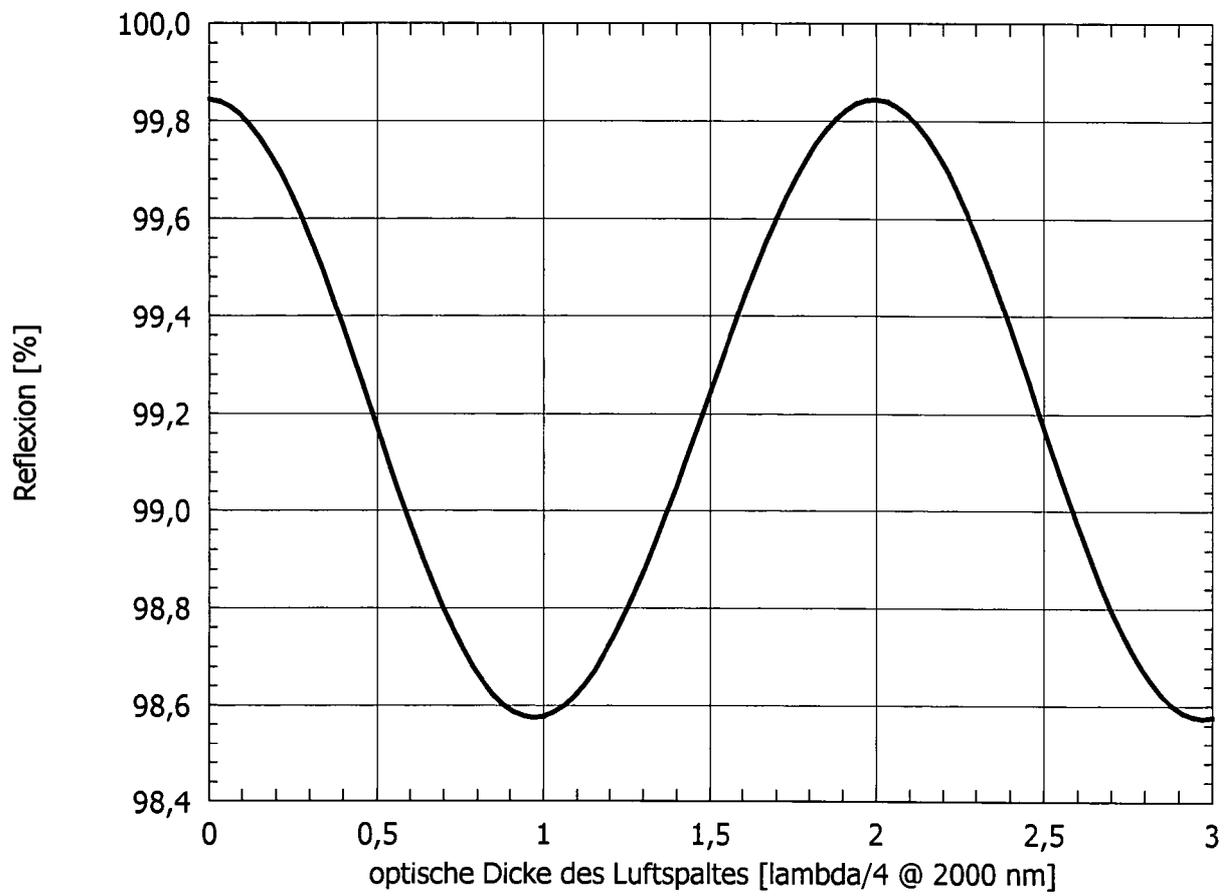


Fig. 5



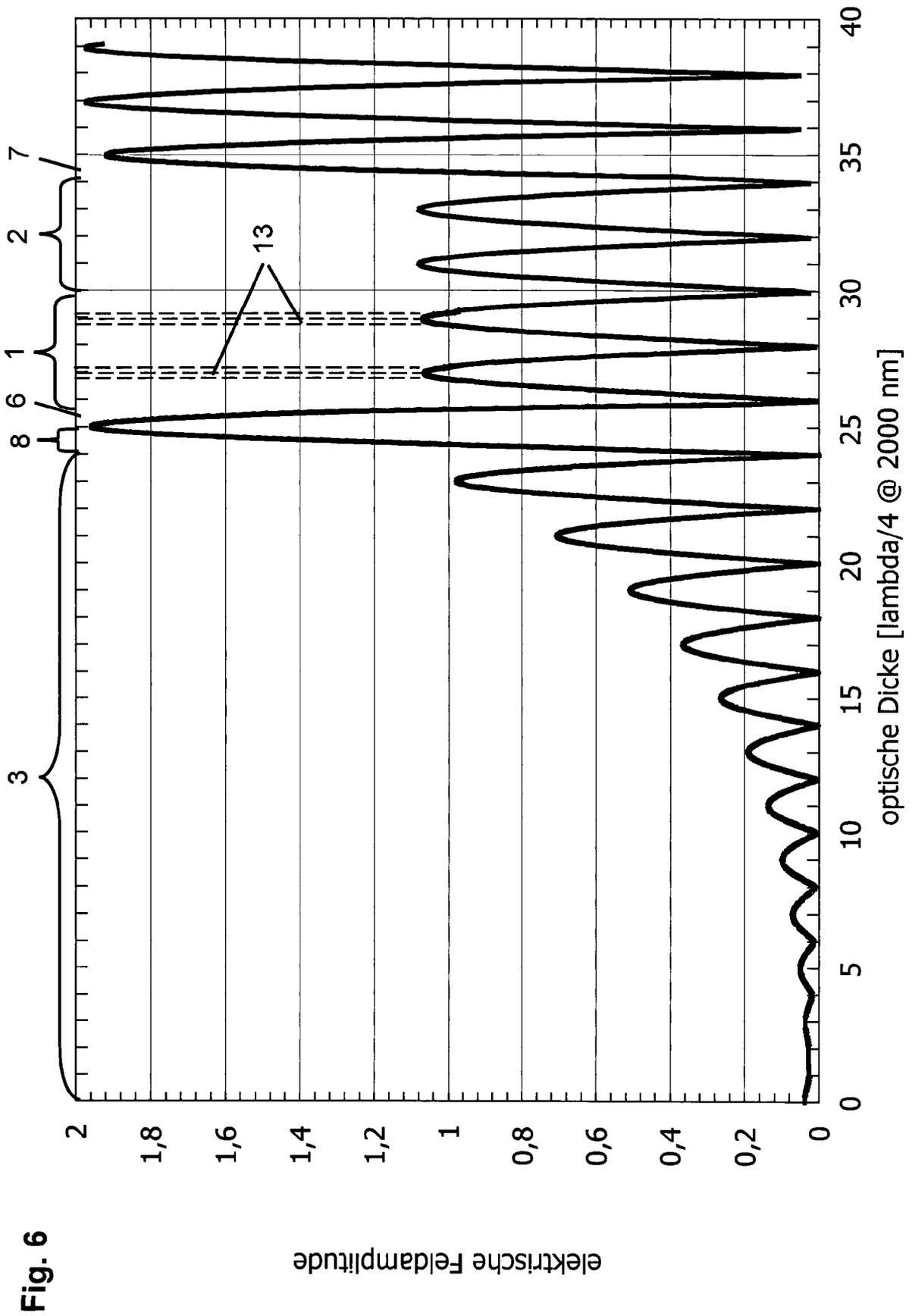


Fig. 6

Fig. 7

