

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen einer Lichtkopplungseinrichtung zwischen einer Glasfaser und einem Lichtwellenleiter hohen Brechungsindex mit einem sich in seiner Höhe verjüngenden Übergangsstück zwischen der Glasfaser und dem Lichtwellenleiter, wobei eine Wellenleiterschicht in einer der größten Höhe des Übergangsstückes entsprechenden Dicke auf ein Substrat aufgebracht und mit einer Polymerschicht abgedeckt wird, die vor einem Ätzen der mit der Polymerschicht abgedeckten Wellenleiterschicht entsprechend der Verjüngung des Übergangsstückes im Verhältnis der Ätzrate der Polymerschicht zu der der Wellenleiterschicht profiliert wird.

Da Lichtwellenleiter für Monomodern einen beschränkten, vom optischen Brechungsindex des Wellenleiterwerkstoffes abhängigen Querschnitt aufweisen, sind die erheblichen Querschnittsunterschiede zwischen Glasfasern und einem Lichtwellenleiter hohen Brechungsindex mit Hilfe von Lichtkopplungseinrichtungen zu überbrücken, die eine möglichst verlustarme Übertragung der jeweiligen Grundmoden zwischen der Glasfaser und dem Lichtwellenleiter gewährleisten sollen. Zu diesem Zweck ist es bekannt (WO 03/001255 A2), ein keilförmiges Übergangsstück aus einem Wellenleiterwerkstoff vorzusehen, das sich von der Stirnseite für den Glasfaserausanschluß mit einer an den Kerndurchmesser der Glasfaser angepaßten Höhe allmählich auf eine der Dicke des Lichtwellenleiters mit dem hohen Brechungsindex entsprechenden Höhe verjüngt. Bei üblichen Kerndurchmessern von Glasfasern zwischen 5 und 10 μm und einer Höhe des Lichtwellenleiters kleiner als 300 nm, beispielsweise für Lichtwellenleiter aus Silizium, ist die Herstellung der Übergangsstücke mit hohen Anforderungen an die eingesetzten Verfahren verknüpft, mit deren Hilfe das Übergangsstück entweder epitaktisch auf ein Substrat aufgebracht oder aus einer auf ein Substrat aufgetragenen Wellenleiterschicht durch eine Graustufenlithographie gefertigt wird.

Das epitaktische Aufbringen einer keilförmigen Wellenleiterschicht ist nicht nur aufgrund des zusätzlich erforderlichen Hochtemperaturprozesses aufwendig, sondern auch wegen des vergleichsweise geringen Temperaturfensters für die selektive Abscheidung des Wellenleiterwerkstoffes unter den geforderten Herstellungsgenauigkeiten schwierig handzuhaben. Dazu kommt, daß mit einer vermehrten Lichtstreuung bedingenden Oberflächenrauheit einer epitaktisch aufgewachsenen Schicht zu rechnen ist. Daran ändert sich im wesentlichen nichts, wenn zum Herstellen des Übergangsstückes zunächst ein Steg aus einer auf ein Substrat aufgetragenen Oxidlage durch ein herkömmliches Lithographieverfahren geformt und aufgrund von Biegespannungen einseitig vom Substrat abgehoben wird, um den sich zwischen dem Substrat und dem Steg ergebenden Keilspalt zur Herstellung des Übergangsstückes mit einem Wellenleiterwerkstoff epitaktisch aufzufüllen.

Bei der Graustufenlithographie wird ein auf eine Wellenleiterschicht aufgetragener, in der Mikroelektronik auch als Photoresist bezeichneter Photopolymerlack mit Hilfe einer Maske mit abgestufter Lichtdurchlässigkeit abgedeckt, so daß die unterschiedliche Bestrahlung des Photopolymerlackes nach einer entsprechenden Behandlung zu einem Verlauf der Dicke des Photopolymerlackes entsprechend der jeweiligen Beleuchtungsrate führt. Damit ist eine dreidimensionale Profilierung der Oberfläche des Photopolymerlackes möglich, was beim nachfolgenden Ätzvorgang eine Übertragung der Oberflächenform des Photopolymerlackes auf die Wellenleiterschicht im Verhältnis der Ätzrate des Photopolymerlackes zu der der Wellenleiterschicht erlaubt. Nachteilig bei einer solchen Graustufenlithographie ist einerseits die schwierige Abstufung der Beleuchtungsintensität zur Profilierung des Photopolymerlackes und andererseits die mit dem Ätzvorgang einhergehende Oberflächenrauheit, die aufgrund von Lichtstreuungen zu Leistungsverlusten führt.

Zum Herstellen keilförmiger Übergangsstücke zwischen einer Glasfaser und einem Lichtwellenleiter ist es darüber hinaus bekannt (US 2002/0012501 A1), das Übergangsstück durch ein Heißprägen einer polymeren Wellenleiterschicht herzustellen, indem die auf ein Substrat aufgetragene Wellenleiterschicht mit einem erwärmten Stempel bearbeitet wird, der eine der Form des Übergangsstückes entsprechende Hohlform bildet. Ein solches Heißprägen des Über-

gangsstückes ist allerdings auf einen Polymerwerkstoff beschränkt und scheidet für Wellenleiter mit hohem Brechungsindex, beispielsweise Silizium, aus.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen einer Lichtkoppelungseinrichtung zwischen einer Glasfaser und einem Lichtwellenleiter hohen Brechungsindex der eingangs geschilderten Art so auszugestalten, daß mit vergleichsweise einfachen Mitteln ein auch höheren Anforderungen genügendes Übergangsstück zwischen einer Glasfaser und einem Lichtwellenleiter hohen Brechungsindex gefertigt werden kann.

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, daß die Polymerschicht durch ein Prägen unter Wärmeeinwirkung oder durch ein Aushärten in einer Hohlform profiliert wird.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, daß nur dann mit Hilfe eines Ätzvorganges ein ausreichend glattes Oberflächenprofil für das Übergangsstück sichergestellt werden kann, wenn die die Wellenleiterschicht abdeckende Polymerschicht mit einer geringen Oberflächenrauigkeit profiliert werden kann. Dies gelingt in einfacher Weise dadurch, daß die Polymerschicht einem an sich bekannten Heißprägen unterworfen wird. Die thermoplastische Polymerschicht wird dabei durch die Wärmeeinwirkung erweicht und kann dann mit Hilfe eines Stempels in die angestrebte Form mit einer sich verjüngenden Höhe verformt werden. Eine weitere Möglichkeit der Profilierung der Polymerschicht ergibt sich, wenn eine Monomerschicht in einer entsprechenden Hohlform ausgehärtet und dadurch polymerisiert wird, was in der Mikroelektronik als Nanoimprint-Lithographie bekannt ist. In beiden Fällen ergibt sich im Vergleich zu der herkömmlichen Ätzung der Photopolymerschicht nicht nur eine erheblich verbesserte Formgenauigkeit, sondern auch eine deutlich verringerte Oberflächenrauheit, was vorteilhafte Voraussetzungen für die Herstellung des sich verjüngenden Übergangsstückes durch ein nachträgliches Ätzen schafft, ohne erhöhte Strahlungsverluste bei der Lichtübertragung zwischen Glasfaser und Lichtwellenleiter in Kauf nehmen zu müssen. Die Formgebung der Polymerschicht durch ein Heißprägen erlaubt außerdem den Einsatz von Polymerschichten, die nicht photoaktiv sind.

Die Verjüngung des Übergangsstückes auf die Breite des Lichtwellenleiters kann im Bereich der sich verjüngenden Höhe des Übergangsstückes vorgenommen werden. Besonders einfache Konstruktionsverhältnisse ergeben sich allerdings, wenn der nach dem Ätzvorgang verjüngte, in seiner Breite an den Kerndurchmesser der Glasfaser und in seiner Höhe an die Dicke des Lichtwellenleiters angepaßte Abschnitt des Übergangsstückes durch ein Lithographieverfahren mit gleichmäßigem Ätzabtrag bezüglich seiner Breite auf die Breite des Lichtwellenleiters verjüngt wird. In diesem Fall kann zur Formgebung des bereits auf die Dicke des Lichtwellenleiters reduzierten Abschnittes des Übergangsstückes ein bewährtes Lithographieverfahren mit gleichmäßigem Ätzabtrag eingesetzt werden, mit dessen Hilfe die für die Verjüngung der Breite dieses Abschnittes zu entfernenden Randbereiche weggeätzt werden. Die hierfür zum Einsatz kommende Photopolymerschicht kann mittels einer Maske genau bearbeitet werden, weil ja im Gegensatz zu einer Graustufenlithographie keine Höhenprofilierung gefordert wird.

Das Übergangsstück braucht sich jedoch nicht auf die Breite des Lichtwellenleiters zu verjüngen. Zu diesem Zweck kann das nach dem Ätzvorgang verjüngte Übergangsstück vom Substrat abgetrennt und unter Zwischenlage einer dielektrischen Schicht mit einem Anschlußabschnitt einer Wellenleiterschicht verbunden werden, die vorher in einer der Höhe des Lichtwellenleiters entsprechenden Dicke auf ein Substrat aufgebracht und im Anschluß an den in seiner Breite an den Kerndurchmesser der Glasfaser angepaßten Anschlußabschnitt durch ein Lithographieverfahren mit einem gleichmäßigen Ätzabtrag auf die Breite des Lichtwellenleiters verjüngt wurde. Über die dielektrische Schicht ist eine Einkopplung des Lichtes vom Übergangsstück auf die hinsichtlich ihrer Breite profilierte Wellenleiterschicht und umgekehrt von dieser Wellenleiterschicht auf das Übergangsstück möglich, so daß das Übergangsstück gesondert gefertigt werden kann, was besondere Vorteile hinsichtlich der Herstellung optischer Schaltungen mit sich bringt, weil die für die Anschlüsse von Glasfasern erforderlichen Übergangsstücke nicht zusammen mit den optischen Schaltungen hergestellt werden müssen.

Anhand der Zeichnung wird das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen einer Lichtkopplungseinrichtung zwischen einer Glasfaser und einem Lichtwellenleiter hohen Brechungsindex näher erläutert. Es zeigen

- 5 Fig. 1 eine Lichtkopplungseinrichtung zwischen einer Glasfaser und einem Lichtwellenleiter hohen Brechungsindex schematisch in einem Längsschnitt,
 Fig. 2 diese Lichtkopplungseinrichtung in einer Draufsicht,
 Fig. 3 eine der Fig. 1 entsprechende Darstellung einer Konstruktionsvariante einer Lichtkopplungseinrichtung,
 10 Fig. 4 die Lichtkopplungseinrichtung nach der Fig. 3 in einer Draufsicht,
 Fig. 5 ein Substrat mit einer durch eine Polymerschicht abgedeckten Wellenleiterschicht zur Herstellung einer Lichtkopplungseinrichtung nach den Fig. 1 und 2 in einem Längsschnitt und
 Fig. 6 eine der Fig. 5 entsprechende Darstellung, jedoch mit einem durch ein Prägen profilierten Polymerschicht.
 15

Wie dem Ausführungsbeispiel nach den Fig. 1 und 2 entnommen werden kann, ist zum Einkoppeln von Lichtwellen aus einer nur im Kernbereich dargestellten Glasfaser 1 in einen Lichtwellenleiter 2 mit hohem Brechungsindex bzw. zum Auskoppeln der Lichtwellen aus dem Lichtwellenleiter 2 in eine Glasfaser 1 eine Lichtkopplungseinrichtung 3 erforderlich, um einen Lichtübergang zwischen den bei der Übertragung von Grundmoden vom Brechungsindex abhängigen Querschnitten der Glasfaser 1 und des Lichtwellenleiters 2 mit vergleichsweise geringen Verlusten zu erreichen. Die Lichtkopplungseinrichtung 3 umfaßt ein Übergangsstück 4 aus dem Wellenleiterwerkstoff mit hohem Brechungsindex, beispielsweise Silizium. Dieses Übergangsstück 4, das vorzugsweise über eine Antireflexionsschicht 5 an die ohne Mantel dargestellte Glasfaser 1 angeschlossen ist, verjüngt sich zunächst von einer dem Kerndurchmesser der Glasfaser 1 entsprechenden Höhe von 5 bis 10 μm allmählich auf eine Höhe von weniger als 300 nm, die der Dicke des Lichtwellenleiters 2 entspricht. Um eine entsprechende Anpassung an die der Dicke entsprechende Breite des Lichtwellenleiters 2 zu erhalten, verjüngt sich der hinsichtlich seiner Höhe an die Dicke des Wellenleiters angepaßte Abschnitt 6 des Übergangsstückes 4 von der dem Kerndurchmesser der Glasfaser 1 entsprechenden Breite auf die Breite des Lichtwellenleiters 2, wie dies der Fig. 2 entnommen werden kann. Aufgrund dieses Aufbaus der Lichtkopplungseinrichtung 3 kann eine verlustarme Übertragung der Lichtwellen zwischen der Glasfaser 1 und dem Lichtwellenleiter 2 unter der Voraussetzung sichergestellt werden, daß das Übergangsstück 4 optische Eigenschaften sicherstellt, die nicht durch die Oberflächenstrukturen des Übergangsstückes 4 beeinträchtigt werden. Die Lichtkopplungseinrichtung 3 selbst ist gemäß dem Ausführungsbeispiel nach den Fig. 1 und 2 auf einem Substrat 7 vorgesehen, das eine optische Schaltung darstellen kann und beispielsweise aus einem Grundkörper 8 aus Silizium mit einer Auflage 9 aus Siliziumdioxid aufgebaut ist.
 20
 25
 30
 35
 40

Zum Unterschied zu der Ausführungsform nach den Fig. 1 und 2 verjüngt sich das Übergangsstück 4 gemäß den Fig. 3 und 4 lediglich der Höhe nach auf die Dicke des Lichtwellenleiters 2, nicht aber hinsichtlich der Breite, so daß Lichtwellen nicht unmittelbar in den Lichtwellenleiter 2 eingekoppelt werden können. Der Lichtwellenleiter 2 ist auf der Lage 9 aus Siliziumdioxid eines Substrates 10 aufgebracht und läuft in einem Anschlußabschnitt 11 aus, der eine dem Kerndurchmesser der Glasfaser 1 entsprechende Breite aufweist, von der er sich in einem Übergangabschnitt 12 auf die Breite des Wellenleiters 2 verjüngt. Der Anschlußabschnitt 11 mit dem Übergangabschnitt 12 kann in herkömmlicher Weise mit Hilfe eines binären Lithographieverfahrens hergestellt werden, bei dem zunächst auf die Lage 9 des Substrates 10 eine Wellenleiterschicht in einer dem Wellenleiter 2 entsprechenden Dicke aufgebracht wird, die mit einer Photopolymerschicht abgedeckt wird, die im Bereich des Anschlußabschnittes 11 und des Übergangabschnittes 12 durch eine Maske abgedeckt wird, so daß die Bestrahlung der Photopolymerschicht nur außerhalb der Maske mit der Wirkung erfolgt, daß die Teile der Photopolymerschicht außerhalb der Maske nach einer entsprechenden Behandlung der bestrahlten Bereiche der Photopolymerschicht entfernt werden können. Mit einem nachfolgenden Ätzvor-
 45
 50
 55

gang kann die Wellenleiterschicht außerhalb der übriggebliebenen Photopolymerschicht abgetragen werden, was zu dem gewünschten Breitenverlauf des Anschlußabschnittes 11 und des Übergangsabschnittes 12 führt. Nach dem Abtragen der restlichen Photopolymerschicht wird auf den Anschlußabschnitt 11 eine dünne dielektrische Schicht 13, vorzugsweise aus Siliziumoxid, aufgetragen, bevor das Übergangsstück 4 aufgebracht wird. Durch die dielektrische Zwischenschicht 13 mit einem im Vergleich zum Lichtwellenleiter 2 niedrigen Brechungsindex wird die Lichtkopplung zwischen dem Übergangsstück 4 und dem Anschlußabschnitt 11 des Lichtwellenleiters 2 sichergestellt.

Da sich das Übergangsstück 4 in seiner Höhe verjüngt, kann zu seiner Herstellung kein herkömmliches Lithographieverfahren eingesetzt werden. Es käme hierfür zwar eine Graustufenlithographie in Frage, doch sind mit der Anwendung einer solchen Graustufenlithographie erhebliche Nachteile verbunden. Um diese Nachteile zu vermeiden, wird gemäß der Fig. 5 zunächst auf das Substrat 7 eine Wellenleiterschicht 14 in einer der größten Höhe des späteren Übergangsstückes 4 entsprechende Dicke aufgebracht und mit einer Polymerschicht 15 abgedeckt. Zur Profilierung wird die Polymerschicht 15 unter einer Wärmeeinwirkung mit Hilfe eines Stempels geprägt, der die spätere Oberflächenform des Übergangsstückes 4 in Abhängigkeit vom Verhältnis der Ätzrate der Polymerschicht 15 zu der der Wellenleiterschicht 14 bestimmt. Die für den nachfolgenden Ätzvorgang erforderliche Profilform der Polymerschicht 15 ist in der Fig. 5 durch die strichpunktierte Linie 16 angedeutet. Nach dem Prägevorgang durch den Stempel ergibt sich die Polymerschicht 15 in einer Profilform entsprechend der Fig. 6. Anstelle des Prägevorganges kann die profilierte Form der Polymerschicht 15 auch durch ein Aushärten in einer entsprechenden Hohlform erreicht werden, wobei als Ausgangswerkstoff für die Polymerschicht 15 beispielsweise ein durch UV-Licht polymerisierbares Monomer dienen kann. Unabhängig davon, ob die endgültige Form der Polymerschicht 15 durch ein Prägen eines erweichten Polymers oder durch ein Aushärten eines flüssigen Monomers erreicht wird, wird die für den anschließenden Ätzvorgang maßgebende Oberflächenprofilierung durch eine geometrische Form erzwungen, was vorteilhafte Voraussetzungen für die Formgenauigkeit und die Oberflächenqualität der profilierten Polymerschicht 15 mit sich bringt. Im Falle des Aushärtens eines flüssigen Monomers wird der Aushärtevorgang vorzugsweise unter einem Vakuum durchgeführt, um Kavitäten im flüssigen Monomer zu vermeiden. Im nachfolgenden Ätzvorgang wird die Wellenleiterschicht 14 entsprechend der strichpunktierten Linie 17 im Verhältnis der Ätzraten der Polymerschicht 15 und der der Wellenleiterschicht 14 abgetragen, so daß das Übergangsstück 4 trotz des Ätzvorganges mit einer höheren Genauigkeit und einer verbesserten Oberflächenqualität hergestellt werden kann.

Das Übergangsstück 4 der Lichtkopplungseinrichtung 3 kann in der anhand der Fig. 5 und 6 beschriebenen Weise unmittelbar auf einem Substrat zur Darstellung einer optischen Schaltung hergestellt werden. Es ist aber auch möglich, das Übergangsstück 4 vom Substrat 7 abzutrennen und als gesondertes Bauteil auf ein Substrat 10 zur Darstellung einer optischen Schaltung aufzutragen, wobei die Verbindung mit der Glasfaser 1 vor dem Abtrennen vom Substrat 7 oder nach dem Aufbringen auf das neue Substrat 10 vorgenommen werden kann. Im Falle des Ausführungsbeispiels nach den Fig. 3 und 4 ergibt sich insbesondere der Vorteil, daß aufgrund der Kopplung über den Anschlußabschnitt 11 zur nachträglichen Verbindung des Übergangsstückes 4 mit dem Lichtwellenleiter 2 über die Zwischenschicht 13 keine aufwendige Ausrichtarbeit erforderlich wird, wie sie bei einer gesonderten Fertigung des Übergangsstückes 4 nach der Ausführungsform der Fig. 1 und 2 gegenüber dem Lichtwellenleiter 2 anfällt.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Herstellen einer Lichtkopplungseinrichtung zwischen einer Glasfaser und einem Lichtwellenleiter höheren Brechungsindex mit einem sich in seiner Höhe verjüngenden Übergangsstück zwischen der Glasfaser und dem Lichtwellenleiter, wobei eine Wellenleiterschicht in einer der größten Höhe des Übergangsstückes entsprechenden Dicke auf

ein Substrat aufgebracht und mit einer Polymerschicht abgedeckt wird, die vor einem Ätzen der mit der Polymerschicht abgedeckten Wellenleiterschicht entsprechend der Verjüngung des Übergangsstückes im Verhältnis der Ätzrate der Polymerschicht zu der der Wellenleiterschicht profiliert wird, *dadurch gekennzeichnet*, daß die Polymerschicht (15) durch ein Prägen unter Wärmeeinwirkung oder durch ein Aushärten in einer Hohlform profiliert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, daß der nach dem Ätzvorgang verjüngte, in seiner Breite an den Kerndurchmesser der Glasfaser (1) und in seiner Höhe an die Dicke des Lichtwellenleiters (2) angepaßte Abschnitt (6) des Übergangsstückes (4) durch ein Lithographieverfahren mit einem gleichmäßigen Ätzabtrag bezüglich seiner Breite auf die Breite des Lichtwellenleiters (2) verjüngt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, daß das nach dem Ätzvorgang verjüngte Übergangsstück (4) vom Substrat (7) abgetrennt und unter Zwischenlage einer dielektrischen Schicht (13) mit einem Anschlußabschnitt (11) einer Wellenleiterschicht verbunden wird, die vorher in einer der Höhe des Lichtwellenleiters (2) entsprechenden Dicke auf ein Substrat (10) aufgebracht und im Anschluß an den in seiner Breite an den Kerndurchmesser der Glasfaser (1) angepaßten Anschlußabschnitt (11) durch ein Lithographieverfahren mit einem gleichmäßigen Ätzabtrag auf die Breite des Lichtwellenleiters (2) verjüngt wurde.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen

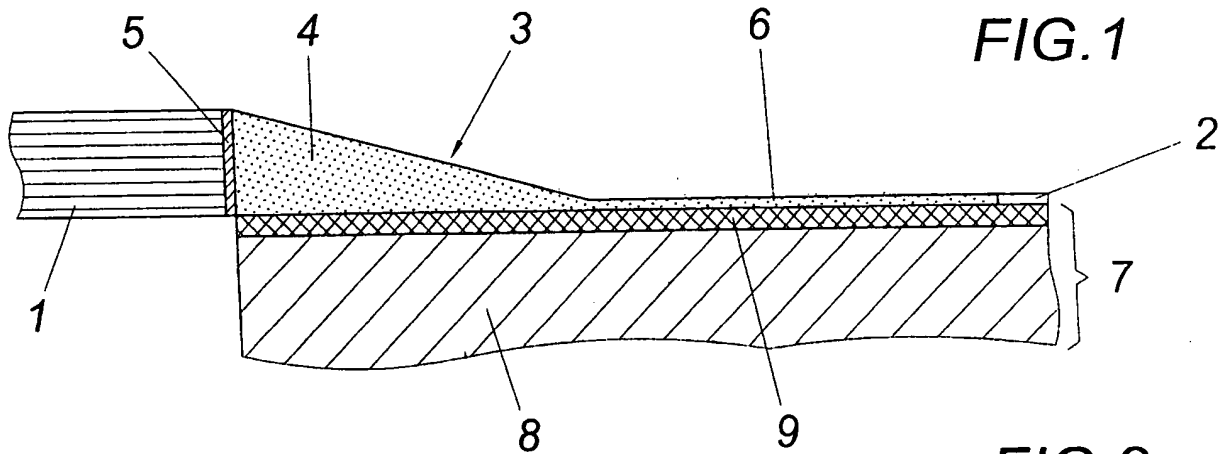


FIG. 1

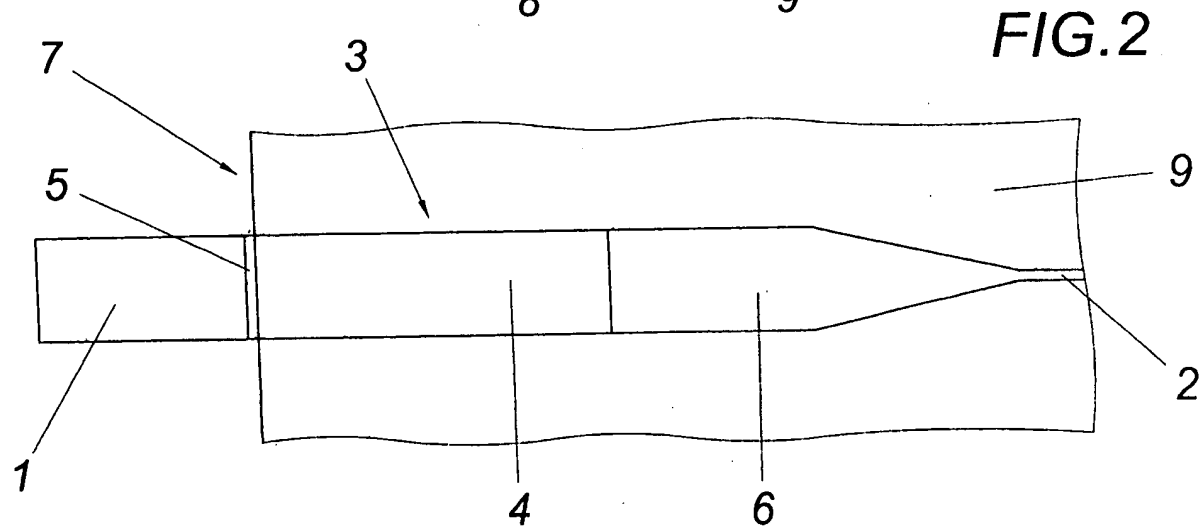


FIG. 2

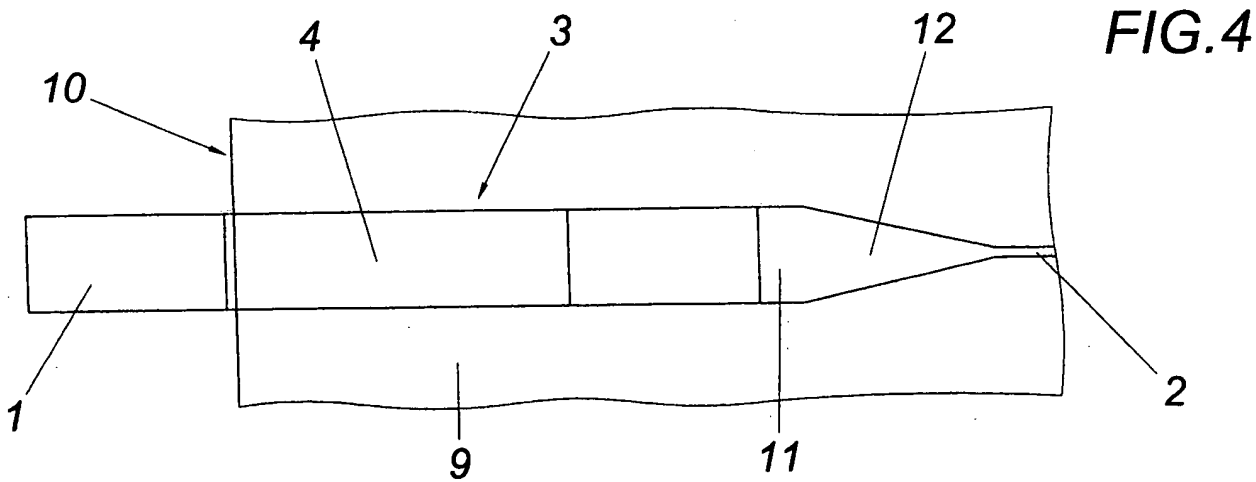
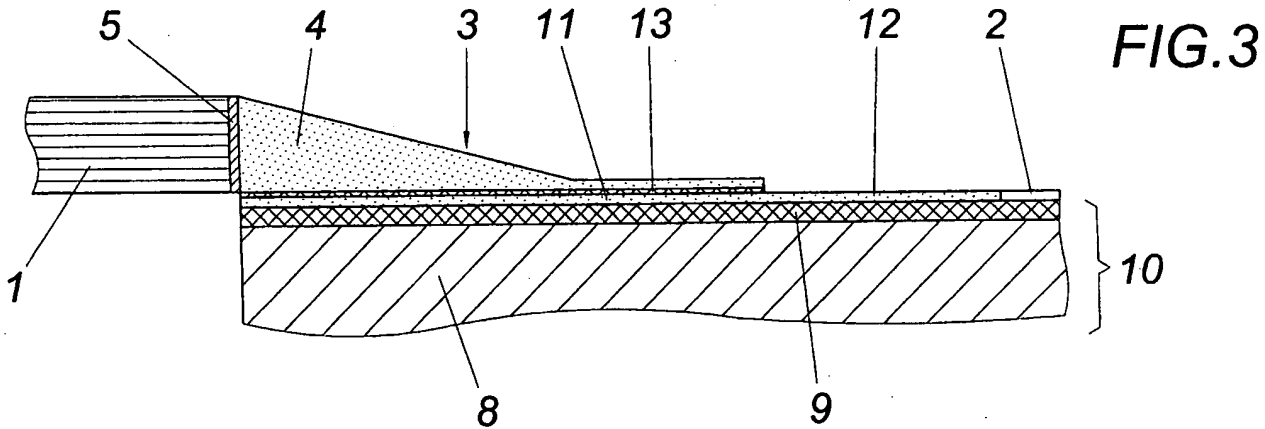


Blatt: 2

österreichisches
patentamt

AT 500 801 B1 2006-11-15

Int. Cl.⁸: G02B 6/136 (2006.01)
G02B 06/30 (2006.01)
G02B 06/122 (2006.01)



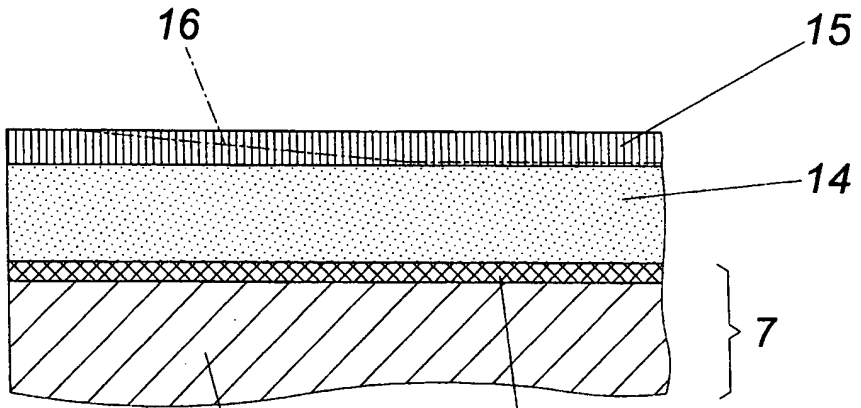


FIG.5

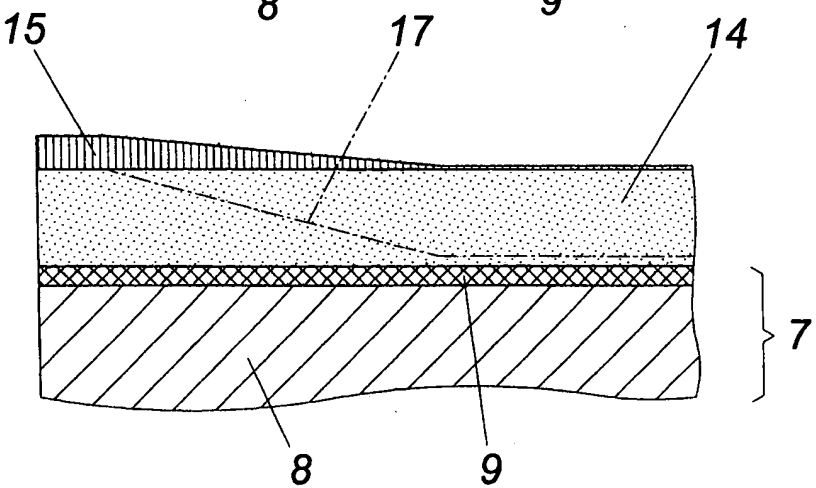


FIG.6