



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 48 129 B4** 2007.05.16

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 48 129.9**
(22) Anmeldetag: **28.09.2000**
(43) Offenlegungstag: **25.04.2002**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01M 11/02** (2006.01)
G01N 21/94 (2006.01)
G02B 21/00 (2006.01)
G01N 13/14 (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:
**OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93049
Regensburg, DE**

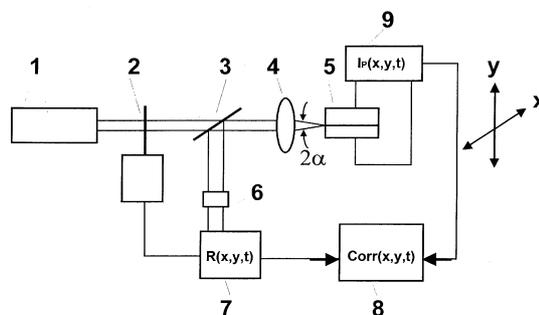
(74) Vertreter:
**Epping Hermann Fischer,
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80339 München**

(72) Erfinder:
**Grunwald, Rüdiger, Dr., 13187 Berlin, DE; Nerreter,
Stefan, 15754 Blossin, DE; Bärwolff, Artur, Dr.,
12623 Berlin, DE; Tomm, Jens Wolfgang, Dr.,
14532 Kleinmachnow, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 196 48 659 A1
DE 196 36 229 A1
DD 2 95 521 A5
EP 1 12 401 B1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anordnung zur Detektion von Degradationsprozessen an Halbleiterbauelementen wie Laserdioden**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Detektion von Degradationsprozessen an Halbleiterbauelementen (5), mit hoher Orts- und Signalauflösung, bei dem die Oberfläche des Bauelementes mittels einer fokussierten Strahlungsquelle bestrahlt wird und das orts aufgelöste Reflexionsvermögen der Oberfläche zur Verwendung als Kriterium des Degradationszustandes des Bauelementes bestimmt wird, wobei zur Positionierung eines Strahlungsflecks auf der Oberfläche der von der Strahlungsquelle (1) induzierte Photostrom im Halbleitermaterial verwendet und die von der Oberfläche reflektierte Strahlung auf einen mit einem Verstärker (7) verbundenen Meßdetektor geführt wird und wobei die aufgenommenen Meßdaten des Verstärkers (7) und eines Photostrommeßgerätes (9) derart korreliert werden, daß nur Reflexionssignale ausgewertet werden, die einem maximalen Photostrom entsprechen, und daß über geeignete mathematische Prozeduren eine Bewertung der Korrelation der Datensätze von Photostrom und Reflexionsvermögen vorgenommen wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Detektion von Degradationsprozessen an Halbleiterbauelementen wie Laserdioden mit hoher Orts- und Signalauflösung gemäß den Ansprüchen 1 und 15.

[0002] Lichtemittierende Halbleiterbauelemente, insbesondere Hochleistungslaserdioden, besitzen zunehmende Bedeutung für industrielle Anwendungen wie beispielsweise Materialbearbeitung, Biomedizin und Kommunikation. Für die Optimierung von Fertigungs- und Systemparametern müssen derartige Komponenten hinsichtlich Lebensdauer und Langzeitverhalten charakterisiert werden.

[0003] Da bei Hochleistungslaserdioden die als Laserspiegel fungierenden Facetten im Betrieb besonderen thermischen Belastungen ausgesetzt sind, kann davon ausgegangen werden, daß die Lebensdauer der Dioden zumindest teilweise vom Zustand der Verspiegelungsschichten abhängig ist und somit Veränderungen der Schichten die Lebensdauer limitieren.

[0004] Die bekannten optischen Meßverfahren zur ortsaufgelösten Erfassung von Degradationen basieren auf der Erzeugung eines Photostromes mittels eines fokussierten Lichtstrahls bzw. der Bestimmung der Facettentemperatur (DE 196 36 229 A1; C.J.R. Sheppard: "Scanning optical microscopy of semiconductor materials and devices", in "Scanning Microscopy", Vol. 3, No. 1, Pages 15-24, 1989).

[0005] In der DD 297 521 A5 und der EP 0 112 401 B1 ist jeweils ein Verfahren zur Reflexions-Nahfeld-Mikroskopie beschrieben, bei dem eine hinsichtlich ihres Reflexionsvermögens zu vermessende Fläche durch eine optische Sonde abgetastet wird.

[0006] In der DE 196 48 659 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung von mikroskopischen Degradationerscheinungen in Halbleiterlasern angegeben, bei dem die Nahfeld-Photostrom-Spektroskopie eingesetzt wird.

[0007] Da eine Modifikation der Verspiegelungsschicht sich auch in einer Änderung der Fresnel-Reflexion der Facette widerspiegeln muß, kann die Bestimmung des Reflexionsvermögens der aktiven Zone der Laserdiodenfacette zur Analyse von Degradationsprozessen genutzt werden. Dazu ist eine Bestimmung des Reflexionsvermögens mit einer Ortsauflösung typischerweise $< 2 \mu\text{m}$ nötig. Ferner müssen bei der Positionierung des Lichtflecks auf der Facette Abweichungen vom ideal linearen Verlauf des Schichtensystems berücksichtigt werden.

[0008] Bekannt ist die ortsaufgelöste Messung der

Fresnel- Reflexion zur Charakterisierung von optischen Bauelementen. Die Abtastung mit fokussiertem Licht wird in kommerziellen Geräten zur Aufnahme von Gradientenindex- profilen von GRIN-Linsen und Wellenleitern eingesetzt (A. Girard: "Reliable, accurate and costeffective optical fiber characterisation", TNOTE04.1AN, Exfo Canada, S. 1-4; US 4,494,069 A). Die Verwendung von Immersionsflüssigkeiten erlaubt es, Unterschiede des Reflexionsvermögens von $< 0,0001$ zu detektieren.

[0009] Bei den bekannten Verfahren auf der Basis von fokussiertem Licht gehen infolge der Winkelverteilung des Fokus Meßfehler in das integrierte reflektierte Signal ein. Diese hängen außerdem vom Polarisationszustand der Lichtquelle ab. Handelt es sich bei den zu vermessenden Proben um Mehrschichtsysteme, dann kommen Mehrfachinterferenzen hinzu, die berücksichtigt werden müssen.

[0010] Die Nutzung aktiver Detektion schwacher Signale mit Lasern oder optischen Verstärkern ist ebenfalls bekannt (R. Gabet et al.: „Regimes of amplification of a laser detector“, Conference on Lasers and Electro-Optics Europe 2000, Conference Digest, S. 370).

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Verfahren und eine Anordnung zu entwickeln, mit denen die beschriebenen Nachteile des Standes der Technik vermieden werden und mit denen eine wesentlich verbesserte Degradationsbestimmung bei Halbleiterbauelementen wie Laserdioden bei gleichzeitig verhältnismäßig geringem apparativen Aufwand gewährleistet ist.

[0012] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Anspruches 1 und durch eine Anordnung gemäß den Merkmalen des Anspruches 15 gelöst.

[0013] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Detektion von Degradationsprozessen an Halbleiterbauelementen wie Laserdioden mit hoher Orts- und Signalauflösung durch eine Bestrahlung der Oberfläche des Bauelementes mit einer fokussierbaren Strahlungsquelle wie Laserstrahl und Bestimmung des ortsaufgelösten Reflexionsvermögens der Oberfläche zur Verwendung als Kriterium des Degradationszustandes des Bauelementes durchgeführt, wobei zur Positionierung eines Strahlungsflecks auf der Oberfläche der von der Strahlungsquelle induzierte Photostrom im Halbleitermaterial verwendet wird und wobei die von der Oberfläche reflektierte Strahlung auf einen mit einem Verstärker wie Lock-in-Verstärker verbundenen Meßdetektor geführt wird und wobei die aufgenommenen Meßdaten des Lock- in-Verstärkers und eines Photostrommeßgerätes derart korreliert werden, daß nur Reflexionssignale ausgewertet werden, die einem maximalen

Photostrom entsprechen, und daß über relevante mathematische Prozeduren eine Bewertung der Korrelation der Datensätze von Photostrom und Reflexionsvermögen vorgenommen wird.

[0014] Die Anordnung nach der Erfindung ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß eine Strahlungsquelle wie Laserstrahl über eine Blende und eine Fokussiereinrichtung wie Mikroskopobjektiv mit der Halbleiterlaserdiode optisch verbunden ist, wobei die Halbleiterlaserdiode mit einer Meßeinrichtung zur Messung des durch die Strahlungsquelle induzierten Photostroms verbunden ist und wobei zur Erfassung der von der Halbleiterlaserdiode reflektierten Strahlung zwischen der Blende und der Fokussiereinrichtung ein Strahlteiler vorgesehen ist, der optisch mit einem Meßdetektor und einem Verstärker wie Lock-in-Verstärker verbunden ist, und daß der Lock-in-Verstärker und die Meßeinrichtung mit einer Datenverarbeitungseinrichtung zur Korrelation der Meßwerte verbunden sind.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Anordnung stellen Kriterien zur Abschätzung der Lebensdauer von Halbleiterbauelementen wie Laserdioden und auch prognostische Aussagen zur Lebenserwartung bereit, nach denen Laserdioden mit geringer Lebenserwartung ausgesondert werden können. Es wird eine Qualitätskontrolle und eine Einschätzung der Zuverlässigkeit von Halbleiterbauelementen möglich.

[0016] Es ist neben der Bestimmung des Degradationsverhaltens von Laserdioden auch die orts aufgelöste Messung des Restreflexionsvermögens an Mikrolinsen und die Bestimmung von Reflexionsprofilen an Mikrospiegel-Arrays sowie die Erfassung von Brechzahlen von vorzugsweise inhomogenen optischen Bauelementen wie GRIN-Linsen ohne aufwendige Änderungen möglich.

[0017] Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0018] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines konkreten Ausführungsbeispiels der Messung des Reflexionsvermögens der aktiven Zone einer Laserdiodenfacette näher erläutert. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

[0019] [Fig. 1](#): die schematische Darstellung einer Anordnung zur Messung der Degradation an einer Laserdiode,

[0020] [Fig. 2](#): die Darstellung der vergleichenden Messung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren für eine neue und eine gealterte Laserdiode,

[0021] [Fig. 3](#): die Darstellung der vergleichenden Messung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren

für Reflexionsvermögen und Photostrom einer gealterten Laserdiode zur Bewertung der Korrelation am selben Ort und

[0022] [Fig. 3](#): den schematischen Aufbau der Frontfacette einer Hochleistungslaserdiode mit 20 Einzelemittlern.

[0023] Entsprechend der Darstellung in der [Fig. 1](#) besteht die Anordnung zur orts aufgelösten Messung des Reflexionsvermögens der aktiven Zone einer Laserdiodenfacette einer Laserdiode **5** aus einer Laserstrahlquelle **1**, einer rotierenden Blende **2**, einem Mikroskopobjektiv **4** sowie aus einem Strahlteiler **3**, einem Meßdetektor **6** mit einem Lock-in-Verstärker **7**, einem Meßgerät **9** zur Photostrommessung und einer Rechneinheit **8**.

[0024] Der Laserstrahl aus der Strahlquelle **1** wird mit der rotierenden Blende **2** moduliert und durch das Mikroskopobjektiv **4** auf die aktive Zone der Laserdiode **5** fokussiert, wobei der über den jeweiligen Abfall der Intensität auf das $1/e^2$ - fache der Maximalintensität in der jeweiligen Ebene definierte Vollwinkel der Fokussierung **2a** beträgt.

[0025] Die numerische Apertur des Objektivs **4** ist so zu wählen, daß die von der Probe (Laserdiode) **5** reflektierte Strahlung möglichst vollständig erfaßt wird.

[0026] Die Probe (Laserdiode **5**) kann beim Meßvorgang mit Hilfe motorisch angetriebener Koordinatenachsen definiert verschoben werden. Die Motorsteuerung erfolgt dabei über die Recheneinheit **8**, so daß eine ortsabhängige Messung des Reflexionssignals erfolgen kann.

[0027] Das angewendete Scan-Verfahren mißt parallel induzierten Photostrom und das Reflexionssignal.

[0028] Aus der Abrasterung der Frontfacette der Diode **5** in vertikaler und horizontaler Richtung werden zwei Matrizen mit den positionsabhängigen Werten für die Reflexion und den Photostrom gewonnen. In einer anschließenden Prozedur wird die Matrix mit den Photostromdaten spaltenweise ausgelesen und der Index für den Maximalwert jeder Spalte ausgegeben. Mit diesem Index wird anschließend der Wert für das Reflexionsvermögen aus der Matrix mit den Reflexionsdaten extrahiert. Somit korreliert jeder ausgelesene Wert mit dem maximalen Photostrom an dieser Stelle. Als Resultat erhält man ein Array aus Reflexionsdaten, welche das Reflexionsvermögen der aktiven Zone über der Breite der Laserdiodenfacette darstellen.

[0029] Die Laserdiode **5** wird zunächst in y-Richtung verschoben, und synchron wird der generierte Photo-

strom mit dem Meßgerät **9** erfaßt. Der Betrag des Photostroms ist kennzeichnend für die Position des Strahlungsflecks auf dem aktiven Bereich der Laserdiodenfacette. Das von der Facette reflektierte Licht gelangt über den Strahlteiler **3** auf den Meßdetektor **6**, welcher an den Lock-in-Verstärker **7** gekoppelt ist. Die Meßdaten des Lock-in-Verstärkers **7** und des Photostrommeßgerätes **9** werden mittels der Rechneinheit **8** derart korreliert, daß nur Reflexionssignale ausgewertet werden, die einem maximalen Photostrom entsprechen. Damit ist gewährleistet, daß die entsprechenden Meßdaten von der aktiven Zone der Laserdiodenfacette stammen. Durch Verschieben der Laserdiode **5** in x-Richtung kann eine Topographie des Reflexionsvermögens des aktiven Bereiches der Facette erstellt werden.

[0030] Parallel zur Erfassung der Daten des Reflexionsvermögens werden die Photostromdaten in einem weiteren Datenarray abgelegt. Aus den Reflexionsvermögens- und aus den Photostromdaten werden geeignete mathematische Funktionen, in der **Fig. 1** mit $\text{Corr}(x,y,t)$ bezeichnet als Maß für die Korrelation beider ermittelt.

[0031] In der **Fig. 2** ist eine vergleichende Messung nach der Erfindung an einer neuen und einer gealterten Laserdiode gezeigt.

[0032] Die Größe des Strahlungsflecks auf der Probenoberfläche (Laserdiode **5**) beträgt ca. $1,5 \mu\text{m}$. Die Auflösung in x-Richtung beträgt ebenfalls ca. $1,5 \mu\text{m}$. Die Größe des Fokus kann durch entsprechende bekannte Techniken weiter verringert werden.

[0033] Die deutlichen Einbrüche des Reflexionsvermögens bei der gealterten Laserdiode lassen auf Degradationserscheinungen der Verspiegelungsschicht schließen. Durch die Beobachtung der Änderungen des Reflexionsvermögens der Laserdiodenfacette während der Betriebszeit kann eine Degradationsanalyse an alternden Laserdioden erfolgen.

[0034] Bei der Messung muß durch die geeignete Wahl der Leistungsparameter eine Beeinflussung der Degradationsprozesse durch die fokussierende Beleuchtung vermieden werden.

[0035] In der **Fig. 3** sind aus den Meßdatensätzen für Reflexionsvermögen und Photostrom zwei entsprechende Kurven dargestellt, aus denen Informationen über die Korrelation der beiden Größen mit geeigneten mathematischen Prozeduren gewonnen werden. Solche mathematischen Prozeduren sind zum Beispiel Pearson Product-Moment Correlation Coefficient, Covarianz, Standard-Abweichungs-Methode.

[0036] Die **Fig. 4** zeigt stark vereinfacht den Aufbau einer Hochleistungslaserdiode mit zwanzig Einzele-

lementen, welche auf einer Länge von $200 \mu\text{m}$ angeordnet sind.

[0037] In dieser Ausführung kann die Messung des Reflexionsvermögens mit der Wellenlänge des zu untersuchenden Lasers erfolgen, wobei der Laser dabei selbst entweder in cw-Betrieb oder mit einer von der Modulationsfrequenz des Beleuchtungslasers verschiedenen Frequenz moduliert betrieben werden kann. Damit ist eine Bestimmung des Reflexionsvermögens bei laufendem Alterungsprozeß möglich. Durch Pulsen des Diodenstroms kann auch eine schnelle Alterung simuliert werden.

Bezugszeichenliste

1	Strahlquelle
2	Blende
3	Strahlteiler
4	Mikroskopobjektiv
5	Laserdiode
6	Meßdetektor
7	Lock-in-Verstärker
8	Rechneinheit
9	Meßgerät

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion von Degradationsprozessen an Halbleiterbauelementen (**5**), mit hoher Orts- und Signalauflösung, bei dem die Oberfläche des Bauelementes mittels einer fokussierten Strahlungsquelle bestrahlt wird und das orts aufgelöste Reflexionsvermögen der Oberfläche zur Verwendung als Kriterium des Degradationszustandes des Bauelementes bestimmt wird, wobei zur Positionierung eines Strahlungsflecks auf der Oberfläche der von der Strahlungsquelle (**1**) induzierte Photostrom im Halbleitermaterial verwendet und die von der Oberfläche reflektierte Strahlung auf einen mit einem Verstärker (**7**) verbundenen Meßdetektor geführt wird und wobei die aufgenommenen Meßdaten des Verstärkers (**7**) und eines Photostrommeßgerätes (**9**) derart korreliert werden, daß nur Reflexionssignale ausgewertet werden, die einem maximalen Photostrom entsprechen, und daß über geeignete mathematische Prozeduren eine Bewertung der Korrelation der Datensätze von Photostrom und Reflexionsvermögen vorgenommen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahlungsquelle eine thermische Lichtquelle in Verbindung mit einem Monochromator eingesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Strahlungsquelle (**1**) ein Laser ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahlungsquelle (**1**) ein linear pola-

risierter Laser in Verbindung mit einem optischen Isolator eingesetzt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der optische Isolator ein Faraday-Rotator ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Halbleiterbauelement (5) eine Laserdiode ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die orts aufgelöste Messung des Reflexionsvermögens von aktiven Zonen von Laserdiodenfacetten vorgenommen wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Verstärker (7) ein Lock-in-Verstärker ist.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur räumlichen Positionierung des Strahlungsflecks die ortsabhängige Stromstärke des induzierten Photostroms genutzt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Detektion des Reflexionsvermögens eine konfokale Anordnung mit Raumfrequenzfilterung verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verwendung von fokussierenden Optiken mit großer numerischer Apertur der winkel- und polarisationsabhängige Fehler bei der Messung als Korrekturfaktor berücksichtigt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarisationsverteilung der Strahlungsquelle derart hergestellt wird, daß eine Verringerung der Fleckgröße des Fokus im Vergleich mit linear polarisiertem oder unpolarisiertem Licht erreicht wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung des Reflexionsvermögens mit der Wellenlänge eines zu untersuchenden Lasers (5) vorgenommen wird, wobei der Laser selbst entweder im cw-Betrieb oder mit einer von der Modulationsfrequenz des Beleuchtungslasers verschiedenen Frequenz moduliert betrieben wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 und 13, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche Information die Korrelation mit Photolumineszenzdaten verwendet wird, für deren Generierung die gleiche Strahlungsquelle oder weitere Strahlungsquellen auf die Probe fokussiert werden und daß für die Detektion spektral separierte Kanäle verwendet werden.

15. Anordnung zur Degradationsbestimmung von Halbleiterbauelementen mit hoher Orts- und Signalauflösung, bei dem eine Strahlungsquelle (1) über eine Blende (2) und eine Fokussiereinrichtung (4) mit dem Halbleiterbauelement (5) optisch verbunden ist, wobei das Halbleiterbauelement (5) mit einer Meßeinrichtung (9) zur Messung des durch die Strahlungsquelle (1) induzierten Photostroms verbunden ist und wobei zur Erfassung der von dem Halbleiterbauelement (5) reflektierten Strahlung zwischen der Blende (2) und der Fokussiereinrichtung (4) ein Strahlteiler (3) vorgesehen ist, der optisch mit einem Meßdetektor (6) und einem Verstärker (7) verbunden ist, und daß der Verstärker (7) und die Meßeinrichtung (9) mit einer Datenverarbeitungseinrichtung (8) zur Korrelation der Meßwerte verbunden sind.

16. Anordnung nach Anspruch 15, bei der das Halbleiterbauelement (5) eine Halbleiterlaserdiode ist.

17. Anordnung nach Anspruch 15 oder 16, bei der die Strahlungsquelle (1) ein Laser ist.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei der die Fokussiereinrichtung (4) ein Mikroskopobjektiv ist.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 18, bei der der Verstärker (7) ein Lock-in-Verstärker ist.

20. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß zur Fokusjustage eine CCD-Kamera eingesetzt ist und zur Positionierung ein Autofocussystem dient.

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß als Detektor (6) ein Laser oder ein optischer Verstärker eingesetzt sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

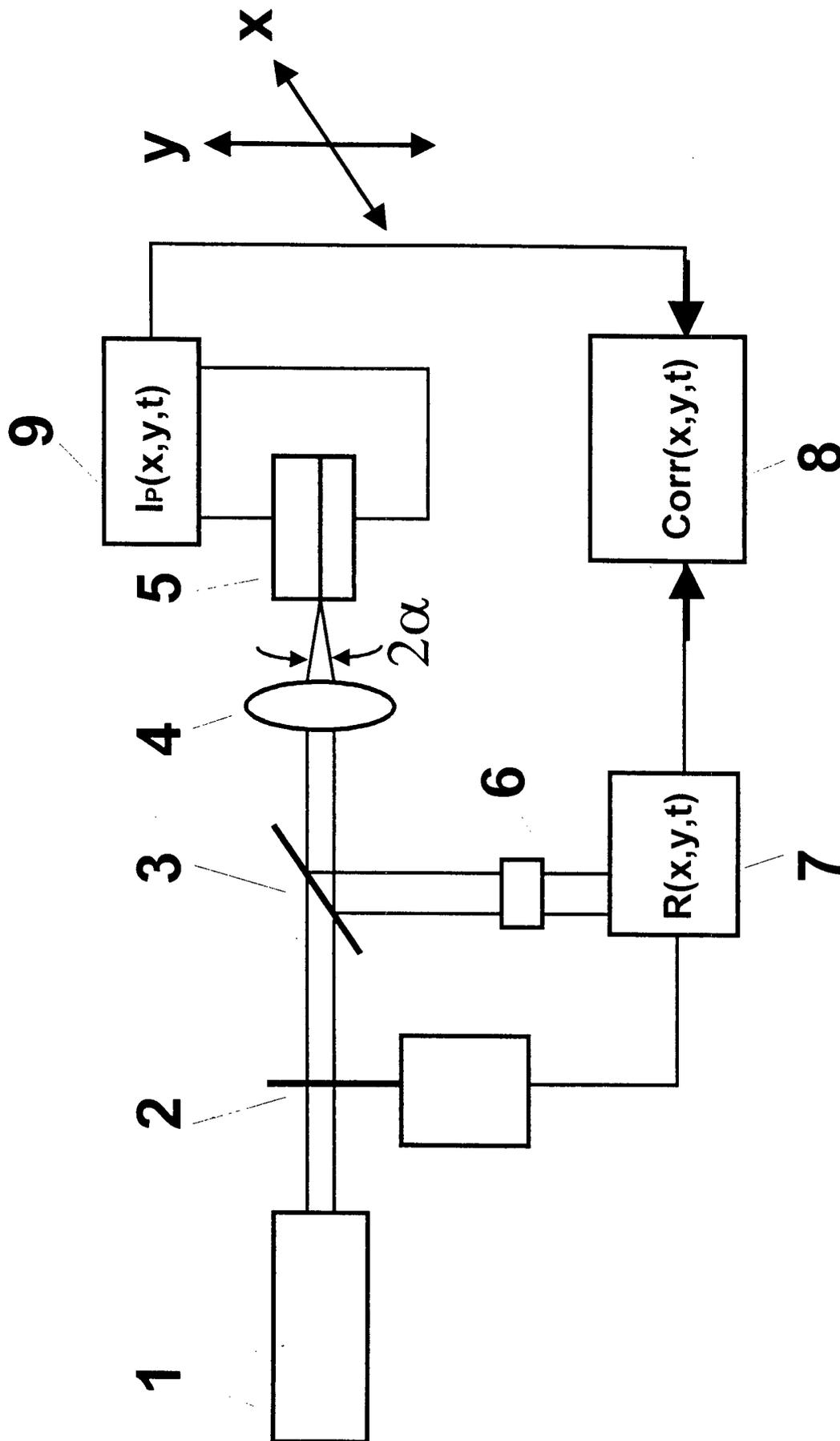
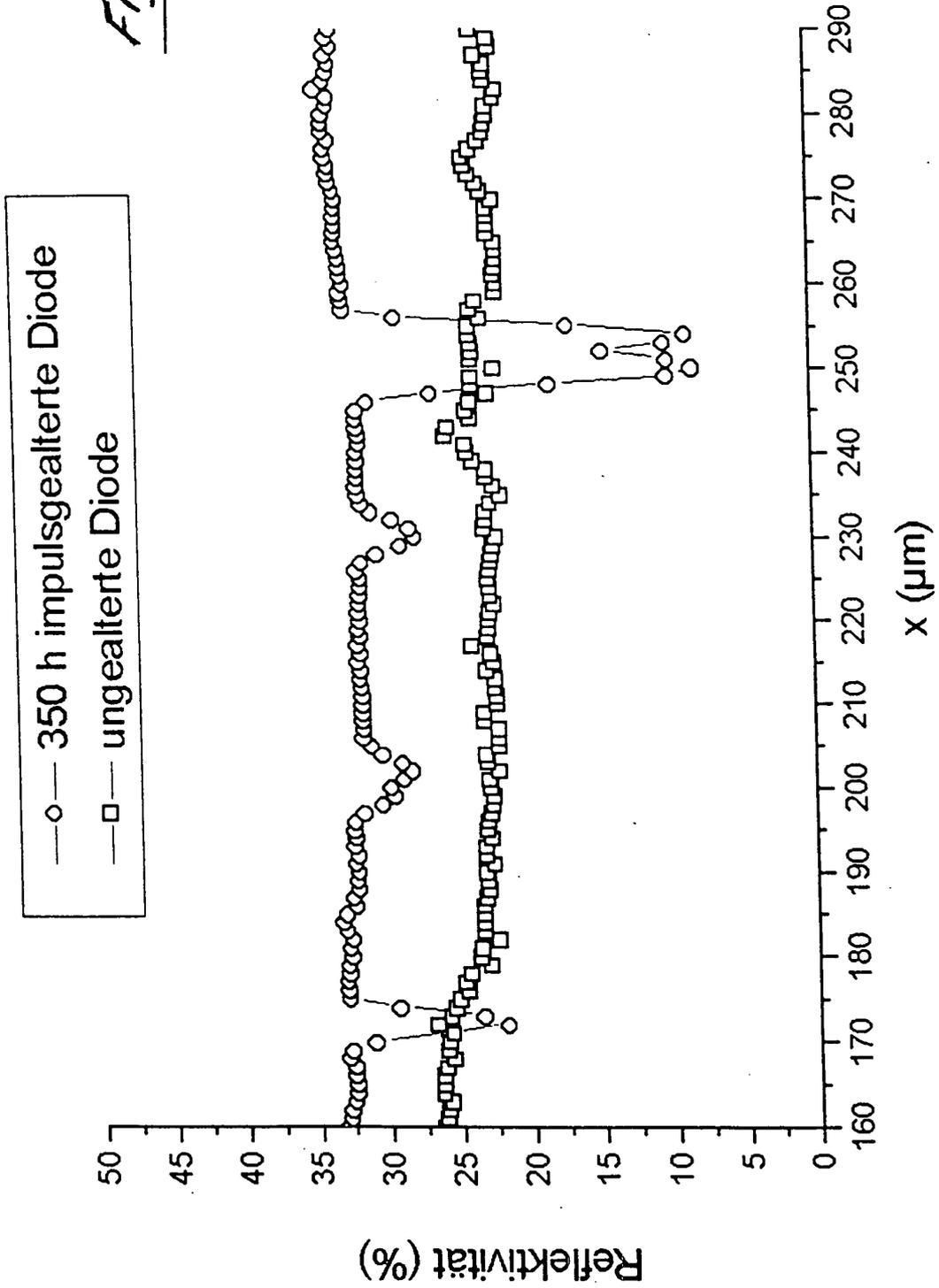


Fig. 1

Fig. 2



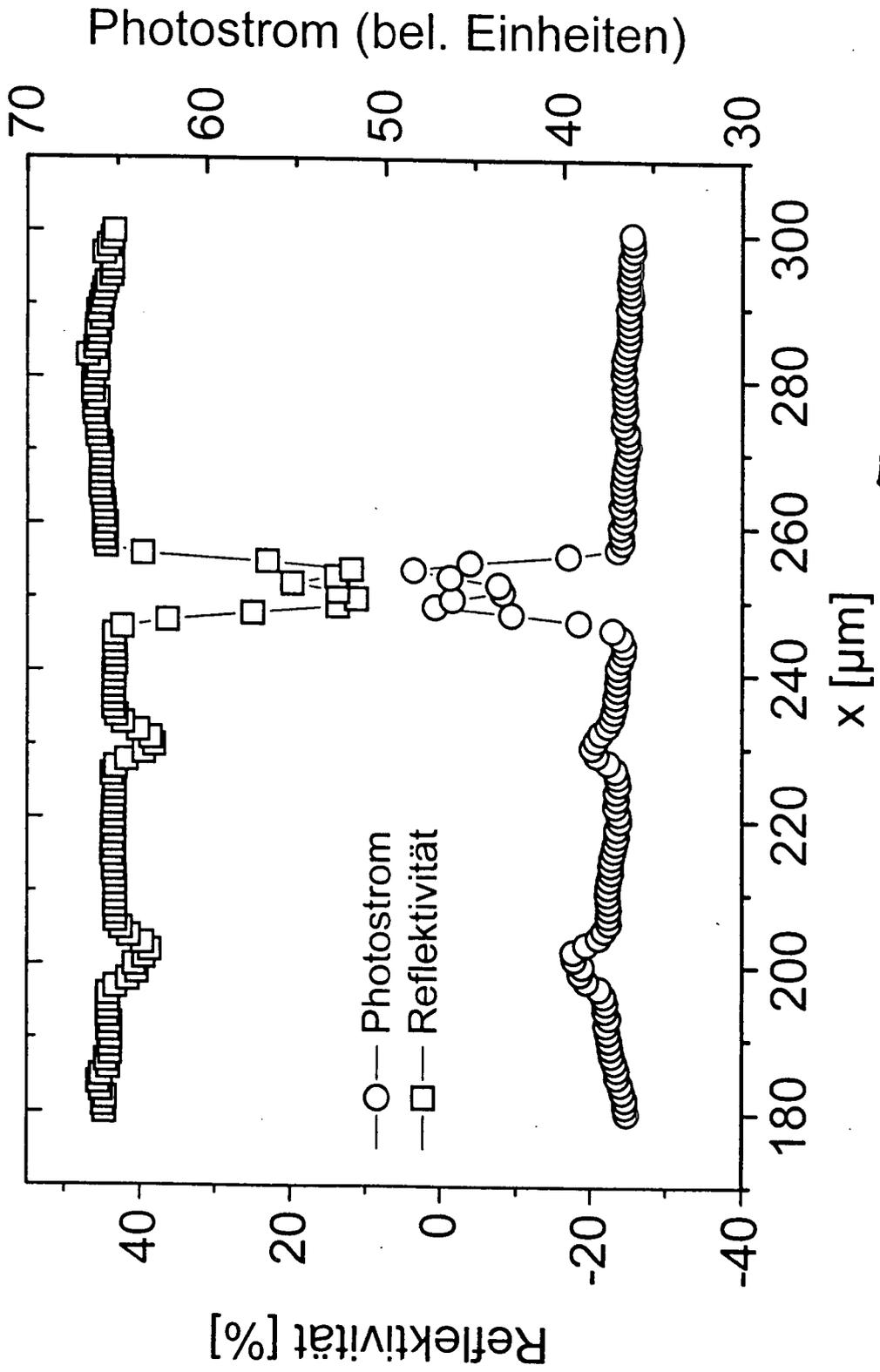


Fig. 3

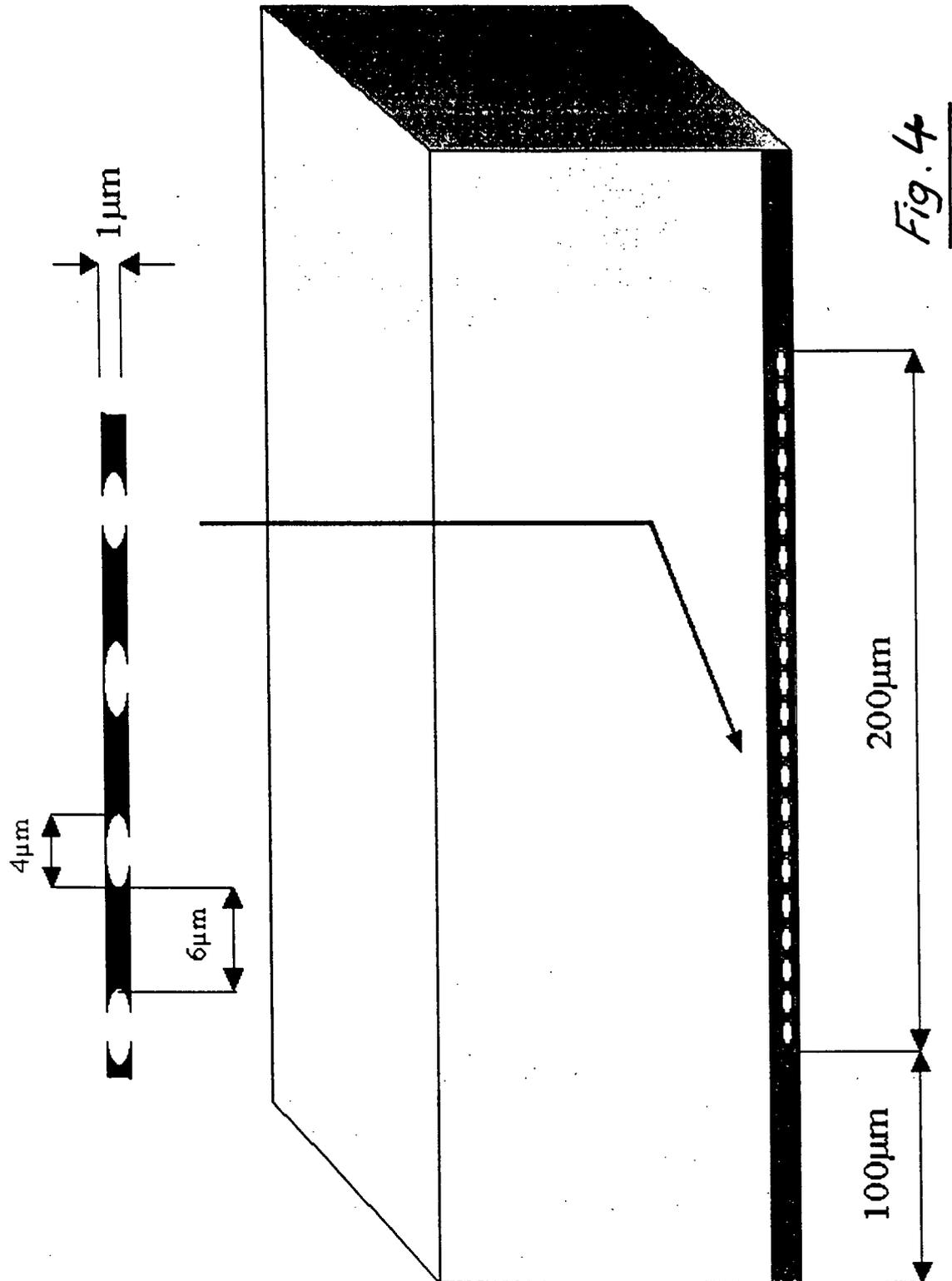


Fig. 4