



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 01 369 T2 2004.10.14**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 239 309 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 01 369.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 118 855.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **14.08.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.09.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **03.12.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.10.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G02B 6/12**
G02B 26/02

(30) Unionspriorität:

2001059089 02.03.2001 JP

(73) Patentinhaber:

Fujitsu Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP

(74) Vertreter:

HOFFMANN · EITLÉ, 81925 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Oikawa, Yoichi, Sapporo-shi, Hokkaido 060-0807, JP; Kuroyanagi, Satoshi, Kawasaki-shi, Kanagawa 211-8588, JP

(54) Bezeichnung: **Optische Schaltmatrix**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Opto-Schalteneinrichtung und insbesondere eine Opto-Schalteneinrichtung, die geeignet ist für einen Knoten in einem opto-elektronischen Netz unter Verwendung von Wellenlängenmultiplex bzw. WDM.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Die Entwicklung und Kommerzialisierung eines Wellenlängenmultiplexsystems bzw. WDM-Systems führen zu einem Kommunikationssystem, das eine Übertragungskapazität stark erhöhen kann. Zum Aufbauen eines photoelektronischen Netzen in großem Maßstab durch Verbinden von WDM-Systemen ist ein ringartiges Netz geprüft worden, das erhalten worden ist durch Verbinden von Knoten durch Wellenleiter bzw. optische Fasern in Form einer Schleife.

[0003] In dem ringartigen Netz nimmt eine Übertragungskapazität in der Schleife mit Zunahme des Maßstabs des Netzes zu. Jedoch ist es in jedem Knoten erforderlich, Verarbeitung durchzuführen unter Verwendung einer relativ kleinen Opto-Schalteneinrichtung bzw. Opto-Vermittlung.

[0004] Im Gegensatz hierzu ist in einem Maschennetz eine Übertragungskapazität in jeder Strecke gering, aber es ist erforderlich, in jedem Knoten Verarbeitung unter Verwendung einer großen Opto-Schalteneinrichtung bzw. Opto-Vermittlung durchzuführen.

[0005] Ferner wird nicht nur in dem ringartigen Netz, sondern auch in einem Punkt-zu-Punkt-Verbindungssystem eine elektrische Vermittlungseinrichtung typischerweise verwendet zum Extrahieren von Signalen niedriger Ordnung in dem Knoten.

[0006] Durch eine Ersatzopto-Schalteneinrichtung für eine elektrische Vermittlung können Kosten im Knoten reduziert werden. Demgemäß schreitet die Entwicklung eines großmaßstablichen optischen Netzes fort zu verschiedenen Netztypen.

[0007] Eine Opto-Schalteneinrichtung vom Wellenleitertyp ist als konventionell kommerzialisierter kleine Opto-Schalteneinrichtung bekannt. Die Opto-Schalteneinrichtung vom Wellenleitertyp schließt ein Schaltelement ein und Faser-Arrays für mit der Schalteneinrichtung verbundene Eingänge und Ausgänge.

[0008] Zum Erhöhen der Größe des Schaltelementes muss die Güte jeder Schaltzelle selbst, die in dem Schaltelement ausgebildet ist, erhöht werden. Jedoch ist das Erhöhen der Güte relativ schwierig wegen enger Herstellungstoleranzen. Ferner wird durch einen Verlust in jeder Schaltzelle und Verluste an den Verbindungen zwischen den Eingangs- und Ausgangsfasern in dem Schaltelement Dämpfung produziert.

[0009] Demgemäß ist es beim Erhöhen der Größe der Opto-Schalteneinrichtung vom Wellenleitertyp erforderlich, nicht nur die Güte durch Verbessern des Herstellungsverfahrens zu erhöhen, sondern auch die Leistungsfähigkeit des Schaltelementes spürbar zu erhöhen.

[0010] Andererseits wird eine Konfiguration räumlich geschalteten Lichts als eine traditionelle Technik angesehen. Unter Verwendung eines Reflektionsspiegels als ein Element zum Ändern eines optischen Pfades können Probleme bei der Leistungsfähigkeit des Opto-Schalters vom Wellenleitertyp wie zum Beispiel das EIN/AUS-Verhältnis und Nebensprechen weitgehend eliminiert werden.

[0011] Jedoch hat ein solcher Raumschalter ein großes Volumen und es ist demnach schwierig vom Gesichtspunkt der Größe aus, den Maßstab der Schalteneinrichtung zu erhöhen.

[0012] Um solche Umstände auszuräumen, ist jüngst eine Technik des Reduzierens der Größe dieses Raumschalters entwickelt worden unter Verwendung einer Halbleitertechnologie. Diese Technik wird als MEMS bzw. Mikro-Elektromechanisches System bezeichnet und wird auch im Falle der Anwendung auf dem Gebiet der Optik Opto-MEMS genannt. Die Opto-Schalteneinrichtung unter Verwendung von MEMS hat eine Vielzahl von kleinen Spiegeln auf einem Substrat mit einer Halbleiterfabrikationstechnik ausgebildet und führt Umschalten optischer Pfade durch selektives Anheben dieser Spiegel durch statische Elektrizität aus.

[0013] Information über MEMS kann von IEEE Photonic Technology Letters, Band 10, Nr. 4, April 1998, Seiten 525–527 bereitgestellt werden.

[0014] Eine Opto-Schaltvorrichtung einschließlich einer Matrixreflektierender Paneele, die selektiv betreibbar sind zwischen reflektierenden Zuständen und nicht reflektierenden Zuständen, ist in US 5,982,554 beschrieben.

[0015] Die MEMS verwendende Opto-Schaltvorrichtung ist in der Schaltleistungsfähigkeit einer Wellenleiterschaltvorrichtung überlegen durch die Verwendung der Spiegel und hat eine kleine Größe wie die Wellenleiterschaltvorrichtung. Jedoch, wie nachstehend beschrieben wird, unterscheidet sich die Länge eines optischen Pfades in Übereinstimmung mit einem Vermittlungspfad, was eine Streckenabhängigkeit der Dämpfung verursacht. Wenn die Opto-Pfadlänge mit einer Vergrößerung des Maßstabs zunimmt, wird ferner eine Erhöhung der Dämpfung bedingt durch Strahlspreizung bedenklich wegen räumlicher Kopplung.

[0016] In US-A-5982554 ist ein optischer Matrix-Querverbindungsmechanismus einschließlich einer Überbrückungseinrichtung beschrieben, der eine Lichtstrahlaufspreizeinrichtung umfasst, welche in dem Matrix-Array angrenzend an eine Eintrittsposition eines Lichtstrahls angeordnet ist.

Resümee der Erfindung

[0017] Es ist demnach ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Opto-Schaltvorrichtung bereitzustellen, welche in ihrer Größe reduziert werden kann.

[0018] Es ist ein anders Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Opto-Schaltvorrichtung bereitzustellen, welche Pfadabhängigkeit von Dämpfung eliminieren kann.

[0019] In Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist eine Opto-Schaltvorrichtung vorgesehen, die umfasst:

eine Vielzahl von optischen Eingangsanschlüssen;

eine Vielzahl von optischen Ausgangsanschlüssen; und

eine Vielzahl von Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen, vorgesehen zwischen der Vielzahl optischer Eingangsanschlüsse und der Vielzahl optischer Ausgangsanschlüsse, wobei jede der Vielzahl von Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen ein bewegliches Opto-Reflektorteil hat; und charakterisiert ist durch

eine außerhalb der Vielzahl von Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen vorgesehene Reflektorvorrichtung zum Reflektieren von Licht von den optischen Eingangsanschlüssen oder Licht von den Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen, wobei die Schaltvorrichtung dergestalt ist, dass in einen der Eingangsanschlüsse eingegebenes Licht direkt zu einem der Ausgangsanschlüsse geführt wird oder durch Reflektion an einer oder mehreren der Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen mit oder ohne Reflektion an der Reflektionsvorrichtung.

[0020] Die Lichtwellenpfadlängen von den Eingangsteilen zu den Ausgangsteilen können alle gleich sein. Die optischen Dämpfungen von den Eingangsteilen zu den Ausgangsteilen können alle gleich sein. Die optischen Eingänge von den optischen Eingangsanschlüssen zu angrenzenden der Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen können einander in der Richtung kreuzen. Anfangsbetriebsbedingungen benachbarter der Lichtquellenpfadschaltvorrichtungen zum Empfangen von Licht von den optischen Eingangsteilen können gegenseitig zueinander sein.

[0021] Die Opto-Schaltvorrichtung kann n Eingänge haben (n ist eine natürliche Zahl) und m Ausgänge (m ist eine natürliche Zahl). Die Opto-Schaltvorrichtung kann eine Einheitsgröße haben, definiert als der Abstand zwischen irgendwelchen zwei benachbarten der Schaltzellen. Die Opto-Schaltvorrichtung kann ein Substrat umfassen mit einer Schaltvorrichtunggröße von $K \times L$ (K ist eine ganze Zahl, die $n \leq K$ erfüllt und L ist eine ganze Zahl, die $m \leq L$ erfüllt), eine Reflektorvorrichtung, die erste und zweite Spiegel parallel zueinander und rechtwinklig zu einer Hauptfläche des Substrates umfasst und eine optische Einheit umfasst, die eine Vielzahl von Eingangswellenleiterpfaden für die n Eingänge umfasst und eine Vielzahl von Ausgangswellenleiterpfaden für die m Ausgänge bereitstellt. Die Vielzahl von Eingangswellenleiterpfaden kann relativ zu den ersten und zweiten Spiegeln geneigt sein und die Vielzahl von Ausgangswellenleiterpfaden kann relativ zu den ersten und zweiten Spiegeln geneigt sein. Jede der Schaltzellen kann einen bewegbar relativ zum Substrat vorgesehenen Schaltspiegel umfassen.

[0022] Das obige und andere Ziele, Merkmale und Vorteil der vorliegenden Erfindung und die Art der Realisierung davon wird ersichtlicher und die Erfindung selbst wird am besten verstanden aus einem Studium der

folgenden Beschreibung und den beiliegenden Patentansprüchen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen, die einige bevorzugte Ausführungen der Erfindung zeigen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0023] Es zeigt:

[0024] **Fig. 1** eine schematische Ansicht einer MEMS verwendenden konventionellen Opto-Schaltanordnung;

[0025] **Fig. 2** eine schematische Ansicht einer konventionellen Pfad-unabhängigen Opto-Schaltanordnung;

[0026] **Fig. 3** eine perspektivische Ansicht einer bevorzugten Ausführungsform der Opto-Schaltanordnung gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0027] **Fig. 4A und 4B** schematische Ansichten von Beispielen von Pfadeinstellungen in der in **Fig. 3** gezeigten Opto-Schaltanordnung;

[0028] **Fig. 5** eine schematische Ansicht eines Teils aller Beispiele von Pfadeinstellungen in der in **Fig. 3** gezeigten Opto-Schaltanordnung;

[0029] **Fig. 6** eine schematische Ansicht des Restteils aller Beispiele von Pfadeinstellungen in der in **Fig. 3** gezeigten Opto-Schaltanordnung;

[0030] **Fig. 7A** eine schematische Ansicht aller Schaltbedingungen in dem Fall einer 3×3 -Opto-Schaltanordnung, und

[0031] **Fig. 7B** eine schematische Ansicht aller Schaltbedingungen in dem Fall einer 2×2 -Opto-Schaltanordnung;

[0032] **Fig. 8** eine schematische Ansicht zum Erläutern der Anordnung der Schaltzellen in dem Fall einer $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung;

[0033] **Fig. 9** eine schematische Ansicht einer bevorzugten Ausführungsform in dem Fall, dass der Einfallswinkel 30° ist;

[0034] **Fig. 10** eine schematische Ansicht einer bevorzugten Ausführungsform in dem Fall, dass der Einfallswinkel θ_i ist;

[0035] **Fig. 11** eine schematische Ansicht zum Erläutern der Anwendbarkeit der bevorzugten Ausführungsform in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

[0036] **Fig. 12A und 12B** schematische Ansichten zum Darstellen einer 4×4 -Opto-Schaltanordnung und einer 8×8 -Opto-Schaltanordnung (jeweils vom Pfadunabhängigen Typ), von denen jede jeweils als optischer Wellenleiter vorgesehen ist;

[0037] **Fig. 13A** eine schematische Ansicht einer durch Anwenden der logischen Konfiguration der in **Fig. 12B** gezeigten Opto-Schaltanordnung auf die vorliegende Erfindung erhaltene Opto-Schaltanordnung; und

[0038] **Fig. 13B** eine schematische Ansicht einer bevorzugten Ausführungsform zum Eliminieren des Problems bei der Fabrikationstechnik unter Beibehalten der in **Fig. 13A** gezeigten logischen Konfiguration;

[0039] **Fig. 14A und 14B** schematische Ansicht von Beispielen des Betriebs der in **Fig. 13A** und **13B** jeweils dargestellten Opto-Schaltanordnungen;

[0040] **Fig. 15** eine schematische Ansicht einer 8×8 -Opto-Schaltanordnung mit einer Konfiguration ähnlich der in **Fig. 13A** gezeigten 4×4 -Opto-Schaltanordnung;

[0041] **Fig. 16** eine schematische Ansicht einer 8×8 -Opto-Schaltanordnung mit einer Konfiguration ähnlich der in **Fig. 13B** gezeigten 4×4 -Opto-Schaltanordnung;

- [0042] **Fig. 17A und 17B** schematische Ansichten zum Erläutern des Betriebs einer sphärische Linsen enthaltenden 4×4 -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;
- [0043] **Fig. 18** eine schematische Ansicht eines Teils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen der in **Fig. 17A und 17B** gezeigten Opto-Schaltanordnung;
- [0044] **Fig. 19** eine schematische Ansicht des Restteils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen der in **Fig. 17A und 17B** gezeigten Opto-Schaltanordnung;
- [0045] **Fig. 20** eine schematische Ansicht von allen oder 6 Arten von Schaltbedingungen einer 3×3 -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, ähnlich den in **Fig. 18 und 19** gezeigten schematischen Ansichten;
- [0046] **Fig. 21** eine schematische Ansicht zum Erläutern eines allgemeinen Aufbaus der Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung einschließlich der in den **Fig. 17A, 17B, 18, 19 und 20** gezeigten Aufbauten;
- [0047] **Fig. 22** eine eine 4×4 -Opto-Schaltanordnung einschließlich Stablinen zeigende schematische Ansicht in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;
- [0048] **Fig. 23** eine schematische Ansicht zum Zeigen eines Teils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen der in **Fig. 22** gezeigten Opto-Schaltanordnung;
- [0049] **Fig. 24** eine schematische Ansicht zum Zeigen des verbleibenden Teils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen der in **Fig. 22** gezeigten Opto-Schaltanordnung;
- [0050] **Fig. 25** eine schematische Ansicht zum Zeigen von allen oder 6 Arten von Schaltbedingungen der 3×3 -Opto-Schaltanordnung, die ähnlich aufgebaut ist zu der in **Fig. 22** gezeigten Opto-Schaltanordnung;
- [0051] **Fig. 26** eine schematische Ansicht zum Zeigen von allen oder 2 Arten von Schaltbedingungen der 2×2 -Opto-Schaltanordnung, die ähnlich aufgebaut ist wie die in **Fig. 22** gezeigte Opto-Schaltanordnung;
- [0052] **Fig. 27** eine schematische Ansicht zum Zeigen der Anordnung von Schaltzellen und Stablinen in einer $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung, die ähnlich aufgebaut ist wie die in **Fig. 22** gezeigte Opto-Schaltanordnung;
- [0053] **Fig. 28** eine schematische Ansicht zum Erläutern des Aufbaus und des Betriebs einer 4×4 -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;
- [0054] **Fig. 29** eine schematische Ansicht zum Zeigen einer $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;
- [0055] **Fig. 30** eine schematische Ansicht zum Darstellen des Ausbildens eines überschüssigen Raums für Stablinen in dem Fall, dass die Anzahl von Kanälen weniger als 6 ist;
- [0056] **Fig. 31** eine schematische Ansicht zum Erläutern des Betriebs der $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung (siehe **Fig. 29**) in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;
- [0057] **Fig. 32** eine schematische Ansicht zum Erläutern einer Verbesserung in der in **Fig. 31** gezeigten Opto-Schaltanordnung;
- [0058] **Fig. 33** eine schematische Ansicht zum Erläutern einer anderen Verbesserung in der in **Fig. 31** gezeigten Opto-Schaltanordnung;
- [0059] **Fig. 34** eine schematische Ansicht zum Erläutern noch einer anderen Verbesserung in der **Fig. 31** gezeigten Opto-Schaltanordnung;
- [0060] **Fig. 35** eine schematische Ansicht zum Zeigen einer $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;
- [0061] **Fig. 36** eine schematische Ansicht zum Zeigen von allen oder 6 Arten von Schaltbedingungen einer 3

× 3-Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

[0062] **Fig. 37** eine schematische Ansicht zum Zeigen von allen oder 2 Arten von Schaltbedingungen einer 2 × 2-Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

[0063] **Fig. 38** eine schematische Ansicht zum Zeigen eines Teils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen einer 4 × 4-Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

[0064] **Fig. 39** eine schematische Ansicht zum Zeigen eines anderen Teils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen einer in **Fig. 38** gezeigten 4 × 4-Opto-Schaltanordnung;

[0065] **Fig. 40** eine schematische Ansicht zum Zeigen des Restteils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen der in **Fig. 38** gezeigten 4 × 4-Opto-Schaltanordnung;

[0066] **Fig. 41** eine schematische Ansicht zum Zeigen einer durch Addieren einer Vielzahl von Stablinsen zu der in **Fig. 35** gezeigten Opto-Schaltanordnung erhaltenen n × n-Opto-Schaltanordnung;

[0067] **Fig. 42** eine schematische Ansicht zum Zeigen eines Teils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen einer 4 × 4-Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

[0068] **Fig. 43** eine schematische Ansicht zum Zeigen des Restteils von allen oder 24 Arten von Schaltbedingungen der in **Fig. 42** gezeigten 4 × 4-Opto-Schaltanordnung;

[0069] **Fig. 44** eine schematische Ansicht zum Zusammenfassen der in **Fig. 42** und **43** gezeigten Bedingungen zum Klären der Reflektionsrichtungen der Spiegel der Schaltzellen;

[0070] **Fig. 45** eine schematische Ansicht zum Erläutern der Art der mehreren Stablinsen;

[0071] **Fig. 46** eine schematische Ansicht zum Zeigen einer 8 × 8-Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

[0072] **Fig. 47** eine schematische Ansicht zum Erläutern des Betriebs der in **Fig. 46** gezeigten Opto-Schaltanordnung;

[0073] **Fig. 48** eine schematische Ansicht zum Erläutern des Betriebs der in **Fig. 46** gezeigten Opto-Schaltanordnung;

[0074] **Fig. 49** eine schematische Ansicht zum Zeigen einer n × n-Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung;

[0075] **Fig. 50** eine schematische Ansicht zum Erläutern der Zahl von Schaltzellen mit den zugeordneten Gleichungen für die Berechnung davon; und

[0076] **Fig. 51** eine schematische Ansicht zum Erläutern eines Linsenbereichs für das Anordnen von Linsen.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0077] Nun werden einige bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung detailliert unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben.

[0078] Es wird Bezug genommen auf **Fig. 1**, in der eine konventionelle Opto-Schaltanordnung unter Verwendung von MEMS gezeigt ist. Diese Opto-Schaltanordnung ist derart aufgebaut, dass vier Eingangskanäle #1-#4 und vier Ausgangskanäle #1-#4 orthogonal zueinander angeordnet sind und 16 Schaltzellen derart angeordnet sind, dass sie irgendeinen beliebigen der Eingangskanäle #1-#4 an irgendeinen beliebigen der Ausgangskanäle #1-#4 koppeln. Die Schaltzellen sind an 4 × 4-Gitternetzpositionen angeordnet.

[0079] Jede Schaltzelle kann optische Pfade durch Bilden eines kleinen Spiegels auf einem Substrat durch eine Halbleiterfabrikationstechnik und durch Antreiben dieses Spiegels durch eine elektrostatische Kraft, umschalten. Beispielsweise kann jede Schaltzelle zwischen einer ersten Bedingung umschalten, in der der Spiegel parallel zu einer Hauptoberfläche (parallel zur Blattebene der **Fig. 1**) des Substrates liegt und eine zweite

Bedingung, bei der der Spiegel senkrecht zur Hauptoberfläche liegt.

[0080] Die Opto-Schaltvorrichtung ist höher in der Vermittlungsleistungsfähigkeit zu einer Lichtwellenleiterschaltvorrichtung bedingt durch die Verwendung der Spiegel und kann in der Größe reduziert werden, wie die Lichtwellenleiterschaltvorrichtung. Jedoch, wie in **Fig. 1** gezeigt, unterscheidet sich eine Opto-Pfadlänge in Übereinstimmung mit einem geschalteten Pfad, was Pfadabhängigkeit der Dämpfung verursacht. Ferner wird, wenn die optische Pfadlänge zunimmt mit einer Vergrößerung des Maßstabs, ein Zunehmen der Dämpfung bedingt durch Strahlspreizung ebenfalls bedenklich wegen räumlicher Kopplung.

[0081] Nun wird Bezug genommen auf **Fig. 2**, in der eine konventionelle Pfad-unabhängige Opto-Schaltvorrichtung gezeigt ist. Diese Opto-Schaltvorrichtung ist derart aufgebaut, dass vier Eingangskanäle #1-#4 und vier Ausgangskanäle #1-#4 im wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind und 16 Schaltzellen in Form einer Matrix zwischen diesen Eingangs- und Ausgangskanälen vorgesehen sind. Die 16 Schaltzellen schließen vier 1 × 2-Schaltzellen, acht 2 × 2-Schaltzellen und vier 2 × 1-Schaltzellen ein. Alle diese Schaltzellen können gleichzeitig an einem Wellenleitersubstrat ausgebildet werden.

[0082] In dieser Opto-Schaltvorrichtung wird die Dämpfung zwischen den Eingangskanälen und Ausgangskanälen unabhängig von dem Pfad gemacht, durch geeignetes Verbinden der Schaltzellen.

[0083] In der in **Fig. 1** gezeigten Opto-Schaltvorrichtung sind jeder Eingangskanal und jeder Ausgangskanal optisch gekoppelt durch eine 90°-Reflektion. Demgemäß kann die in **Fig. 1** gezeigte Opto-Schaltvorrichtung keine Opto-Pfadeinstellung erhalten, wie in **Fig. 2** gezeigt, welche relativ frei erhalten werden kann in einem Lichtwellenleiter. Die Pfadabhängigkeit der Dämpfung wird fatal mit einer Vergrößerung des Maßstabs einer Opto-Schaltvorrichtung. Daher wird es bei einer Opto-Schaltvorrichtung unter Verwendung von Reflektionstyp-Schaltzellen, wie in **Fig. 1** gezeigt, ernsthaft erforderlich, die Pfadabhängigkeit der Dämpfung zu eliminieren.

[0084] **Fig. 3** ist eine perspektivische Ansicht einer Opto-Schaltvorrichtung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Diese Opto-Schaltvorrichtung schließt ein Substrat **2** ein, das integral 16 Schaltzellen (Optopfad-Schaltvorrichtungen) hat, ausgebildet durch MEMS, Spiegel **4** und **6** parallel zueinander und senkrecht zu einer Hauptoberfläche **2A** des Substrats **2**, und eine optische Einheit **8**, die Eingangsoptopfade P1 für Eingangskanäle (Eingangsanschlüsse) #1-#4 vorsieht und Ausgangsoptopfade P2 für Ausgangskanäle (Ausgangsanschlüsse) #1-#4.

[0085] Die optische Einheit **8** schließt Lichtwellenleiter **10** derart vorgesehen ein, dass sie jeweils zu den Eingangskanälen #1-#8 korrespondieren und Lichtwellenleiter **12**, die derart vorgesehen sind, dass sie jeweils zu den Ausgangskanälen #1-#4 korrespondieren. Optische Kollimationssysteme werden durch (nicht dargestellte) Linsen zwischen den Lichtwellenleitern **10** und den Lichtwellenleitern **12** gebildet. Die Lichtwellenleiter **10** sind derart vorgesehen, dass die optischen Eingangspfade P1 parallel zueinander sind und schräg in Bezug auf die Spiegel (Reflektionsvorrichtungen) **4** und **6**. Die Lichtwellenleiter **12** sind derart vorgesehen, dass die optischen Ausgangspfade P2 parallel zueinander sind und schräg in Bezug auf die Spiegel **4** und **6**. In dieser bevorzugten Ausführungsform sind die Lichtwellenleiter **10** und **12** parallel zueinander in der selben Ebene n^2 .

[0086] Die Schaltzellen sind an der Hauptoberfläche **2A** des Substrats **2** vorgesehen. Jede Schaltzelle schließt einen Schaltspiegel **14** ein, der relativ zum Substrat **2** bewegbar ist, und kann zwischen einer ersten Bedingung umschalten, in der der Schaltspiegel **14** parallel zur Hauptoberfläche **2A** verläuft und einer zweiten Bedingung, in der der Schaltspiegel **14** rechtwinklig zur Hauptoberfläche **2A** liegt. In dieser bevorzugten Ausführungsform ist jeder Schaltspiegel **14** parallel zu den Spiegeln **4** und **6** in der zweiten Bedingung.

[0087] Wenn der Abstand zwischen irgendwelchen nächsten zwei Schaltzellen in dieser Opto-Schaltvorrichtung definiert ist als Einheitsgröße, hat das Substrat **2** eine 4 × 4-Schaltvorrichtunggröße. Die 16 Schaltzellen sind an 4 × 4-Gitternetzpositionen vorgesehen. Das Substrat **2** kann eine Größe haben größer als die Schaltvorrichtunggröße.

[0088] Mit diesem Aufbau kann die Länge des optischen Pfades konstant gemacht werden unabhängig von einem umgeschalteten Pfad zum Eliminieren von Variationen in der Dämpfung in Übereinstimmung mit dem Pfad, wie aus der Überprüfung der verschiedenen optischen Pfade, die nachstehend zu beschreiben sind, verstanden wird.

[0089] Es wird Bezug genommen auf **Fig. 4A** und **4B**, die Beispiele von Pfadeinstellungen in der Opto-Schalt-

einrichtung zeigen, die in **Fig. 3** gezeigt ist. **Fig. 4A** zeigt einen Fall, dass die Eingangskanäle #1–#4 jeweils mit den Ausgangskanälen #1–#4 verbunden sind. In diesem Fall sind die Schaltzellen in der dritten Reihe der ersten Spalte, in der dritten Reihe der zweiten Spalte, in der zweiten Reihe der dritten Spalte und in der zweiten Reihe der vierten Spalte jeweils in der zweiten Bedingung und die anderen Schaltzellen sind in der ersten Bedingung.

[0090] **Fig. 4B** zeigt einen Fall, dass die Eingangskanäle #1–#4 mit den Ausgangskanälen #4–#1 jeweils verbunden sind. In diesem Fall sind die Schaltzellen in der ersten Reihe der ersten Spalte, in der ersten Reihe der zweiten Spalte, in der dritten Reihe der ersten Spalte, in der dritten Reihe der vierten Spalte, in der vierten Reihe der zweiten Spalte und in der vierten Reihe der vierten Spalte in der zweiten Bedingung und die anderen Schaltzellen sind in der ersten Bedingung. Mit dem Aufbau der Opto-Schalteinrichtung, wie in **Fig. 3** gezeigt, kann ein beliebiger Pfad eingerichtet werden durch die festen Spiegel **4** und **6** und den Schaltspiegel **14** jeder Schaltzelle, hierdurch das Vorsehen einer nichtblockierenden Opto-Schalteinrichtung ermöglichend.

[0091] **Fig. 5** und **6** zeigen alle Beispiele von Pfadeinstellungen in der in **Fig. 3** gezeigten Opto-Schalteinrichtung und die Weise der Betrachtung der Beispiele, die in **Fig. 5** und **6** gezeigt sind, in der selben Weise wie die in den **Fig. 4A** und **4B**.

[0092] Die Opto-Schalteinrichtung hat in diesem Fall vier Eingänge und vier Ausgänge. Wenn demgemäß die als Abstand zwischen irgendwelchen zwei nächsten Schaltzellen definierte Einheitsgröße 1 ist, ist die Vermittlungs- bzw. Schalteinrichtungsgröße 4×4 . Wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist, ist ferner die Opto-Pfadlänge in allen Beispielen 4. Die Zahl von Reflektionen an den Spiegeloberflächen ist auf drei Arten klassifiziert, d. h. **2**, **4** oder **0**. Die Opto-Schalteinrichtung hat 16 Schaltzellen, klassifiziert in fünf Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln (Unterseiten-Reflektionsspiegel), fünf Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln (Oberseiten-Reflektionsspiegel) und sechs Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln (doppelseitig reflektierende Spiegel).

[0093] Es wird Bezug genommen auf **Fig. 7A**, in der schematisch alle Schaltbedingungen in dem Fall gezeigt sind, dass die Opto-Schalteinrichtung drei Eingänge und drei Ausgänge hat. Die Schalteinrichtungsgröße ist 3×3 und die Opto-Pfadlänge ist 3, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Zahl von Reflektionen an den Spiegeloberflächen ist klassifiziert in drei Arten, d. h. **2**, **4** und **0**. Die Opto-Schalteinrichtung hat in diesem Fall neun Schaltzellen, klassifiziert in vier Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln, vier Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln und eine Schaltzelle mit bidirektional reflektierendem Spiegel.

[0094] Es wird Bezug genommen auf **Fig. 7B**, in der alle Schaltbedingungen (zwei Schaltbedingungen) schematisch dargestellt sind in dem Fall, dass die Opto-Schalteinrichtung zwei Eingänge und zwei Ausgänge hat. In diesem Fall ist die Vermittlungsgröße 2×2 und die Opto-Pfadlänge ist 2, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Zahl der Reflektionen an den Spiegeloberflächen ist klassifiziert in zwei Arten, d. h. **2** und **1**. Die Opto-Schalteinrichtung hat in diesem Fall vier Schaltzellen, klassifiziert in zwei Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln und zwei Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln.

[0095] **Fig. 8** ist eine schematische Ansicht zum Darlegen der Anordnung der Schaltzellen in dem Fall, dass die Opto-Schalteinrichtung n Eingänge und n Ausgänge hat (n ist eine ganze Zahl größer als 2). Die Schalteinrichtungsgröße ist $n \times n$ und die Opto-Pfadlänge ist n , wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Zahl von Reflektionen an den Spiegeloberflächen ist klassifiziert in drei Arten, d. h. **2**, **4** und **0**. Die Opto-Schalteinrichtung hat in diesem Fall n^2 Schaltzellen, klassifiziert in $(n + 1)$ -Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln, $(n + 1)$ Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln und $(n^2 - 2n - 2)$ Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln.

[0096] Die Schaltzelle in der i -ten Reihe und der j -Spalte überträgt einfallendes Licht in Richtung der Schaltzelle in der $(i + 1)$ -ten Reihe und der $(j + 1)$ -ten Spalte unter der ersten Bedingung oder reflektiert einfallendes Licht in Richtung der Schaltzelle in der $(i - 1)$ -ten Reihe und der $(j + 1)$ -ten Spalte in der zweiten Bedingung.

[0097] In der obigen bevorzugten Ausführungsform ist der Abstand zwischen irgendwelchen benachbarten zwei Schaltzellen, die entlang jeder Reihe angeordnet sind gleich dem Abstand zwischen irgendwelchen benachbarten zwei Schaltzellen, die entlang jeder Spalte angeordnet sind und der Einfallswinkel (der zwischen der Achse eines einfallenden Strahls und jeder Spiegeloberfläche gebildete Winkel) ist 45° . Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf eine Konfiguration beschränkt, dass der Einfallswinkel 45° ist.

[0098] Beispielsweise kann der Einfallswinkel 30° sein, wie in **Fig. 9** gezeigt. In diesem Fall kann der Abstand zwischen irgendwelchen benachbarten zwei Schaltzellen, die entlang jeder Reihe angeordnet sind, festgelegt werden auf zweimal den Abstand zwischen irgendwelchen benachbarten zwei Schaltzellen, die entlang jeder Spalte angeordnet sind..

[0099] Ferner kann in dem Fall, dass der Einfallswinkel ein beliebiger Winkel (θ_i) ist, wie in **Fig. 10** gezeigt, das Verhältnis des Abstandes zwischen irgendwelchen benachbarten zwei Schaltzellen, die entlang jeder Reihe angeordnet sind, zu dem Abstand zwischen irgendwelchen benachbarten zwei Schaltzellen, die entlang jeder Spalte angeordnet sind festgelegt sein auf $1 : \tan(\theta_i)$.

[0100] Ferner wird der Abstand d_m zwischen jeder Schaltzelle in der ersten Reihe und dem Spiegel **4** ausgedrückt als $d_m = (1/2) \times a \times \tan(\theta_i)$, wobei a der Abstand zwischen irgendwelchen benachbarten zwei entlang jeder Reihe angeordneten Schaltzellen ist.

[0101] Die Opto-Schaltanordnung gemäß der vorliegenden Erfindung ist ausdehnbar. Beispielsweise kann durch Verwenden von vier Substraten **2**, jeweils für die Opto-Schaltanordnung mit vier Eingängen und vier Ausgängen, wie in **Fig. 3** gezeigt, eine Opto-Schaltanordnung mit acht Eingängen und acht Ausgängen erhalten werden.

[0102] Wie in **Fig. 11** gezeigt, kann eine solche 8×8 -Opto-Schaltanordnung durch derartiges Anordnen von vier 4×4 -Substraten **2** erhalten werden, dass sie ein viereckiges Substrat bilden und Zwischenschalten dieser viereckigen Substrate zwischen gemeinsamen Spiegeln **4** und **6**.

[0103] Während jede Schaltzelle in der obigen bevorzugten Ausführungsform durch Verwenden von MEMS aufgebaut ist, kann auch eine Opto-Schaltanordnung vom Reflektionstyp unter Verwendung eines Fluids verwendet werden. Diese Opto-Schaltanordnung vom Reflektionstyp ist aufgebaut durch Einschließen einer Blase enthaltenden Flüssigkeit in einem in einem Festkörper ausgebildeten Hohlraum mit einem bestimmten Brechungsindex und durch Ermöglichen des Bewegt-Werdens der Blasen durch die Verwendung eines Heizers oder ähnlichem. Der Brechungsindex der Flüssigkeit wird im wesentlichen gleich dem Brechungsindex des Festkörpers festgelegt. Demgemäß kann durch Festlegen eines durch den Hohlraum verlaufenden optischen Pfades die Opto-Schaltanordnung zwischen Transmission und Totalreflektion umschalten in Übereinstimmung mit dem Vorhandensein oder Fehlen der Blase.

[0104] Es wird Bezug genommen auf **Fig. 12A** und **12B**, in denen eine 4×4 -Opto-Schaltanordnung und eine 8×8 -Opto-Schaltanordnung gezeigt sind, jede jeweils mit einem Lichtwellenleiter versehen. Jede Opto-Schaltanordnung ist von einem Pfad-unabhängigen Typ.

[0105] Jede Schaltzelle schaltet zwischen einer Durchquerungsbedingung entsprechend der ersten Bedingung und einer Sperrbedingung entsprechend der zweiten Bedingung in der vorliegenden Erfindung um. Die jeder Schaltzelle entsprechenden in dem Kreis dargestellten Zahlen wie zum Beispiel **(13)** oder **(23)** beziehen sich auf einen Eingang zu einem Ausgang. Beispielsweise bedeutet die Zahl **(13)** ein Schaltelement zum Verbinden eines Eingangskanals #1 mit einem Ausgangskanal #3. Ferner hält jedes Schaltelement die Durchquerungsbedingung in einem elektrisch ausgeschalteten Zustand bei und ändert in die Sperrbedingung, wenn es elektrisch eingeschaltet wird.

[0106] **Fig. 13A** zeigt eine optische Schaltanordnung, die erhalten wird durch Anwenden der logischen Konfiguration der in **Fig. 12A** gezeigten Opto-Schaltanordnung gemäß der Erfindung. Speziell kreuzen die ungeradzahigen Kanäle und die geradzahigen Kanäle von optischen Eingangspfaden einander und die ungeradzahigen Kanäle und geradzahigen Kanäle der optischen Ausgangspfade kreuzen einander.

[0107] In einem Lichtwellenleiter aus LN (LiNbO_3) verursacht beispielsweise das Vorhandensein solcher Überkreuzungen kein besonderes Problem in der Fabrikationstechnik. Jedoch kann in dem Fall des Vorsehens der Eingangslichtwellenpfade und der Ausgangslichtwellenpfade durch die Verwendung von Lichtwellenleiterarrays oder ähnlichem das Überqueren der Kanäle manchmal in der Fabrikationstechnik schwierig gestalten. **Fig. 13B** zeigt eine Opto-Schaltanordnung, die das obige Problem in der Fabrikationstechnik eliminieren kann, wobei die in **Fig. 13A** gezeigte logische Konfiguration beibehalten wird.

[0108] Wie in **Fig. 13B** gezeigt, sind die Eingangslichtwellenpfade parallel zueinander und die Ausgangslichtwellenpfade sind auch parallel zueinander. Durch Invertieren der Logik in den Eingangsschaltzellen der ungeradzahigen Kanäle und der Logik in den Ausgangsschaltzellen der ungeradzahigen Kanäle oder durch Inver-

tieren der Logik in den Eingangsschaltzellen der geradzahligen Kanäle und der Logik in den Ausgangsschaltzellen der geradzahligen Kanäle wird Licht normalerweise von jeder Schaltzelle reflektiert und in dem Fall, dass jede Schaltzelle aktiviert wird zum Einrichten eines Pfades wird kein Licht durch jede Schaltzelle reflektiert.

[0109] In jeder der **Fig. 13A** und **13B** ist die Anzahl von aufwärts reflektierenden Schaltzellen 8 und die Anzahl von abwärts reflektierenden Schaltzellen ist 8. Ferner ist die Anzahl von Reflektionen auf den Spiegeloberflächen der Schaltzellen in **Fig. 13A** klassifiziert in 3 Arten, d. h. **1**, **2** und **3** und die Anzahl von Reflektionen der Spiegeloberflächen der Schaltzellen in **Fig. 13B** ist klassifiziert in drei Arten, d. h. **0**, **2** und **4**.

[0110] In der Konfiguration der **Fig. 13A** befindet sich jeder Schaltspiegel normalerweise in der ersten Bedingung und in dem Fall, dass jeder Schaltspiegel aktiviert ist zum Einrichten eines Pfades wird jeder Schaltspiegel die zweite Bedingung erhalten. In der Konfiguration der **Fig. 13B** sind durch die Kreise eingeschlossene Schaltzellen normalerweise in der zweiten Bedingung und erhalten die erste Bedingung, wenn sie Pfade einrichten. Die anderen Schaltzellen sind die selben wie die in **Fig. 13A** gezeigten.

[0111] **Fig. 14A** und **14B** zeigen Beispiele des Betriebs der in **Fig. 13A** und **13B** jeweils gezeigten Opto-Schaltanordnungen und **Fig. 15** und **16** zeigen 8×8 -Opto-Schaltanordnungen mit Konfigurationen ähnlich den Konfigurationen der in **Fig. 13A** und **13B** jeweils gezeigten 4×4 -Opto-Schaltanordnungen.

[0112] In Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist es, wie oben beschrieben, möglich, eine Pfad-unabhängige nicht blockierende Opto-Schaltanordnung vorzusehen.

[0113] In einer Opto-Schaltanordnung unter Verwendung von optischen MEMS gibt es eine Möglichkeit, dass ein optischer Strahl gespreizt werden kann zum Erhöhen der Dämpfung mit einer Erhöhung der Länge des optischen Pfades aufgrund räumlicher Kopplung zwischen einem Eingang und einem Ausgang. Gemäß der vorliegenden Erfindung kann der optische Strahl an einer Zwischenposition auf einem optischen Pfad konvergent sein. Diese Konfiguration wird zuerst in dem Falle einer 4×4 -Opto-Schaltanordnung unter Bezugnahme auf **Fig. 17A** und **17B** beschrieben.

[0114] **Fig. 17A** und **17B** sind schematische Ansichten zum Erläutern des Betriebs einer 4×4 -Opto-Schaltanordnung einschließlich sphärischer Linsen in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist, ist die Vermittlungsgröße dieser Opto-Schaltanordnung 4×5 und wenn die diagonale Länge jeder Vermittlungszelle oder Schaltzelle 1 ist, ist die Opto-Pfadlänge in dieser Opto-Schaltanordnung 5. In diesem Beispiel sind vier sphärische Linsen in der dritten Spalte vorgesehen.

[0115] Unter der in **Fig. 17A** gezeigten Bedingung sind die Eingangskanäle #1–#4 mit den Ausgangskanälen #1–#4 jeweils verbunden. Unter der in **Fig. 17B** gezeigten Bedingung sind die Eingangskanäle #1–#4 mit den Ausgangskanälen #4–#1 jeweils verbunden.

[0116] **Fig. 18** und **19** sind schematische Ansichten zum Zeigen aller Schaltbedingungen (24 Arten von Schaltbedingungen) der in **Fig. 17A** und **17B** gezeigten Opto-Schaltanordnung. Die Anzahl von Schaltzellen ist 16 und diese 16 Schaltzellen sind klassifiziert in vier Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln, vier Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln und acht Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln. Fünf der acht Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln führen simultane bidirektionale Reflektion aus. Wenn bidirektional reflektierenden Spiegel in diesem Fall jeweils dick sind, ist es schwierig, zwei einfallende Strahlen gleichzeitig an einem gegebenen Reflektionspunkt zu reflektieren. Demgemäß ist es wünschenswert, die Dicke jedes Reflektionsspiegels in Übereinstimmung mit der Größenordnung der Opto-Schaltanordnung zu reduzieren.

[0117] **Fig. 20** ist eine schematische Ansicht zum Zeigen aller Schaltbedingungen (6 Arten von Schaltbedingungen) von einer 3×3 -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ähnlich zu den in den **Fig. 18** und **19** gezeigten schematischen Ansichten. Die Schaltanordnungsgröße ist 3×3 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist 4, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Anzahl von Reflektionen an den Spiegeloberflächen ist klassifiziert in zwei Arten, d. h. **2** und **4**. Die Anzahl von Schaltzellen ist neun und diese neun Schaltzellen sind klassifiziert in drei Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln, drei Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln und drei Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln.

[0118] **Fig. 21** ist eine schematische Ansicht zum Darlegen einer generellen Konfiguration der Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung einschließlich der Konfigurierung, die

in **Fig. 17A, 17B, 18, 19 und 20** gezeigt sind. Das heißt, **Fig. 21** zeigt die Anordnung der Schaltzellen und sphärischen Linsen in einer $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung (n ist eine ganze Zahl größer als 2).

[0119] Wenn n eine gerade Zahl ist, hat die Opto-Schaltanordnung n Linsen in der $(n/2 + 1)$ -ten Spalte angeordnet, wohingegen, wenn n eine ungerade Zahl ist, die Opto-Schaltanordnung n Linsen in der $[(n + 1)/2 + 1]$ -ten Spalte hat. **Fig. 21** zeigt den Fall, in dem n eine gerade Zahl ist.

[0120] Die Schaltanordnungsgröße ist $n \times (n + 1)$, wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist $(n + 1)$, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Anzahl von Reflektionen an den Spiegeloberflächen ist klassifiziert in drei Arten, d. h. **2, 4 und 6**, oder irgendwelche zwei Arten, ausgewählt aus diesen drei Arten. Die Anzahl von Schaltzellen ist n^2 und diese n^2 Schaltzellen sind klassifiziert in n Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln (in der ersten Spalte), n Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln (in der n -ten Spalte) und $(n^2 - 2n)$ Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln (in den anderen Spalten).

[0121] In dem Fall, dass n eine gerade Zahl ist, ist die Opto-Pfadlänge auf der Eingangsseite jeder sphärischen Linse gleich der einer Ausgangsseite jeder sphärischen Linse, sodass ein optisches Linsensystem leicht entworfen werden kann.

[0122] Nun wird eine Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung beschrieben, in der Stablinen anwendbar sind. In der bevorzugten Ausführungsform, die unter Bezugnahme auf **Fig. 17A, 17B und 18 bis 21** beschrieben worden ist, verlaufen höchstens zwei optische Pfade mit unterschiedlichen Richtungen durch jede Linse. Daher ist es erforderlich, Linsen ohne Anisotropität zu verwenden wie zum Beispiel sphärische Linsen. Dem gegenüber ist die folgende bevorzugte Ausführungsform derart konfiguriert, dass höchstens ein optischer Pfad durch jede Linse verläuft, hierdurch das Montieren von Linsen und das Ausrichten der optischen Achsen unterstützend. Im Allgemeinen ist die Ausrichttoleranz von Stablinen größer als die von sphärischen Linsen.

[0123] **Fig. 22** zeigt eine 4×4 -Opto-Schaltanordnung, die Stablinen einschließt in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Die Schaltanordnungsgröße ist 5×6 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Länge des optischen Pfades ist 6, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Acht Stablinen sind in dem Substrat **2** (nicht in **Fig. 22**, aber in **Fig. 3** gezeigt) vorgesehen, ausgebildet mit den Schaltzellen. Die Stablinen sind zickzackförmig entlang einer Diagonallinie des Substrates **2** angeordnet.

[0124] Die Anzahl von Schaltzellen ist 20 und diese 20 Schaltzellen sind in sechs Schaltzellen klassifiziert mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln, sechs Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln und acht Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln. In dieser bevorzugten Ausführungsform ist es nicht erforderlich, irgendwelche simultan bidirektional reflektierenden Spiegel vorzusehen. Die Anzahl von Reflektionen auf den Spiegeloberflächen ist klassifiziert in zwei Arten, d. h. **2 und 4**. Die acht Stablinen sind in der zweiten bis fünften Spalte derart angeordnet, dass alle zwei Stablinen parallel zueinander schräg in der selben Spalte angeordnet sind. In dem Fall, dass die optischen Eingangspfade und die optischen Ausgangspfade nach oben rechts gerichtet sind, ist jede Stablinse nach unten rechts gerichtet.

[0125] **Fig. 23 und 24** sind schematische Ansichten zum Zeigen aller Schaltbedingungen (24 Arten von Schaltbedingungen) der in **Fig. 22** gezeigten Opto-Schaltanordnung.

[0126] **Fig. 25** ist eine schematische Ansicht zum Zeigen aller Schaltbedingungen (6 Arten von Schaltbedingungen) einer 3×3 -Opto-Schaltanordnung, die ähnlich konfiguriert ist zu der in **Fig. 22** gezeigten Opto-Schaltanordnung. In der in **Fig. 25** gezeigten Opto-Schaltanordnung ist die Schaltanordnungsgröße 4×5 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist 5, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Zahl von Reflektionen an Spiegeloberflächen ist klassifiziert in zwei Arten, d. h. **2 und 4**. Die Zahl von Schaltzellen ist 12 und diese 12 Schaltzellen sind klassifiziert in fünf Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln, fünf Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln und zwei Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln. In einigen in **Fig. 25** gezeigten Schaltbedingungen sind keine Stablinen gezeigt, aber eine Zone, in der die Stablinen vorliegen, ist dargestellt.

[0127] **Fig. 26** ist eine schematische Ansicht zum Zeigen aller Schaltbedingungen (2 Arten von Schaltbedingungen) einer ähnlich der in **Fig. 22** gezeigten Opto-Schaltanordnung konfigurierten 2×2 -Opto-Schaltanordnung. Die Schaltanordnungsgröße ist 3×4 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist 4, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Anzahl von Reflektionen an den Spiegeloberflächen

ist immer 2. Die Anzahl von Schaltzellen ist 6 und diese 6 Schaltzellen sind klassifiziert in drei Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln und drei Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln.

[0128] Fig. 27 ist eine schematische Ansicht zum Zeigen der Anordnung von Schaltzellen und Stablinen in einer Opto-Schaltanordnung, die ähnlich konfiguriert ist der in Fig. 22 gezeigten Opto-Schaltanordnung. Die Schaltanordnungsgröße ist $(n + 1) \times (n + 2)$, wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist $(n + 2)$, wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist. Während die Opto-Pfadlänge von einem Eingang zu einer Stablinse und die Opto-Pfadlänge von der Stablinse zu einem Ausgang unterschiedlich sind, in Übereinstimmung mit der Spalte, an der die Stablinse angeordnet ist, ist die Anzahl von Arten der Stablinen etwa $(n/2)$, was nachstehend diskutiert werden wird. Die Positionen der Stablinen werden ausgedrückt in (Reihe, Spalte) als $(1, n + 1)$, $(2, n)$, $(2, n + 1)$, ..., $(i, n - i + 2)$, $(i, n - i + 3)$, ..., $(n, 2)$, $(n, 3)$ und $(n + 1, 2)$.

[0129] Die Anzahl von Reflexionen an den Spiegeloberflächen ist klassifiziert in zwei Arten, d. h. **2** und **4**.

[0130] Die Anzahl von Schaltzellen ist $n \times (n + 1)$. Von diesen $n \times (n + 1)$ -Schaltzellen ist die Anzahl von Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln **3**, wenn $n = 2$, **5**, wenn $n = 3$ oder $(2n - 2)$, wenn $n > 3$ gilt. Die Anzahl von Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln ist die selbe wie die Anzahl von Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln. Die Anzahl von Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln ist **0**, wenn $n = 2$, **2**, wenn $n = 3$, oder $(n^2 - 3n + 4)$, wenn $n > 3$ gilt.

[0131] In den obigen bevorzugten Ausführungsformen hängt der Pfad von der Anzahl von Spiegelreflexionen ab einschließlich der Reflexion an den Spiegel **4** oder **6**. In dem Fall, dass Reflexionsverlust nicht vernachlässigbar ist, wird die Pfadabhängigkeit von dem Verlust generiert in Übereinstimmung mit der Anzahl von Reflexionen. In den folgenden bevorzugten Ausführungsformen ist die Anzahl von Reflexionen festgelegt auf **2**, um die Pfadabhängigkeit der Dämpfung bzw. des Verlustes zu eliminieren.

[0132] Fig. 28 ist eine schematische Ansicht zum Erläutern der Konfiguration und des Betriebsablaufs einer 4×4 -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Vier Schaltzellen sind in der ersten Spalte auf der Eingangsseite angeordnet und ein optisches Signal von jeder Schaltzelle in der ersten Spalte wird geschaltet durch spezifische Schaltzellen. Die in den Kreisen gezeigten Ziffern, die alle Schaltzellen repräsentieren, bedeuten Eingangskanalnummern. Fünf spezifische Schaltzellen sind jedem Eingangskanal zugeordnet, sodass das optische Signal immer nach zwei Reflexionen ohne Staubbildung ausgegeben wird.

[0133] Die Schaltanordnungsgröße ist 6×6 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist **6**, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Diese Opto-Schaltanordnung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl von Reflexionen an den Spiegeloberflächen immer **2** ist. Die Anzahl von Schaltzellen ist **19** und diese **19** Schaltzellen sind klassifiziert in vier Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln und **15** Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln.

[0134] Fig. 29 ist eine schematische Ansicht zum Zeigen einer $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. In Fig. 29 ist eine 8×8 -Opto-Schaltanordnung als ein Beispiel gezeigt. In der ersten Spalte der $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung sind n Schaltzellen für nur Abwärtsreflexionen angeordnet. Jede Schaltzelle funktioniert zum Aufteilen eines Eingangskanals in zwei optische Pfade. Einer der optischen Pfade wird durch die erste Bedingung jeder Schaltzelle bereitgestellt und schließt die Reflexion an dem Spiegel **4** ein. Der andere optische Pfad wird durch die zweite Bedingung jeder Schaltzelle bereitgestellt und schließt nicht die Reflexion an dem Spiegel **4** ein. Ferner sind $(n^2 - 1)$ Schaltzellen für nur Aufwärtsreflexion vorgesehen, sodass die optischen Pfade von den n Schaltzellen in der ersten Spalte gekoppelt werden an die $(n^2 - 1)$ Schaltzellen. Jede Schaltzelle für nur Aufwärtsreflexion ist derart positioniert, dass sie jedem optischen Signalpfad entspricht und bestimmt einen finalen einen Ausgang erreichenden optischen Pfad. Die Schaltanordnungsgröße ist $2(n - 1) \times 2(n - 1)$, wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist $2(n - 1)$, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Anzahl aller Schaltzellen ist $(n^2 + n - 1)$. Es ist nicht erforderlich, irgendwelche Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln vorzusehen. Während die Anzahl der Reflexionen an den Spiegeloberflächen immer **2** ist, neigt die Opto-Pfadlänge dazu, zuzunehmen. Demgemäß wird vorgezogen, eine Stablinse entlang jedes Opto-Pfades vorzusehen. Wie in Fig. 29 gezeigt, gibt es einen Raum zwischen den Schaltzellen für nur Abwärtsreflexion und den Schaltzellen für nur Aufwärtsreflexion und die Stablinen können in diesem Raum vorgesehen sein.

[0135] Jedoch in dem Fall, dass die Anzahl von Kanälen **5** oder weniger ist, liegt ein solcher Raum zum Vorsehen von Stablinen nicht vor. Demgemäß wird vorgezogen, den Stablinenraum durch Hinzufügen einer

Reihe und einer Spalte zu definieren, wie in **Fig. 30** gezeigt.

[0136] In der Konfiguration der **Fig. 29** ist die Größe des Stablinsenraums $(n/2 - 2)$ und in dem Fall, dass n 6 oder größer ist, wird die Größe des Stablinsenraums **1** oder größer.

[0137] Die Positionen der Schaltzellen werden in (Reihe, Spalte) folgendermaßen ausgedrückt:

[0138] Für die Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln:
 $(i, 1)$; $i = 1$ bis n

[0139] Für die Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln:
 $(n/2 + i, 2(n - 1) - n/2 + 1 - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$
 $(n/2 + i, 2(n - 1) - n/2 + 2 - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$
 $(n/2 + i + 1, 2(n - 1) - n/2 + 1 - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$
 $(n - 1 + i, 2(n - 1) - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$
 $(n + i, 2(n - 1) - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$

[0140] Der Betrieb der $n \times n$ -Opto-Schalteinrichtung (siehe **Fig. 29**) in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf **Fig. 31** beschrieben. Zuerst wird der optische Pfad von jeder Schaltzelle in der ersten Spalte umgeschaltet in Übereinstimmung damit, ob der Ausgangskanal ein geradzahliges Kanal ist oder ein ungeradzahliges Kanal. Im Fall, dass der Ausgangskanal ein ungeradzahliges Kanal ist, wird beispielsweise der Schaltspiegel der Schaltzelle in der ersten Spalte entsprechend dem Eingangskanal #2 angehoben (auf die zweite Bedingung eingestellt) zum Umschalten des optischen Eingangspfades zu einem optischen Pfad entlang einer Diagonallinie, die sich von der linken oberen Ecke des Substrates **2** zur rechten unteren Ecke davon erstreckt. In dem Fall, dass der Ausgangskanal ein geradzahliges Kanal ist, wird der Schaltspiegel der Schaltzelle nicht angehoben (eingestellt auf die erste Bedingung) zum Ändern des optischen Eingangskanals durch den festen Spiegel **4**, der an der oberen Seite vorgesehen ist, wie in **Fig. 31** gezeigt. Dann wird ein finaler Ausgangskanal durch eine Gruppe von Schaltzellen bestimmt, die entlang einer Diagonallinie angeordnet sind, welche sich von der rechten oberen Ecke des Substrates **2** zur linken unteren Ecke davon erstreckt. In **Fig. 31** repräsentiert die durch (in) dargestellte Zelle eine Schaltzelle, deren Schaltspiegel angehoben ist, wenn der Eingangskanal # i ist und der Ausgangskanal # n ist.

[0141] Die Schalteinrichtungsgröße dieser Opto-Schalteinrichtung wird nun geprüft. Angenommen, dass der Eingangskanal # n ist und der Ausgangskanal ein geradzahliges Kanal, wird das dem Eingangskanal # n entsprechende optische Signal von der Schaltzelle an den festen Spiegel **4** an einem Reflektionspunkt R_n reflektiert und wird als nächstes in die Schaltzellen eingegeben, die durch n_2, n_4, \dots, n_n gezeigt sind. Wenn die Gruppe von Schaltzellen zur nur Aufwärtsreflektion nicht beabstandet von dem Spiegel **4** angeordnet ist, wird ein Teil des Lichtstrahls eher von einer Position entsprechend dem Spiegel **4** ausgegeben als von einer Seitenfläche des Substrates **2**, was zu schwieriger Handhabung führt. In **Fig. 31** sind die Ausgangskanäle #1 bis #4 an einer Position entsprechend dem Spiegel **4** angeordnet.

[0142] **Fig. 32** zeigt eine Verbesserung in der Anordnung der Schaltzellen, die durch n_2, n_4, \dots, n_n gezeigt sind, derart, dass der Ausgangskanal #1 an der rechten oberen Ecke des Substrates **4** angeordnet ist. In diesem Fall ist die Größe jeder Seite des Substrates **2** gleich $n + 2(n/2 - 1) = 2n - 2$, sodass die Schalteinrichtungsgröße $(2n - 2) \times (2n - 2)$ ist. In dieser Konfiguration wird der Ausgangskanal # n durch einen optischen Pfad bereitgestellt, der an einem Reflektionspunkt an dem unteren Spiegel **6** produziert wird in Übereinstimmung mit der durch $n_n - 1$ gezeigten Schaltzelle.

[0143] Die Zahl aller Schaltzellen ist $(n^2 + n - 1)$, wobei die Zahl der abwärts reflektierenden Schaltzellen (der Schaltzellen in der ersten Spalte) n ist und die Zahl der aufwärts reflektierenden Schaltzellen (die Gruppe von Schaltzellen, die entlang der Diagonallinie angeordnet sind, welche sich von der rechten oberen Ecke zur linken unteren Ecke im Substrat **2** erstrecken) $(n^2 - 1)$ ist. Die Zahl der Reflektionen ist immer 2 unabhängig von den optischen Pfaden. Die Opto-Pfadlänge ist $(2n - 2)$, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist.

[0144] **Fig. 33** und **34** zeigen Modifikationen der in **Fig. 32** gezeigten Konfiguration, in welcher die Aufwärtsreflektions-Schaltzellen entsprechend den Ausgangskanälen in ihrer Position verändert sind. In der Konfiguration der **Fig. 33** sind die den ungeradzahliges Ausgangskanälen entsprechenden Aufwärtsreflektions-Schaltzellen an rechten oberen Positionen angeordnet und die den geradzahliges Ausgangskanälen entsprechenden Abwärtsreflektions-Schaltzellen sind an linken unteren Positionen angeordnet. Andererseits sind in der Konfiguration der **Fig. 34** die den geradzahliges Ausgangskanälen entsprechenden Aufwärtsreflekti-

ons-Schaltzellen an rechten oberen Positionen angeordnet und die den ungeradzahligen Ausgangskanälen entsprechenden Aufwärtsreflektions-Schaltzellen sind an linken unteren Positionen angeordnet.

[0145] In jedem Fall ist die Zahl aller Schaltzellen ($n^2 + n$), wobei die Zahl der Abwärtsreflektions-Schaltzellen (der Schaltzellen in der ersten Spalte) n ist und die Zahl der Aufwärtsreflektions-Schaltzellen (die Gruppe von Schaltzellen, die entlang der diagonalen Linie angeordnet sind, welche sich von der rechten oberen Ecke zur linken unteren Ecke des Substrates **2** erstreckt) n^2 ist.

[0146] Die Schalteinrichtungsgröße der in **Fig. 33** gezeigten Opto-Schalteinrichtung ist $(2n - 1) \times (2n - 1)$ und die Opto-Pfadlänge ist $(2n - 1)$, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Schalteinrichtungsgröße der in **Fig. 34** gezeigten Opto-Schalteinrichtung ist $2n \times 2n$ und die Opto-Pfadlänge ist $2n$.

[0147] In jedem Fall ist die Anzahl von Reflexionen 2 und die Pfadabhängigkeit von Dämpfung in Übereinstimmung mit der Anzahl von Reflexionen kann eliminiert werden. Als ein Ergebnis ist es möglich, Spiegel zu verwenden, deren Reflektionsdämpfung nicht niedrig ist.

[0148] Ferner ist es in den in **Fig. 33** und **34** gezeigten bevorzugten Ausführungsformen nicht erforderlich, einen unteren Spiegel vorzusehen (der Spiegel **6** in den vorangegangenen bevorzugten Ausführungsformen), hierdurch das Herstellen der Opto-Schalteinrichtung erleichternd.

[0149] Nun wird eine andere bevorzugte Ausführungsform beschrieben, die die Pfadabhängigkeit von Dämpfung in Übereinstimmung mit der Anzahl von Spiegelreflektionen eliminiert, wie die oben beschriebene in **Fig. 28** bis **34** gezeigte bevorzugte Ausführungsform.

[0150] **Fig. 35** zeigt eine $n \times n$ -Opto-Schalteinrichtung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Eine Vielzahl von Schaltzellen ist in Form eines $(n + 1) \times (n + 1)$ -Gitters angeordnet. Es ist nicht erforderlich, die Schaltzellen an den Positionen von $((n + 1), 1)$, $((n + 1), (n + 1))$ und $(1, n)$, ausgedrückt in (Zeile, Spalte) derart anzuordnen, dass die Zahl aller Schaltzellen $(n^2 + 2n - 2)$ ist.

[0151] Die Schalteinrichtungsgröße ist $(n + 1) \times (n + 1)$ und die Opto-Pfadlänge ist $(n + 1)$, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Anzahl von Spiegelreflektionen ist immer 2 unabhängig von den optischen Pfaden.

[0152] Die Anzahl von Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln ist $n(n + 1)/2 - 1$ und die Zahl von Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln ist $n(n + 1)/2 - 1 + n$. In dieser bevorzugten Ausführungsform ist es nicht erforderlich, Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln bereitzustellen.

[0153] **Fig. 36** ist eine schematische Ansicht zum Zeigen aller Schaltbedingungen (6 Arten von Schaltbedingungen) einer 3×3 -Opto-Schalteinrichtung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. In jeder Schaltbedingung ist die Anzahl der Reflexionen 2.

[0154] Die Schalteinrichtungsgröße ist 4×4 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist 4, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Zahl von Schaltzellen ist 13 und diese 13 Schaltzellen sind klassifiziert in fünf Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln und acht Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln. Es ist nicht erforderlich, Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln bereitzustellen.

[0155] **Fig. 37** ist eine schematische Ansicht zum Zeigen aller Schaltbedingungen (2 Arten von Schaltbedingungen) einer 2×2 -Opto-Schalteinrichtung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Die Schalteinrichtungsgröße ist 3×3 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist 3, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist.

[0156] Die Zahl von Reflexionen an den Spiegeloberflächen ist immer 2. Die Zahl von Schaltzellen ist 6 und diese 6 Schaltzellen sind klassifiziert in zwei Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln und vier Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln. Es ist nicht erforderlich, Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln bereitzustellen.

[0157] **Fig. 38** bis **40** zeigen alle Schaltbedingungen (24 Arten von Schaltbedingungen) einer 4×4 -Opto-Schalteinrichtung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Die Schalteinrichtungsgröße ist 5×5 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist 5, wenn die diagonale Länge jeder Schalt-

zelle 1 ist. Die Zahl von Reflektionen an den Spiegeloberflächen ist immer 2. Die Zahl von Schaltzellen ist 22 und diese 22 Schaltzellen sind klassifiziert in neun Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln und 13 Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln. Es ist nicht erforderlich, Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln bereitzustellen.

[0158] Fig. 41 zeigt eine $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung, die erhalten wird durch Addieren einer Vielzahl von Stablinsen zu der in Fig. 35 gezeigten Konfiguration. In dem Fall, dass optische MEMS verwendet werden, gibt es eine Möglichkeit, dass obwohl eine Kollimatorlinse an jedem der Eingangsfaserenden und Ausgangsfaserenden vorgesehen ist, der Lichtstrahl spreizen wird mit einer Zunahme an Opto-Pfadlänge, was eine Zunahme an Dämpfung verursacht. Um dieses Problem zu behandeln, ist es wirksam, eine Stablinse, die leicht zu handhaben ist entlang jeder optischen Achse in der Opto-Schaltanordnung vorzusehen.

[0159] In der in Fig. 41 gezeigten bevorzugten Ausführungsform sind eine Vielzahl von Schaltzellen in Form eines $(n + 2) \times (n + 2)$ -Quadratgitters angeordnet und ein Raum zum Bereitstellen einer Vielzahl von Stablinsen ist definiert entlang einer Diagonallinie, die sich von der linken oberen Ecke zur rechten unteren Ecke des Substrates 2 erstreckt.

[0160] Die Schaltanordnungsgröße ist $(n + 2) \times (n + 2)$, wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist $(n + 2)$, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist.

[0161] Die Zahl aller Stablinsen ist $2n$ und die Zahl von Arten von Stablinsen ist $n/2$ (was nachstehend detaillierter beschrieben werden wird).

[0162] Die Zahl aller Schaltzellen ist $(n^2 + 2n - 2)$, in welcher die Zahl von Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln $(n + 1)/2 - 1$ ist und die Zahl von nur aufwärts reflektierenden Spiegeln $n(n + 2)/2 - 1 + n$ ist. Es ist nicht erforderlich, Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln vorzusehen. Die Zahl von Spiegelreflektionen ist immer 2 unabhängig von den optischen Pfaden.

[0163] Die Positionen der Stablinsen werden ausgedrückt als $(1, n + 1)$, $(2, n)$, $(2, n + 1)$, ..., $(i, n - i + 2)$, $(i, n - i + 3)$, ..., $(n, 2)$, $(n, 3)$ und $(n + 1, 2)$.

[0164] Fig. 42 und 43 zeigen alle Schaltbedingungen (24 Arten von Schaltbedingungen) von einer 4×4 -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Fig. 44 ist eine schematische Ansicht zum Zusammenfassen der in Fig. 42 und 43 gezeigten Bedingungen zum Klären der Reflektionsrichtungen an den Spiegeln der Schaltzellen.

[0165] Die Schaltanordnungsgröße ist 6×6 , wenn die Größe jeder Schaltzelle 1 ist und die Opto-Pfadlänge ist 6, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Die Zahl von Reflektionen an den Spiegeloberflächen ist immer 2.

[0166] Die Zahl von Schaltzellen ist 22 und diese 22 Schaltzellen sind klassifiziert in neun Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln und 13 Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln. Es ist nicht erforderlich, Schaltzellen mit bidirektional reflektierenden Spiegeln bereitzustellen.

[0167] Die Art der Vielzahl von Stablinsen wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 45 überprüft. Vier Stablinsen sind entlang optischer Pfade angeordnet, die durch vier Kollimatorsysteme vorgesehen sind, welche sich jeweils von vier Eingängen zu vier Ausgängen erstrecken. Die in den die Stablinsen repräsentierenden Rechtecken gezeigten Zahlen von 1 bis 4 sind dazu gedacht, die Stablinsen zu unterscheiden.

[0168] In jedem Kanal ist die Opto-Pfadlänge 5, wenn die diagonale Länge jeder Schaltzelle 1 ist. Beispielsweise ist in dem Kanal #1 das Verhältnis des Abstandes zwischen der Eingangsfaser und der Stablinse zu dem Abstand zwischen der Ausgangsfaser und der Stablinse 1 : 4. In ähnlicher Weise ist das obige Verhältnis in den Kanälen #2, #3 und #4 2 : 3, 3 : 2 bzw. 4 : 1. Entsprechend ist die Zahl von Arten von Stablinsen relativ zu einer Brennweite oder Ähnlichem 2. Im Allgemeinen ist die Zahl der Arten von in einer $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung erforderlichen Stablinsen $n/2$.

[0169] Fig. 46 zeigt eine 8×8 -Opto-Schaltanordnung in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. Diese Opto-Schaltanordnung ist eine nicht blockierende Opto-Schaltanordnung, in welcher die Zahl von Reflektionen immer 2 ist, unabhängig von den optischen Pfaden, wie in den vorangegangenen bevorzugten Ausführungsformen. Der Betrieb dieser Opto-Schaltanordnung wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 47 und 48 be-

schrieben.

[0170] Betrachte zuerst den Fall, dass die Eingangskanäle geradzahlige Kanäle sind und die Ausgangskanäle geradzahlige Kanäle sind, wie in **Fig. 47** gezeigt. Die unterbrochenen Linien in **Fig. 47** zeigen Strecken, die durch Verbinden der ungeradzahligen Eingangskanäle mit den geradzahligen Ausgangskanälen gebildet werden. Diese Strecken sind jeweils als den ungeradzahligen Eingangskanälen entsprechende Strecken gedacht und werden an dem Spiegel **4** reflektiert. Die Volllinien in **Fig. 47** zeigen Strecken, die durch Verbinden der geradzahligen Eingangskanäle mit den geradzahligen Ausgangskanälen gebildet werden. Diese Strecken sind folgendermaßen klassifiziert:

- (a) Drei Strecken, denen es möglich ist, die Ausgangskanäle #2, #4, #6 und #8 zu erreichen (in **Fig. 47** gezeigte Strecken **(1)**, **(2)** und **(3)**). Die Strecke **(1)** ist auch eine für den Eingangskanal #1 gedachte Strecke.
- (b) Eine Strecke, der es möglich ist, die Ausgangskanäle #2, #4 und #6 zu erreichen (in **Fig. 47** gezeigte Strecke **(4)**).
- (c) Eine Strecke, der es möglich ist, die Ausgangskanäle #2 und #4 zu erreichen (in **Fig. 47** gezeigte Strecke **(5)**).
- (d) Eine Strecke, der es möglich ist, nur den Ausgangskanal #2 zu erreichen (in **Fig. 47** gezeigte Strecke **(6)**).

[0171] Die zulässigen Strecken werden in Übereinstimmung mit den geradzahligen Eingangskanälen in einer an einem unteren Abschnitt der **Fig. 47** gezeigten Tabelle zusammengefasst.

[0172] Unter der Überlegung, dass die an stärksten belegten Strecken die Strecken von dem Eingangskanal #8 zum Ausgangskanal #8 sind, von dem Eingangskanal #6 zum Ausgangskanal #6, von dem Eingangskanal #4 zum Ausgangskanal #4 und von dem Eingangskanal #2 zum Ausgangskanal #2, wird verstanden, dass die drei Strecken, denen es ermöglicht wird, die Ausgangskanäle #2, #4, #6 und #8 zu erreichen, ausreichend sind.

[0173] Demgemäß ist es ausreichend, die Schaltzellen derart anzuordnen, dass die Strecken **(1)**, **(2)** und **(3)** verwendet werden können.

[0174] Obwohl die Strecke **(1)** auch eine Strecke ist, die für den Eingangskanal #1 gedacht ist, sind die geradzahligen Ausgangskanäle den geradzahligen Eingangskanälen zugeordnet und die Strecke **(1)** ist demnach nicht erforderlich. Demgemäß kann die Strecke **(1)** für die geradzahligen Eingangskanäle verwendet werden.

[0175] Mit dieser Anordnung von Schaltzellen wird die Schalteinrichtungsgröße 11×11 durch Erhöhen einer Reihe aufwärts und Erhöhen von zwei Reihen abwärts.

[0176] Betrachte als nächstes den Fall, dass die Eingangskanäle ungeradzahlige Kanäle sind und die Ausgangskanäle ungeradzahlige Kanäle sind, wie in **Fig. 48** gezeigt. Die unterbrochen Linien in **Fig. 48** zeigen Strecken, die durch Verbinden der geradzahligen Eingangskanäle mit den ungeradzahligen Ausgangskanälen gebildet werden. Diese Strecken sind dedizierte Strecken, die jeweils den geradzahligen Eingangskanälen entsprechen und an dem Spiegel **4** reflektiert werden.

[0177] Die Volllinien in **Fig. 48** zeigen Strecken, die durch Verbinden der ungeradzahligen Eingangskanäle mit den ungeradzahligen Ausgangskanälen gebildet werden. Diese Strecken sind fünf Strecken. Wie aus der am unteren Abschnitt der **Fig. 48** gezeigten Tabelle verstanden wird, ist es ausreichend, zwei Strecken sicherzustellen, denen es ermöglicht ist, die Ausgangskanäle #1, #3, #5 und #7 zu erreichen. Diese beiden Strecken werden automatisch erhalten durch Festlegen der die ungeradzahligen Eingangskanäle mit den geradzahligen Ausgangskanälen verbindenden Strecken. Demgemäß kann die Schalteinrichtungsgröße leicht überprüft werden.

[0178] Nun wird eine $n \times n$ -Opto-Schalteinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung betrachtet werden. Der wichtigste Punkt ist, wie viele Strecken erforderlich sind, denen es ermöglicht ist, vom Eingangskanal #2 zum Ausgangskanal #n zu führen. Wie aus **Fig. 49** verstanden wird, ist die Anzahl dieser erforderlichen Strecken $(n/4 + 1)$. In dem Fall, dass n kein Vielfaches von 4 ist, kann $(n - 2)$ als Ersatz für n verwendet werden.

[0179] Die Größe eines diese Opto-Schalteinrichtung bildenden Quadratgitters (die Länge jeder Seite des Quadratgitters), die erforderlich ist zum Erhalten der obigen Anzahl erforderlicher Strecken, ist $n + (n/4 - 1) + (n/4) = (1,5n - 1)$, wie aus **Fig. 49** ersichtlich ist. Wenn n groß ist, wird diese Größe im wesentlichen gleich $1,5n$. Demgemäß wird auf diese Konfiguration nachstehend Bezug genommen als "1,5n-Quadrat-Gitter".

[0180] Der in **Fig. 35** gezeigte $(n + 1)$ -Quadratgittertyp entspricht beispielsweise dem Fall, in dem n 6 oder weniger ist in dem $1,5n$ -Quadratgittertp. Die Anzahl von Schaltzellen wird nun betrachtet werden.

[0181] Wie aus den Gleichungen in **Fig. 50** verstanden wird, ist die Zahl von Schaltzellen mit nur aufwärts reflektierenden Spiegeln $(3n^2/4 + n/2 - 1)$, und die Zahl von Schaltzellen mit nur abwärts reflektierenden Spiegeln ist $(n^2/2)$. Demgemäß ist die Zahl aller Schaltzellen $(5n^2/4 + n/2 - 1)$.

[0182] Ein Raum zum Anordnen von Strahlkondensorvorrichtungen wie zum Beispiel Stablinsen in der Opto-Schaltanrichtung ist definiert, wenn n 8 ist oder größer. In diesem Fall ist die Anzahl von Linsen $(5n/2 - 2)$.

[0183] In dem Fall, dass n ein Vielfaches von vier ist, in der in **Fig. 49** gezeigten bevorzugten Ausführungsform, ist die Schalteinrichtungsgröße $(3n/2 - 1) \times (3n/2 - 1)$, und in dem Fall, dass n kein Vielfaches von vier ist, ist die Schalteinrichtungsgröße $(3n/2 - 2) \times (3n/2 - 2)$. Die Schalteinrichtungsgröße ist um $(n/2 - 1)$ größer als die Schalteinrichtungsgröße von $n \times n$.

[0184] Tabelle 1 zeigt als Beispiel den Zusammenhang zwischen der Zahl von Eingangs- und Ausgangskanälen, der Zahl von Strecken von dem Eingangskanal #2 zum Ausgangskanal # n , die Größenzunahme und die Schalteinrichtungsgröße in der bevorzugten in **Fig. 49** gezeigten Ausführungsform.

[0185]

[Tabelle 1]

Zahl der Eingangs- und Ausgangskanäle	4 x 4	6 x 6	8 x 8	10 x 10	12 x 12	14 x 14	16 x 16	18 x 18	20 x 20
Zahl von Strecken von Eingangskanal #2 zu Ausgangskanal #n	2	2	3	3	4	4	5	5	10
Größenzunahme	+1	+1	+3	+3	+5	+5	+7	+7	+9
Schalteinrichtungsgröße	5 x 5	7 x 7	11 x 11	13 x 13	17 x 17	19 x 19	23 x 23	25 x 25	29 x 29

Während die Spiegel **4** und **6** als feste Spiegel verwendet werden, können Schaltzellen an den Reflektionspunkten in Übereinstimmung mit anderen bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung vorge-

sehen sein. Ferner kann während n in der obigen Beschreibung in einer $n \times n$ -Opto-Schaltanordnung eine gerade Zahl ist, auch eine ähnliche Funktion erhalten werden, falls n eine ungerade Zahl ist.

[0186] In dem Fall, dass $n \geq 8$ ist oder größer, ist eine Linsenzone zum Anordnen von Strahlkondensatorvorrichtungen wie zum Beispiel Stablinse auf dem Substrat **2** definiert, wie in **Fig. 51** gezeigt. Wie aus **Fig. 51** ersichtlich wird, ist die Anzahl von Linsen $(5n/2 - 2)$.

[0187] Die Konfigurationen der verschiedenen bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden in Tabellen 2 und 3 verglichen.

[0188] In Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, wie sie oben beschrieben worden ist, ist es möglich, eine in der Größe reduzierbare Opto-Schaltanordnung bereitzustellen, die Pfadabhängigkeit von Dämpfung eliminieren kann.

[0189] Diese von den spezifischen bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erzielten Wirkungen sind oben beschrieben worden, sodass die Beschreibung davon hier weggelassen wird.

[0190] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die Details der oben beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen beschränkt. Der Schutzbereich der Erfindung ist definiert durch die beiliegenden Patentansprüche und alle in den Äquivalenzbereich des Schutzbereichs der Patentansprüche fallenden Änderungen und Modifikationen sind demnach von der Erfindung umfasst.

[Tabelle 2]

	Quadratgittergrundtyp		Quadratgitter-A- Typ		Quadratgitter-B- Typ		Quadratgittertyp mit sphärischen Linsen		Quadratgittertyp mit Stablinsen	
	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	N x n
Zahl von Eingangs- und Ausgangskanälen	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	N x n
Größe	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n
Zahl von Schaltzellen	16	n ²	16	n ²	16	n ²	16	n ²	16	n ²
Opto-Pfadlänge	4	n	4	n	4	n	5	n + 1	6	n + 2
Zahl von Reflektionen	2 oder 4 oder 1	2 oder 4 oder 1	1 oder 3	1 oder 3	0 oder 2 oder 4	0 oder 2 oder 4	2 oder 4 oder 6	2 oder 4 oder 6	2 oder 4	2 oder 4
Schalt- spiegel- reflektion art	5	n + 1	8	n ² /2	8	n ² /2	4	n	6	2n - 2
Abwärts- reflektion	5	n + 1	8	n ² /2	8	n ² /2	4	n	6	2n - 2
Bidirek- tionale Reflektion	6	n ² -2n-2	---	---	---	---	8	n ² -2n	8	n ² -3n+4
Simultane bidirek- tionale Reflektion	---	---	---	---	---	---	5	alle	---	---
Einfügen von Linsen	---	---	---	---	---	---	Sphäri- sche Linsen	Sphäri- sche Linsen	Stab- linsen	Stab- linsen
Anzahl der Linsen	---	---	---	---	---	---	4	N	8	2n
Bemerkungen		*1		*2		*3				

*1: Blockierend

*2: Optische Eingangspfade von ungeraden und geraden Kanälen überkreuzen sich und optische Pfade von ungeraden und geraden Kanälen überkreuzen sich. Nichtblockierend.

*3: Schaltlogik in der ersten Spalte und der N-ten Spalte für ungeradzahlige Kanäle ist invertiert. Nichtblockierend.

[Tabelle 3]

	V-förmig angeordneter Typ		(n+1)-Quadratgittertyp		(n+1)-Quadratgittertyp mit Stablinsen		1,5n-Quadratgittertyp	
	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	n x n	4 x 4	N x n
Zahl von Eingangskanälen und Ausgangskanälen	6 x 6	2(n-1)	5 x 5	(n+1)x(n+1)	6 x 6	(n+2)x(n+2)	5 x 5	(1,5n-1)x(1,5n-1)
Größe	19	n ² +n-1	22	n ² +2n-2	22	n ² +2n-2	22	1,25n ² +0,5n-1
Zahl von Schaltzellen	6	2(n-1)	5	n+1	6	n+2	5	1,5n-1
Opto-Pfadlänge	2	2	2	2	2	2	2	2
Zahl von Reflektionen	15	n ² -1	13	n(n+1)/2-1+n	13	n(n+1)/2-1+n	13	0,75n ² +0,5n-1
Schaltspiegelart	4	n	9	n(n+1)/2-1	9	n(n+1)/2-1	9	0,5n ²
Abwärtsreflektion	---	---	---	---	---	---	---	---
Bidirektionale Reflektion	---	---	---	---	---	---	---	---
Simultane bidirektionale Reflektion	---	---	---	---	---	---	---	---
Linsentyp	---	Stablinsen	---	---	Stablinsen	Stablinsen	---	Stablinsen
Anzahl der Linsen	---	2n	---	---	8	2n	---	2,5n-2
Bemerkungen	---	*4	---	*5	---	---	---	*6

*4: In dem Fall von n > 5 können Stablinsen eingefügt werden. Nichtblockierend
 *5: Entsprechend dem Fall, in dem n gleich oder kleiner 6 ist in dem 1,5n-Quadratgittertyp. Blockierend.

*6: In dem Fall, dass n > 8 gilt, können Stablinsen eingefügt werden. Blockierend.

Patentansprüche

1. Opto-Schaltanordnung, umfassend:
eine Vielzahl von optischen Eingangsanschlüssen (10);
eine Vielzahl von optischen Ausgangsanschlüssen (12); und
eine Vielzahl von Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen (14), vorgesehen zwischen der Vielzahl optischer Eingangsanschlüsse und der Vielzahl optischer Ausgangsanschlüsse, wobei jede der Vielzahl von Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen ein bewegliches Opto-Reflektorteil hat; und gekennzeichnet durch eine außerhalb der Vielzahl von Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen (14) vorgesehene Reflektorvorrichtung (4, 6) zum Reflektieren von Licht von den optischen Eingangsanschlüssen (10) oder Licht von den Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen (14), wobei die Schaltanordnung dergestalt ist, dass in einen der Eingangsanschlüsse (10) eingegebenes Licht direkt zu einem der Ausgangsanschlüsse (12) geführt wird oder durch Reflektion an einer oder mehreren der Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen (14) mit oder ohne Reflektion an der Reflektorvorrichtung (4, 6).
2. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 1, wobei alle Lichtwellenpfadlängen von den Eingangsanschlüssen zu den Ausgangsanschlüssen gleich sind.
3. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 1, wobei alle optischen Dämpfungen von den Eingangsanschlüssen zu den Ausgangsanschlüssen gleich sind.
4. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 1, wobei optische Eingangsgrößen von den optischen Eingangsanschlüssen zu angrenzenden der Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen einander in der Richtung kreuzen.
5. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 1, wobei Anfangsbetriebsbedingungen benachbarter der Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen zum Empfangen von Licht von den optischen Eingangsanschlüssen gegenseitig zueinander sind.
6. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 1, mit n Eingangsanschlüssen (10), wobei n eine natürliche Zahl ist und m Ausgangsanschlüssen (12), wobei m eine natürliche Zahl ist; wobei die Lichtwellenpfadschaltvorrichtungen (14) Schaltzellen umfassen und die Opto-Schaltanordnung eine Einheitsgröße hat definiert als der Abstand zwischen irgendwelchen zwei benachbarten der Schaltzellen; wobei die Opto-Schaltanordnung außerdem umfasst:
ein Substrat (2) mit einer Größe von $K \times L$ mal der Einheitsgröße, wobei K eine ganze Zahl ist, die $n < K$ erfüllt und L eine ganze Zahl ist, die $m < L$ erfüllt;
wobei die Reflektorvorrichtung (4, 6) erste und zweite Spiegel parallel zueinander und rechtwinklig zu einer Hauptoberfläche des Substrats umfasst; und wobei die Opto-Schaltanordnung eine optische Einheit umfasst, die eine Vielzahl von Eingangswellenleiterpfaden für die n Eingänge und eine Vielzahl von Ausgangswellenleiterpfaden für die m Ausgänge bereitstellt, wobei die Vielzahl von Eingangswellenleiterpfaden relativ zu den ersten und zweiten Spiegeln (4, 6) geneigt ist, die Vielzahl von Ausgangswellenleiterpfaden relativ zu den ersten und zweiten Spiegeln (4, 6) geneigt ist; und wobei jede der beweglichen Opto-Reflektorvorrichtungen (14) einen relativ zu dem Substrat (2) beweglichen Schaltspiegel umfasst.
7. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 6, wobei jede der Schaltzellen zwischen einer ersten Bedingung, in der der Schaltspiegel parallel zur Hauptoberfläche des Substrats angeordnet ist und einer zweiten Bedingung, in der der Schaltspiegel rechtwinklig zu der Hauptoberfläche des Substrats angeordnet ist, umgeschaltet wird.
8. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 6, wobei die Vielzahl von Schaltzellen $n \times m$ Schaltzellen umfasst und wobei die $n \times m$ Schaltzellen an $n \times m$ Gitterpositionen der Hauptoberfläche vorgesehen sind.
9. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 6, wobei $n = m = K = L$ gilt.
10. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 6, wobei die Vielzahl von Eingangswellenleiterpfaden einander kreuzende ungeradzahlig nummerierte Kanäle und geradzahlig nummerierte Kanäle umfasst, und die Vielzahl von Ausgangswellenleiterpfaden einander kreuzende ungeradzahlig nummerierte Kanäle und geradzahlig nummerierte Kanäle umfasst.
11. Opto-Schaltanordnung nach Anspruch 6, wobei die Vielzahl von Eingangswellenleiterpfaden parallel zueinander sind und die Vielzahl von Ausgangswellenleiterpfaden parallel zueinander sind.

12. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 11, wobei n mit n Eingängen verbundene von den Schaltzellen abwechselnd logisch invertiert sind und m mit m Ausgängen verbundene von den Schaltzellen abwechselnd logisch invertiert sind.

13. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 6, wobei:
 $n = m = K$ und $L = n + 1$ gilt und n eine gerade Zahl ist; und
wenn K und L jeweils die Anzahl von Zeilen und die Anzahl von Spalten repräsentieren, die Opto-Schalteinrichtung außerdem n in der $(n/2 + 1)$ -ten Spalte vorgesehene Linsen umfasst.

14. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 13, wobei jede der n Linsen eine sphärische Linse umfasst.

15. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 6, wobei:
 $n = m = K$ und $L = n + 1$ gilt und n eine gerade Zahl ist; und
wenn K und L jeweils die Anzahl von Zeilen und die Anzahl von Spalten repräsentieren, die Opto-Schalteinrichtung außerdem n in der $[(n + 1)/2 + 1]$ -ten Spalte vorgesehene Linsen umfasst.

16. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 15, wobei jede der n Linsen eine sphärische Linse umfasst.

17. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 6, wobei:
 $n = m = K$ und $L = n + 1$ gilt und n eine gerade Zahl ist; und
wenn K und L jeweils die Anzahl von Zeilen und die Anzahl von Spalten repräsentieren, die Opto-Schalteinrichtung außerdem n in einer beliebigen der Spalten vorgesehene Linsen umfasst.

18. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 6, wobei:
 $n = m$, $K = n + 1$ und $L = n + 2$ gilt; und
die Opto-Schalteinrichtung außerdem $2n$ im wesentlichen entlang einer Diagonallinie der Hauptoberfläche vorgesehene Linsen umfasst.

19. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 18, wobei jede der $2n$ Linsen eine Stablinse umfasst.

20. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 11, wobei die Vielzahl von Schaltzellen n mit n Eingängen verbundene erste Schaltzellen umfasst und mindestens $(n^2 - 1)$ relativ nahe an den m Ausgängen vorgesehene zweite Schaltzellen umfasst

21. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 20, wobei:
jede der ersten Schaltzellen den entsprechenden zuführenden Eingangswellenleiterpfad zwischen einem ersten, Reflektion an dem ersten Spiegel einschließenden Lichtwellenpfad und einem zweiten, keine Reflektion an dem ersten Spiegel einschließenden Lichtwellenpfad umschaltet; und
jede der zweiten Schaltzellen angeordnet ist, um jedem der ersten und zweiten Lichtwellenpfade zu entsprechen und einen endgültigen Lichtwellenpfad bestimmt, der jeden Ausgang erreicht.

22. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 20, wobei:
die Positionen der ersten Schaltzellen in Form von (Zeile, Spalte) ausgedrückt werden als $(i, 1)$; $i = 1$ bis n ; und
die Positionen der zweiten Schaltzellen ausgedrückt werden in der Form von (Zeile, Spalte) als:
 $(n/2 + i, 2(n - 1) - n/2 + 1 - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$
 $(n/2 + i, 2(n - 1) - n/2 + 2 - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$
 $(n/2 + i, + 1, 2(n - 1) - n/2 + 1 - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$
 $(n - 1 + i, 2(n - 1) - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$
 $(n + i, 2(n - 1) - i)$; $i = 0$ bis $(n - 1)$

23. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 20, wobei $K = L = 2(n - 1)$ gilt.

24. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 20, wobei $K = L = 2n - 1$ gilt.

25. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 24, wobei mindestens $(n^2 - 1)$ zweite Schaltzellen maßgebend werden, wenn die Anzahl der zweiten Schaltzellen gleich oder größer als n^2 ist, wodurch die zweiten Spiegel überflüssig werden.

26. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 20, wobei $K = L = 2n$ gilt.

27. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 26, wobei mindestens $(n^2 - 1)$ zweite Schaltzellen maßgebend werden, wenn die Anzahl der zweiten Schaltzellen gleich oder größer als n^2 ist, wodurch die zweiten Spiegel überflüssig werden.

28. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 20, wobei die Opto-Schalteinrichtung außerdem eine Vielzahl von Linsen zwischen den ersten Schaltzellen und den zweiten Schaltzellen vorgesehen umfasst.

29. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 28, wobei jeder der Vielzahl von Linsen eine Stablinse umfasst.

30. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 28, wobei die Vielzahl von Linsen $2n$ Linsen umfasst.

31. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 28, wobei:
 n kleiner als 6 ist;
die Hauptoberfläche des Substrats einen Überschussraum hat; und
die Vielzahl von Linsen in dem Überschussraum vorgesehen ist.

32. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 28, wobei:
 n größer als 5 ist; und
die Vielzahl von Linsen auf der Hauptoberfläche des Substrats vorgesehen ist.

33. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 6, wobei:
 $K = L = n + 1 = m + 1$ gilt; und
die Vielzahl von Schaltzellen an $(n + 1) \times (n + 1)$ Gitterpositionen auf der Hauptoberfläche des Substrats vorgesehen sind.

34. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 33, wobei die Vielzahl von Schaltzellen erste Schaltzellen und zweite Schaltzellen umfasst;
der Schaltspiegel in jeder der ersten Schaltzellen in einer ersten Richtung orientiert ist; und
der Schaltspiegel in jeder der zweiten Schaltzellen in einer zweiten Richtung entgegengesetzt zur ersten Richtung orientiert ist.

35. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 34, wobei die Opto-Schalteinrichtung außerdem eine Vielzahl von zwischen den ersten Schaltzellen und den zweiten Schaltzellen vorgesehenen Linsen umfasst.

36. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 35, wobei jeder der Linsen eine Stablinse ist.

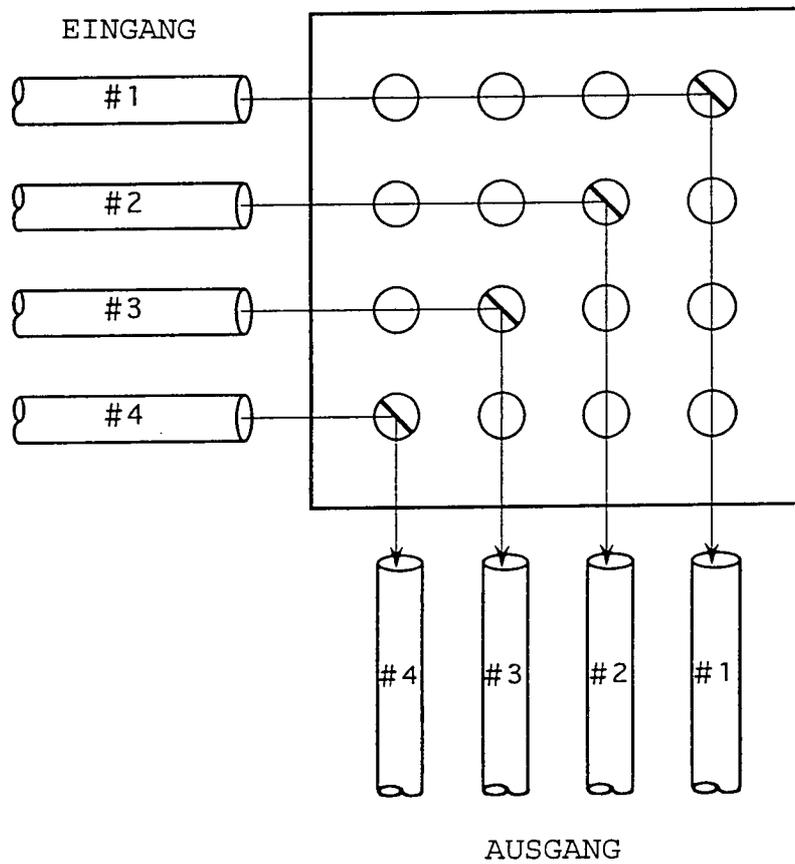
37. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 6, wobei die Opto-Schalteinrichtung außerdem eine an dem Substrat vorgesehene Linse umfasst.

38. Opto-Schalteinrichtung nach Anspruch 6, wobei $n = m$ gilt.

Es folgen 51 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

STAND DER TECHNIK



- ⊘ ; SCHALTZELLE (EIN-ZUSTAND; SPIEGEL EINGEFÜGT)
- ; SCHALTZELLE (AUS-ZUSTAND; SPIEGEL NICHT EINGEFÜGT)

FIG.2

STAND DER TECHNIK

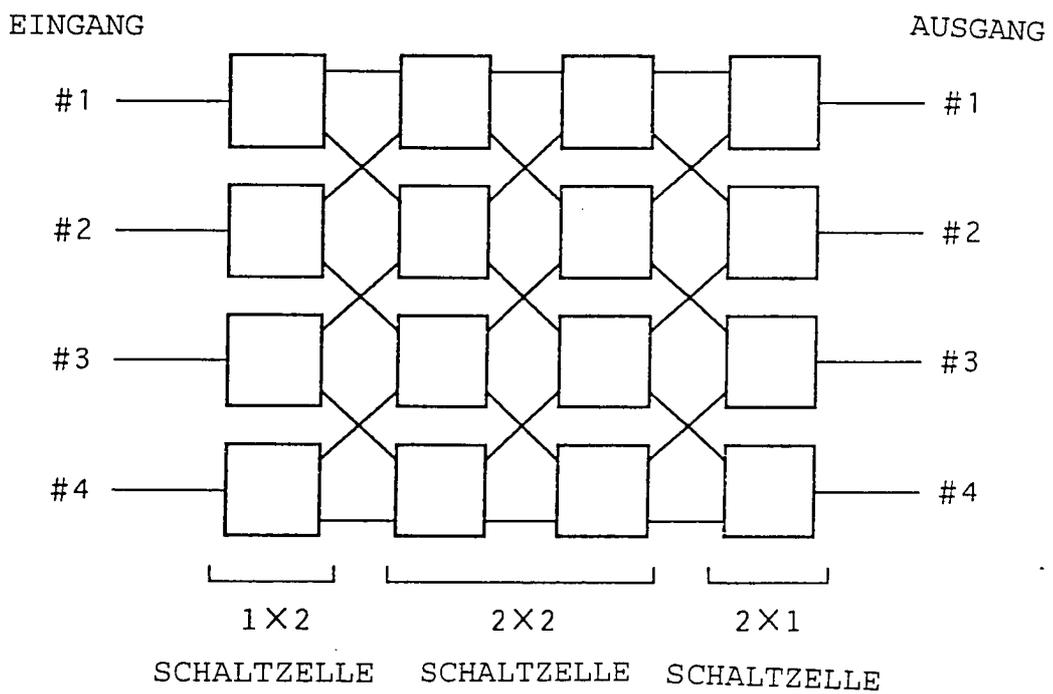


FIG.3

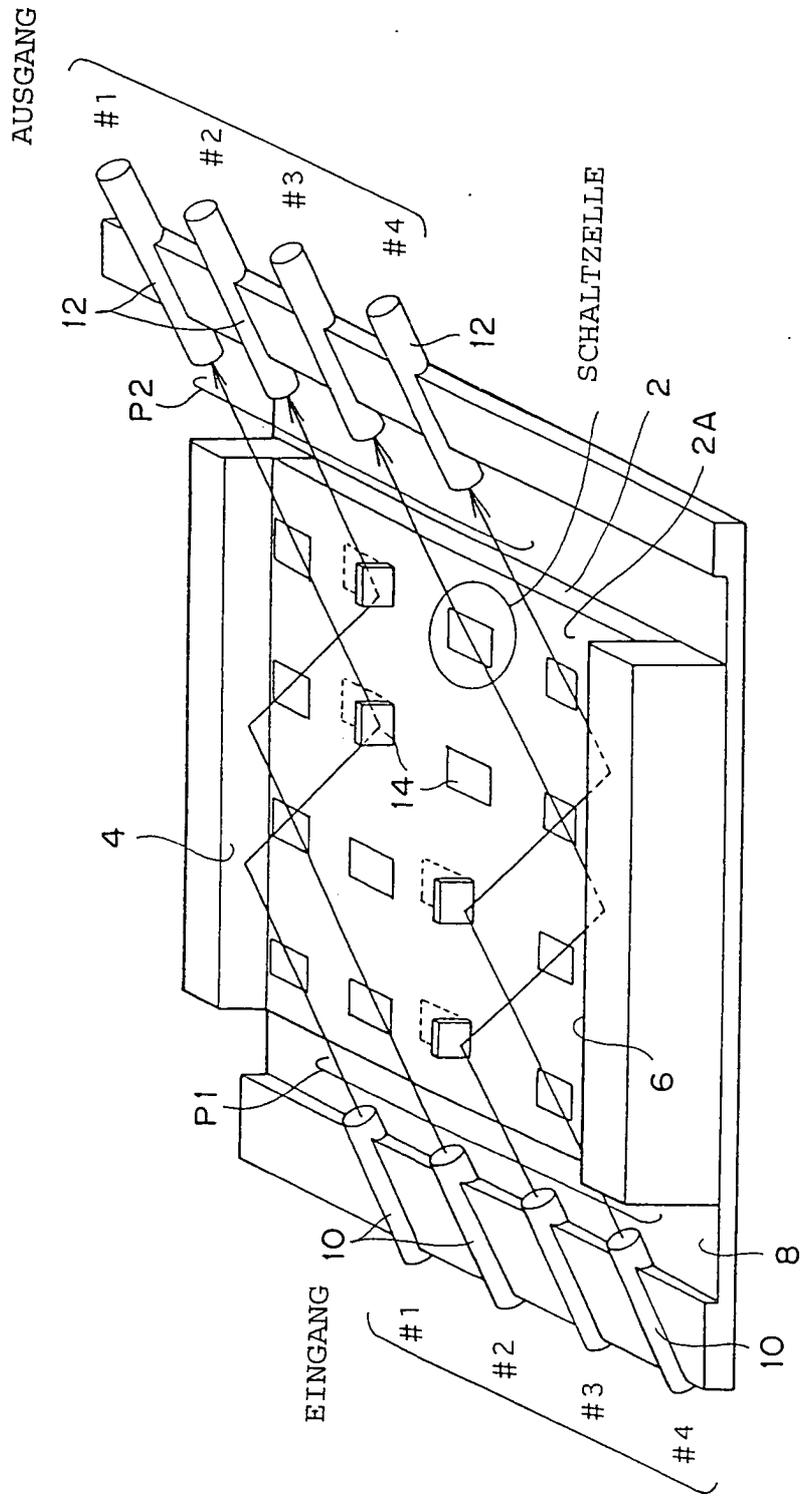


FIG.4A

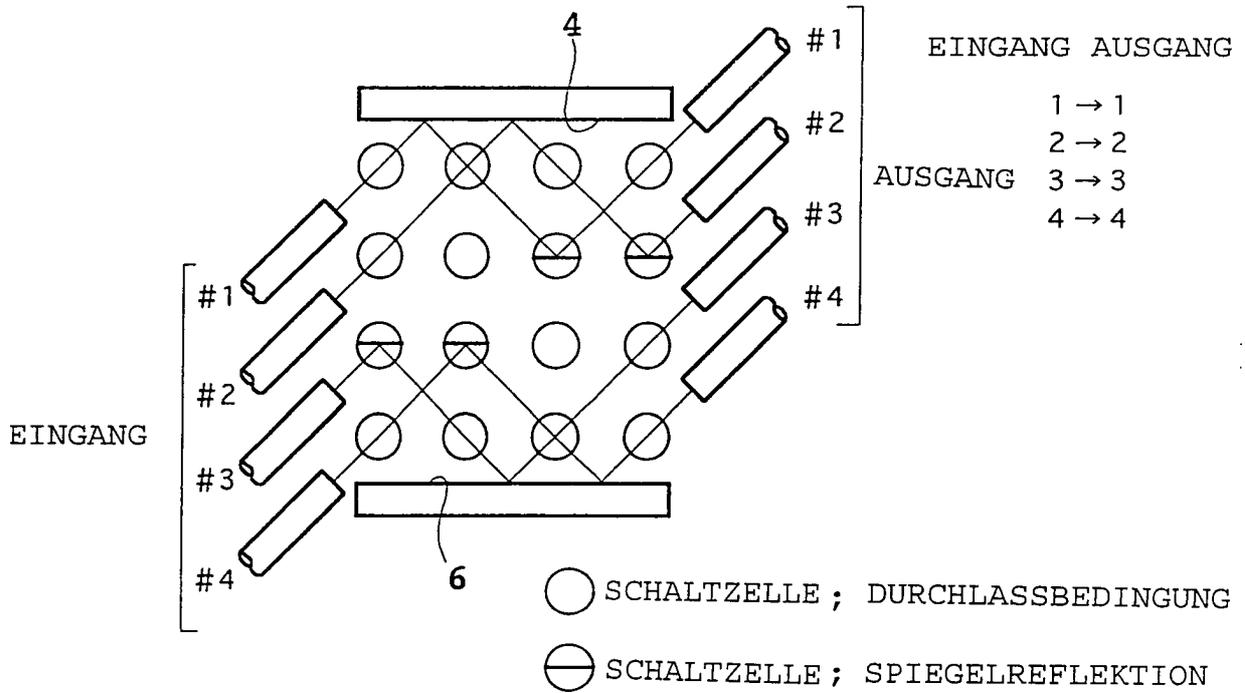


FIG.4B

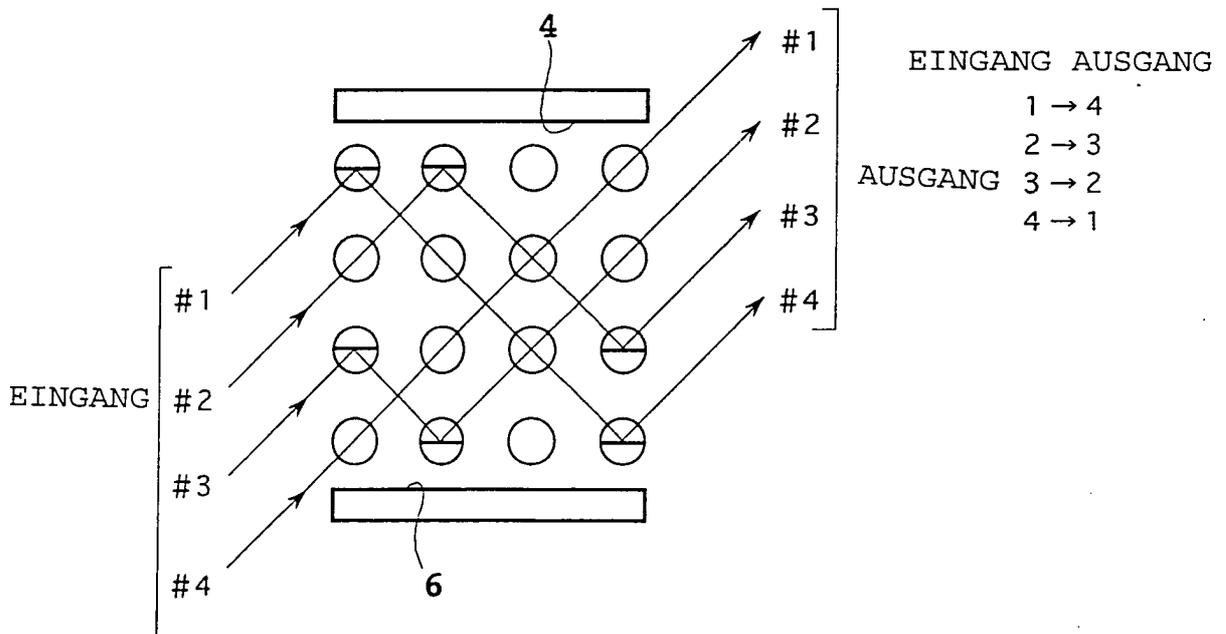


FIG. 5

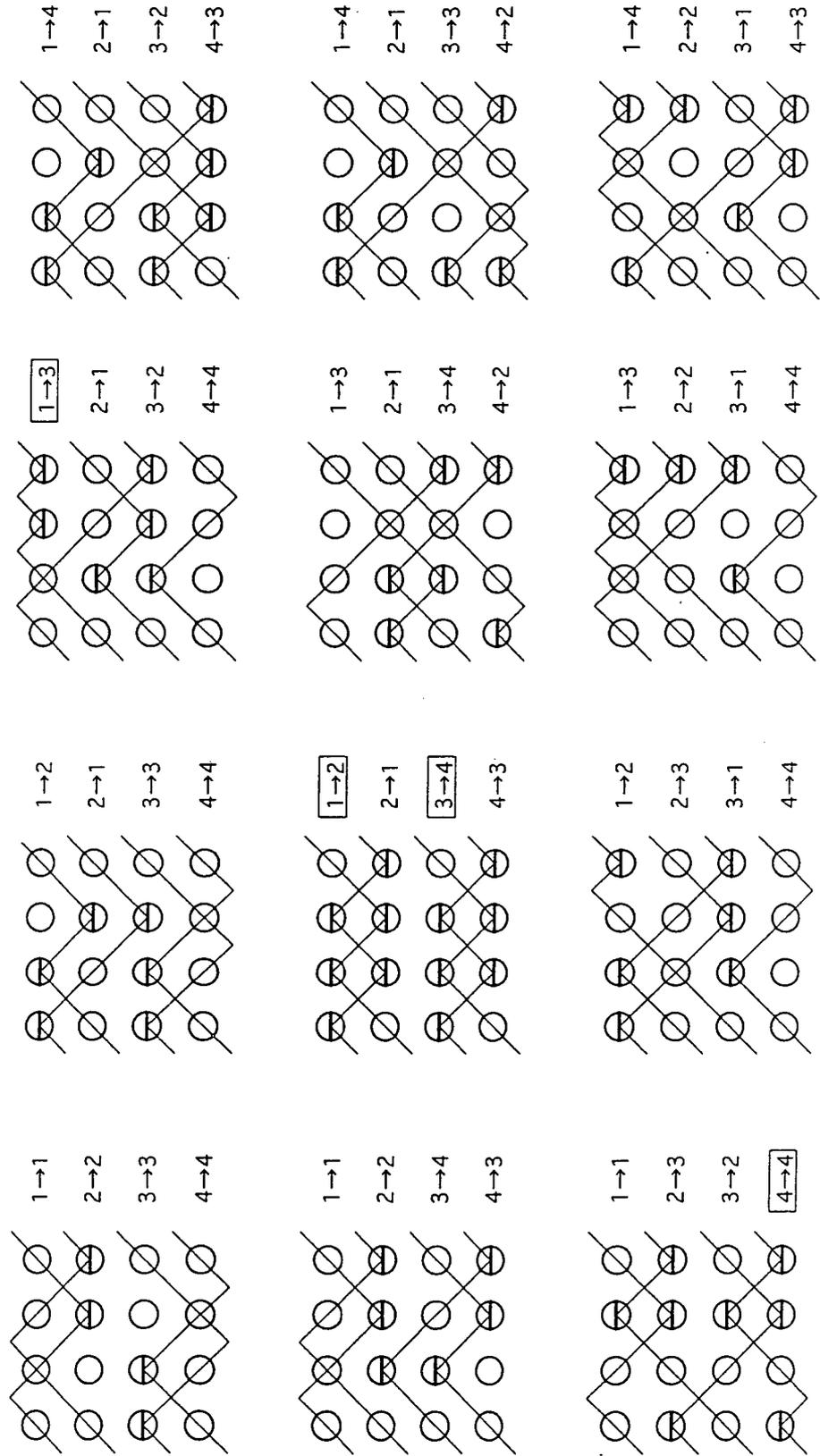
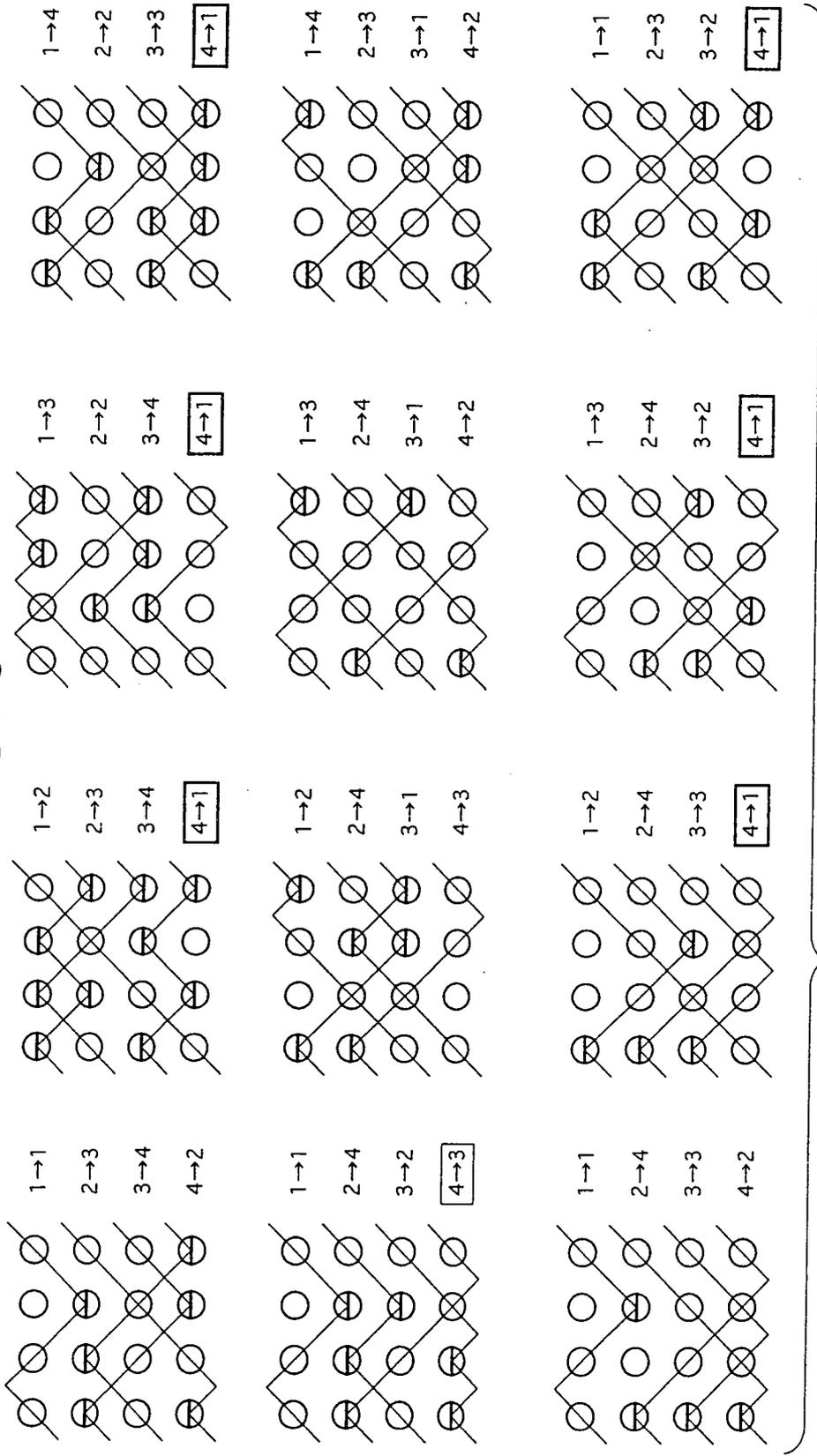


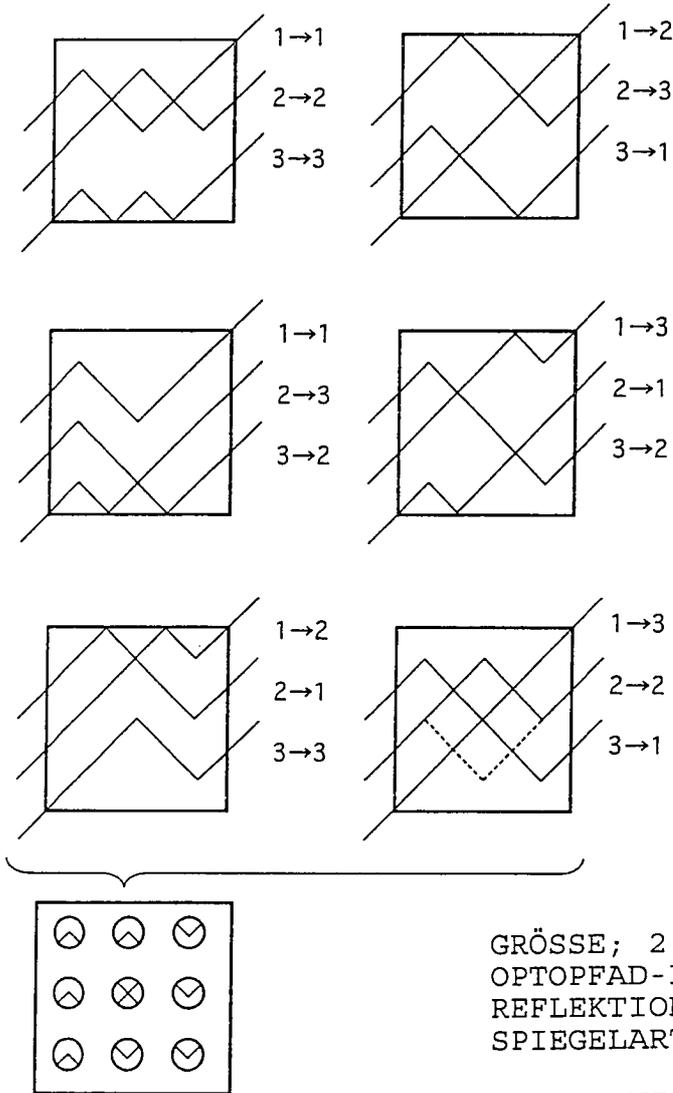
FIG. 6



✓ ⊗ ⊗ ⊗
 ⊗ ⊗ ⊗ ⊗
 ⊗ ⊗ ⊗ ⊗
 ⊗ ⊗ ⊗ ⊗

GRÖSSE; 4 x 4
 ZELLENANZAHL; 16
 OPTOPFAD-LÄNGE; 4
 REFLEKTIONSZAHL; 2/4/0
 SPIEGELARTEN; ABWÄRTSREFLEKTION; 5
 AUFWÄRTSREFLEKTION; 5
 BI-DIREKTIONALE REFLEKTION. c

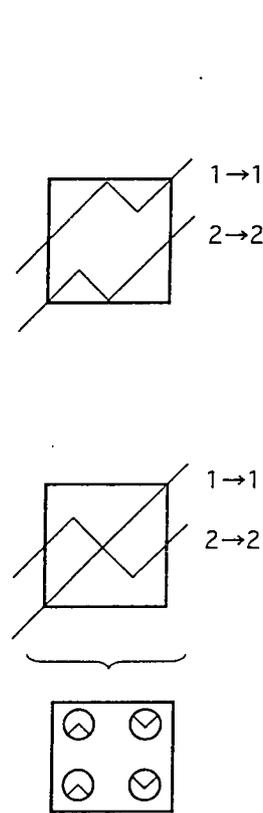
FIG.7A



GRÖSSE; 3 x 3
 OPTOPFAD-LÄNGE; 3
 REFLEKTIONSZAHL; 2/4/0
 SPIEGELARTEN; ABWÄRTSREFLEKTION; 4
 AUFWÄRTSREFLEKTION; 4
 BI-DIREKTIONALE REFLEKTION; 1
 ZELLENANZAHL; 9

3 x 3-OPTO-SCHALTER

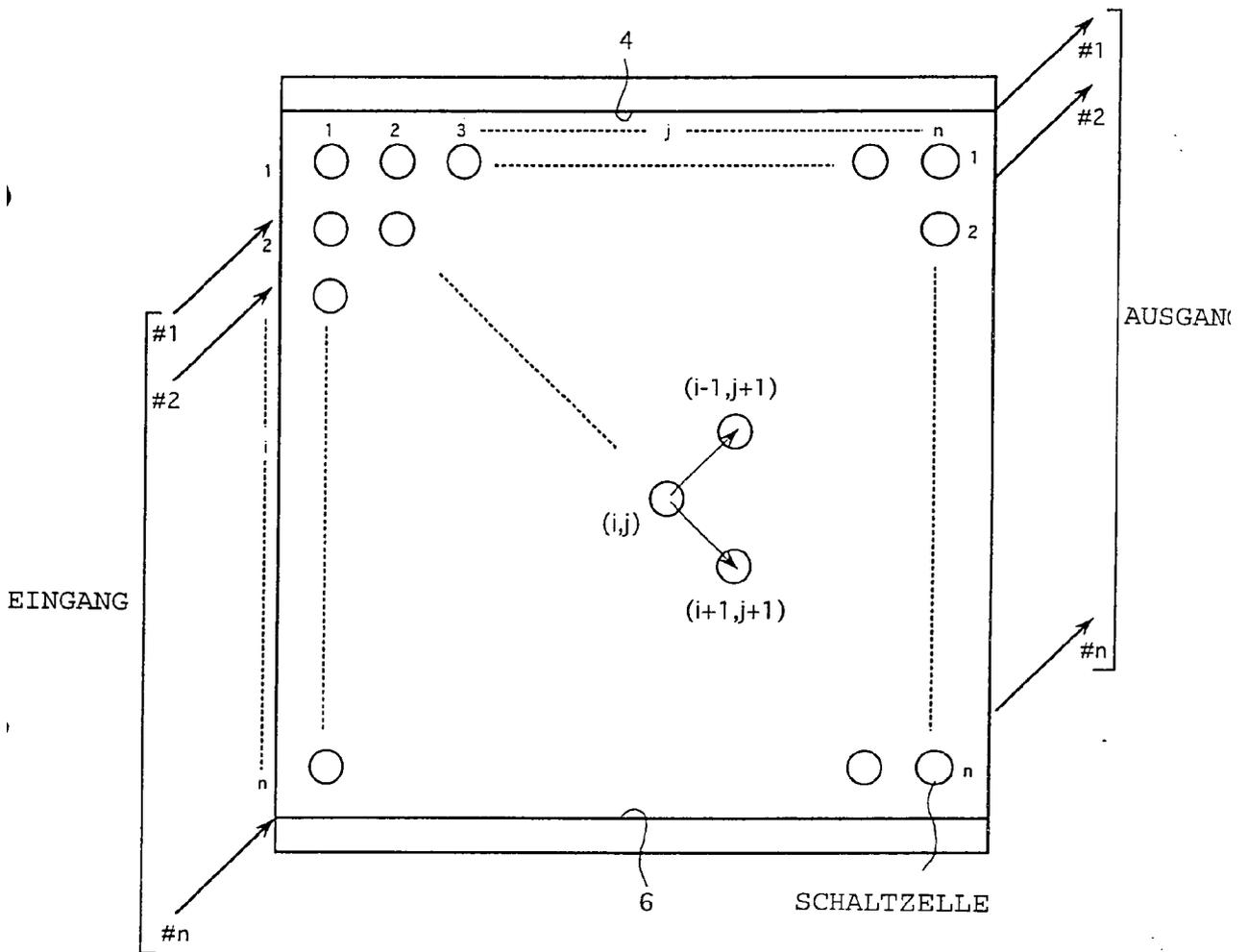
FIG.7B



GRÖSSE; 2 x 2
 OPTOPFAD-LÄNGE; 2
 REFLEKTIONSZAHL; 2/1
 SPIEGELARTEN; ABWÄRTSREFLEKTION; 2
 AUFWÄRTSREFLEKTION; 2
 ZELLENANZAHL; 4

2 x 2-OPTO-SCHALTER

FIG.8



SCHALTZELLENZAHL

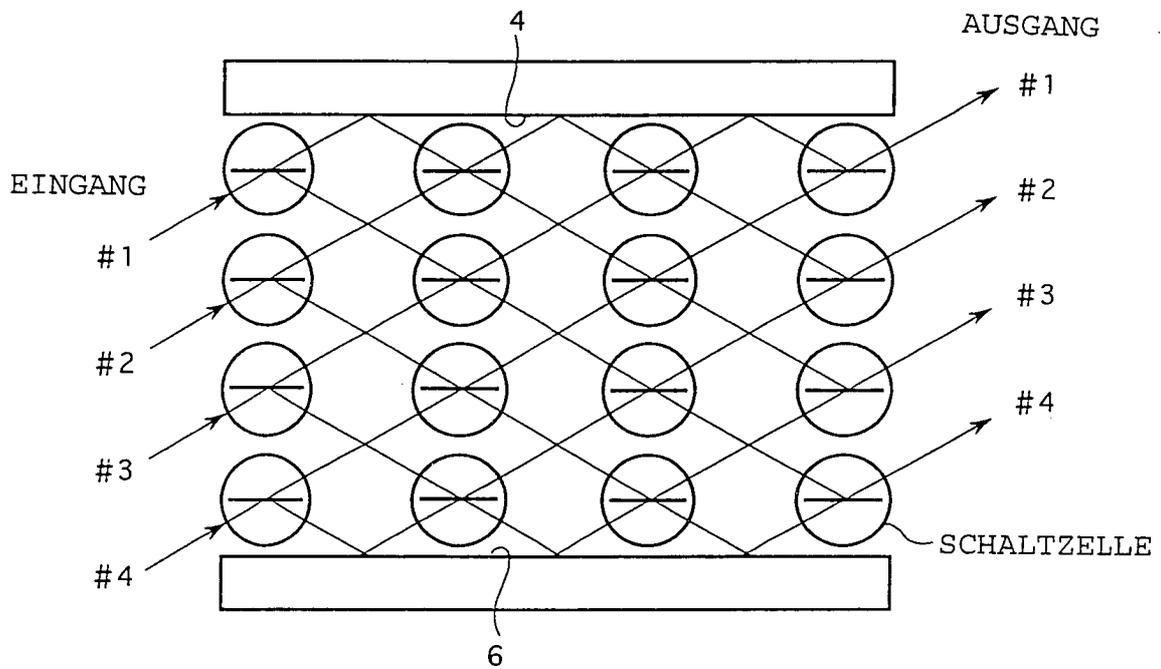
AUFWÄRTSREFLEKTION; $n+1$

ABWÄRTSREFLEKTION; $n+1$

BI-DIREKTIONALE REFLEKTION; $n^2 - 2n - 2$

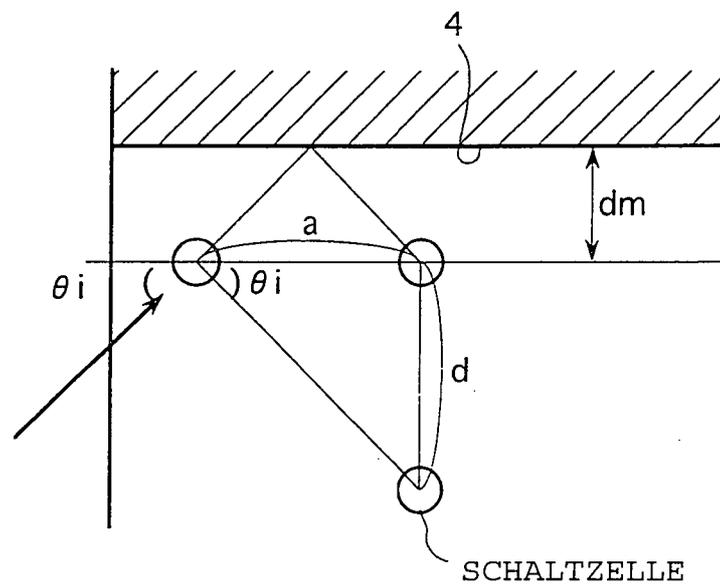
GESAMTZAHL; n^2

FIG.9



EINFALLSWINKEL; 30°

FIG.10



$$d = a \cdot \tan \theta_i$$

$$dm = 1/2 \cdot a \cdot \tan \theta_i$$

FIG. 11

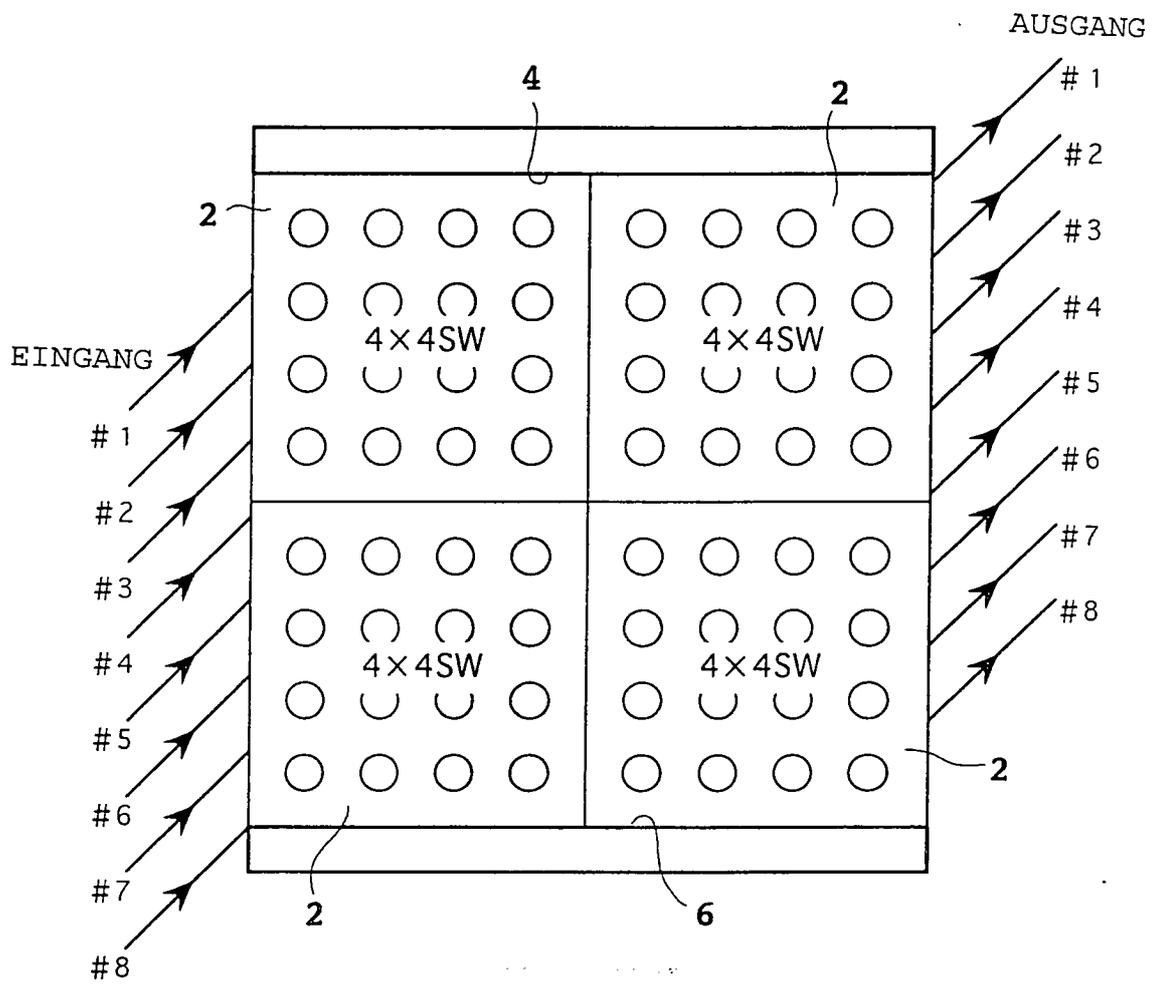


FIG.12A

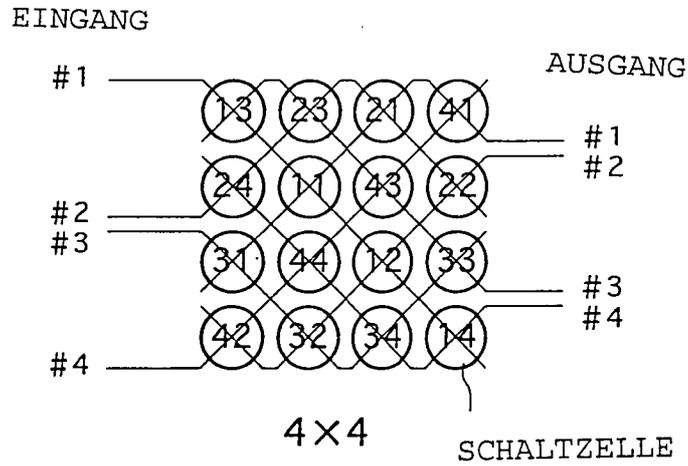


FIG.12B

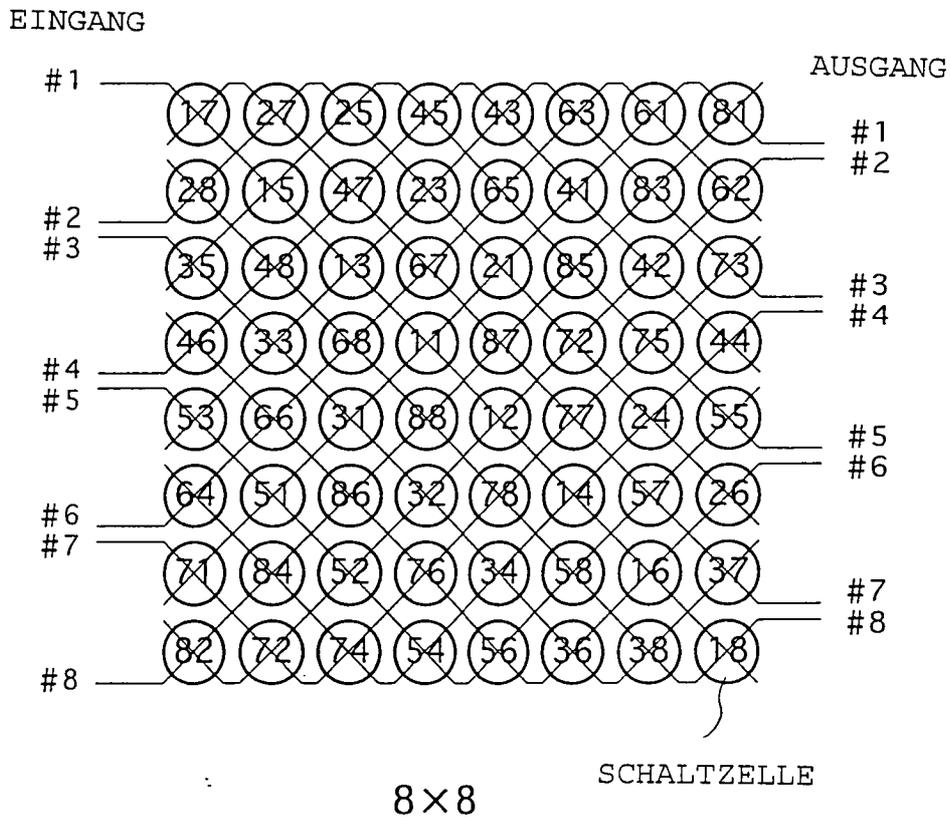


FIG.13A

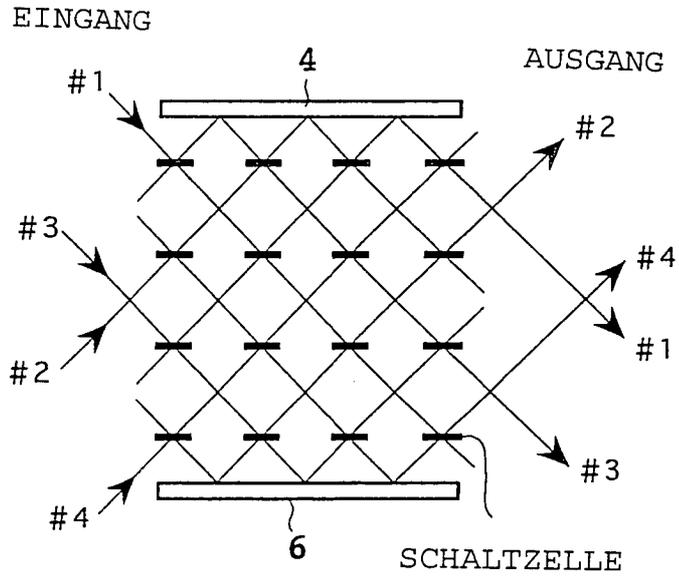


FIG.13B

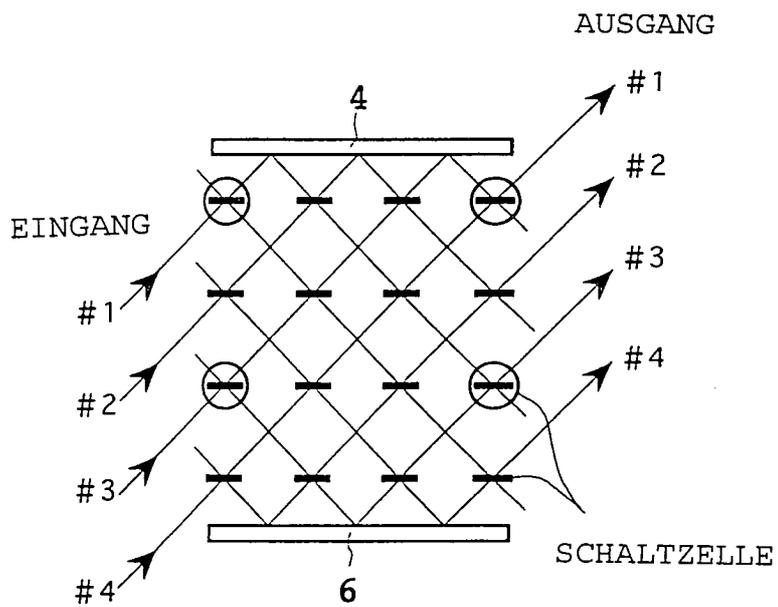


FIG. 14A

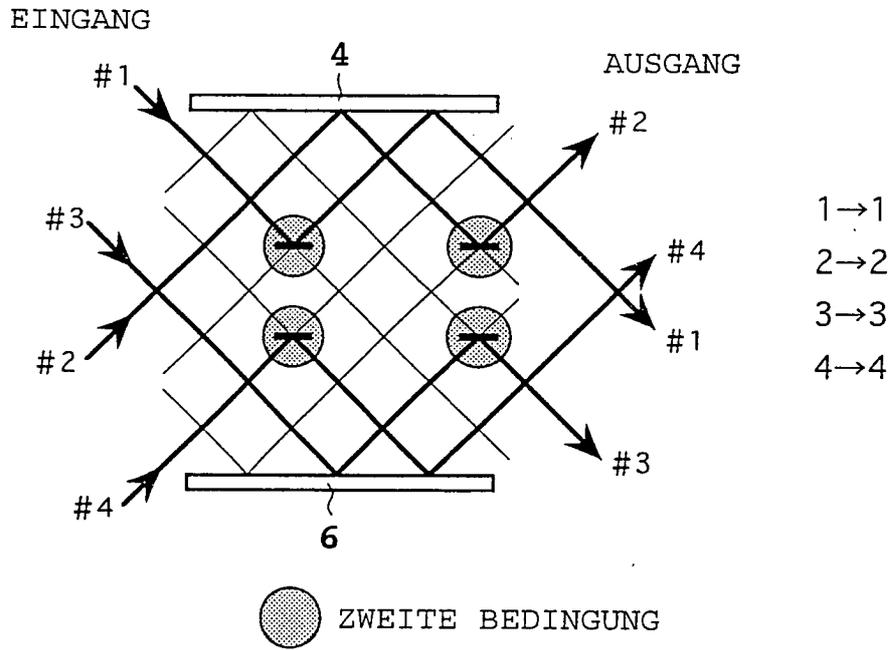


FIG. 14B

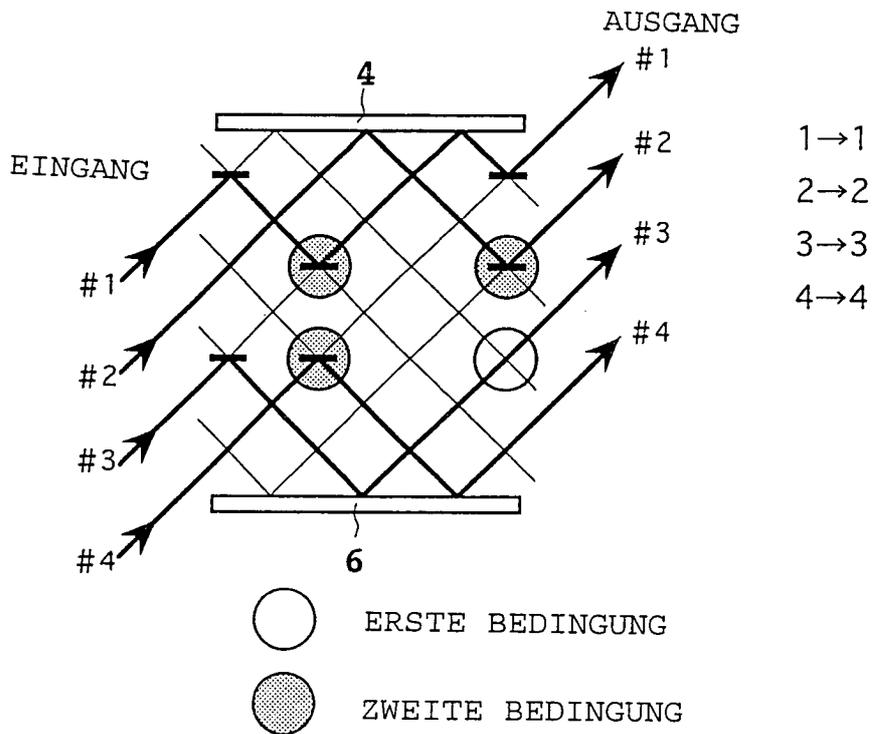


FIG.15

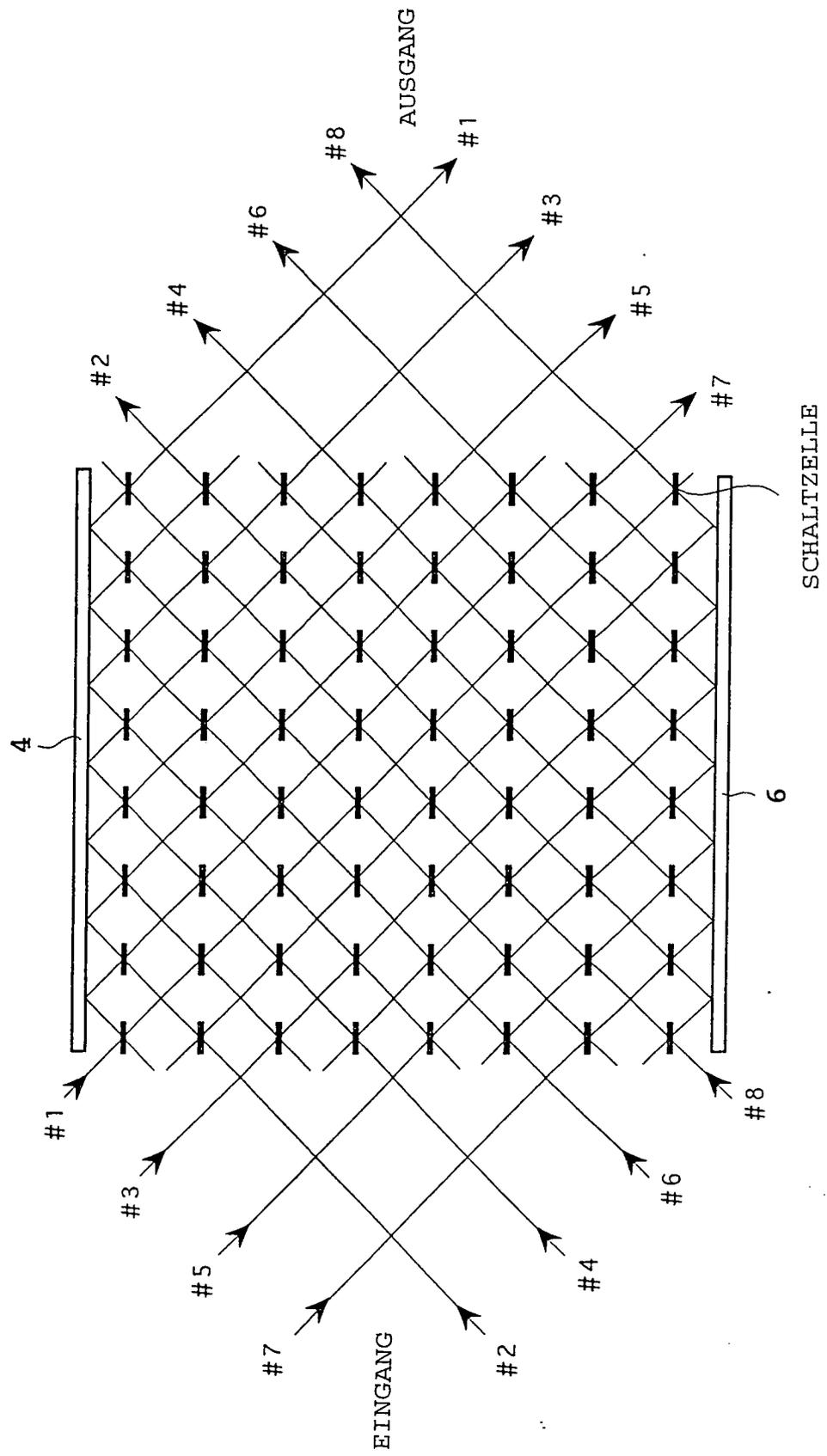


FIG.16

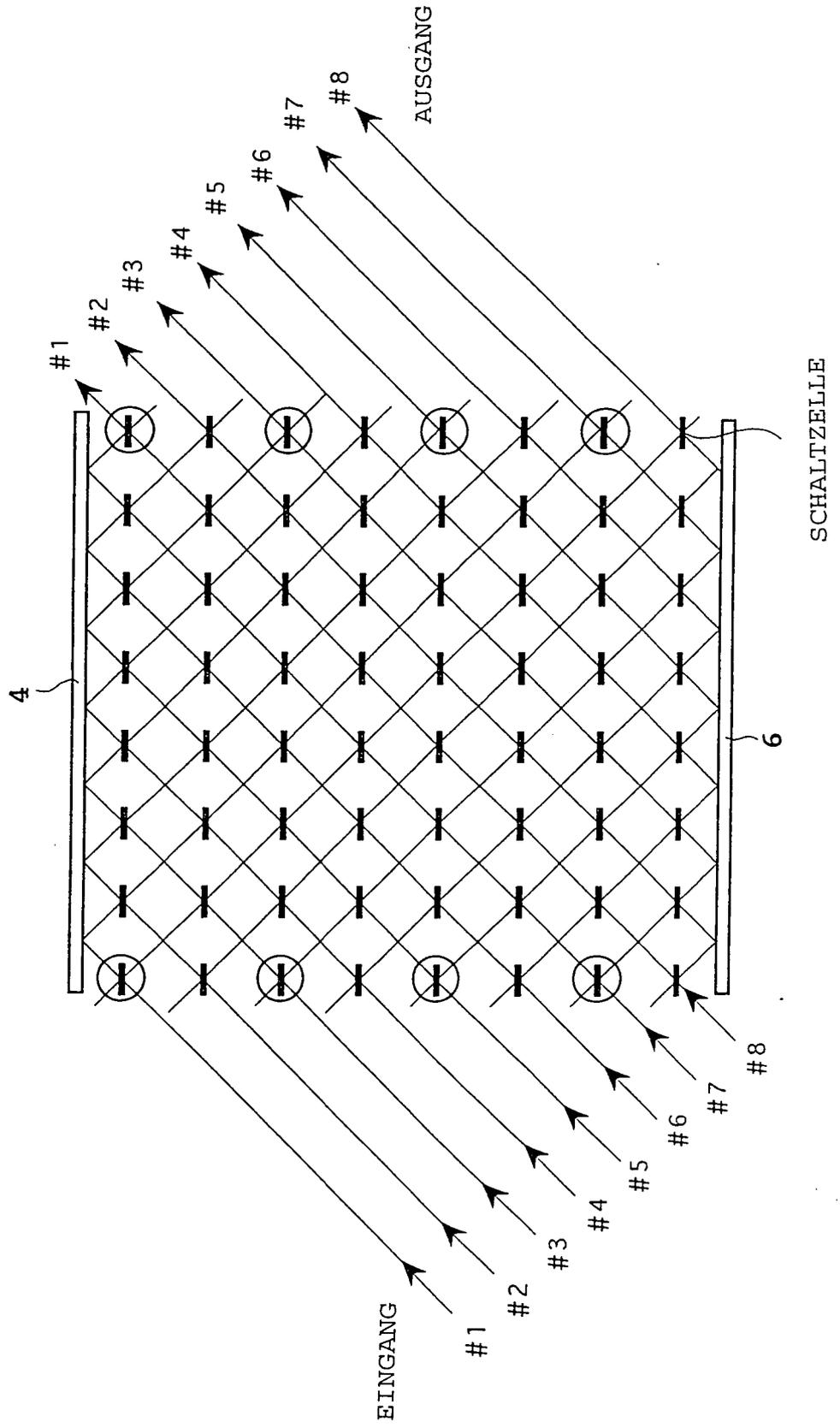


FIG.17A

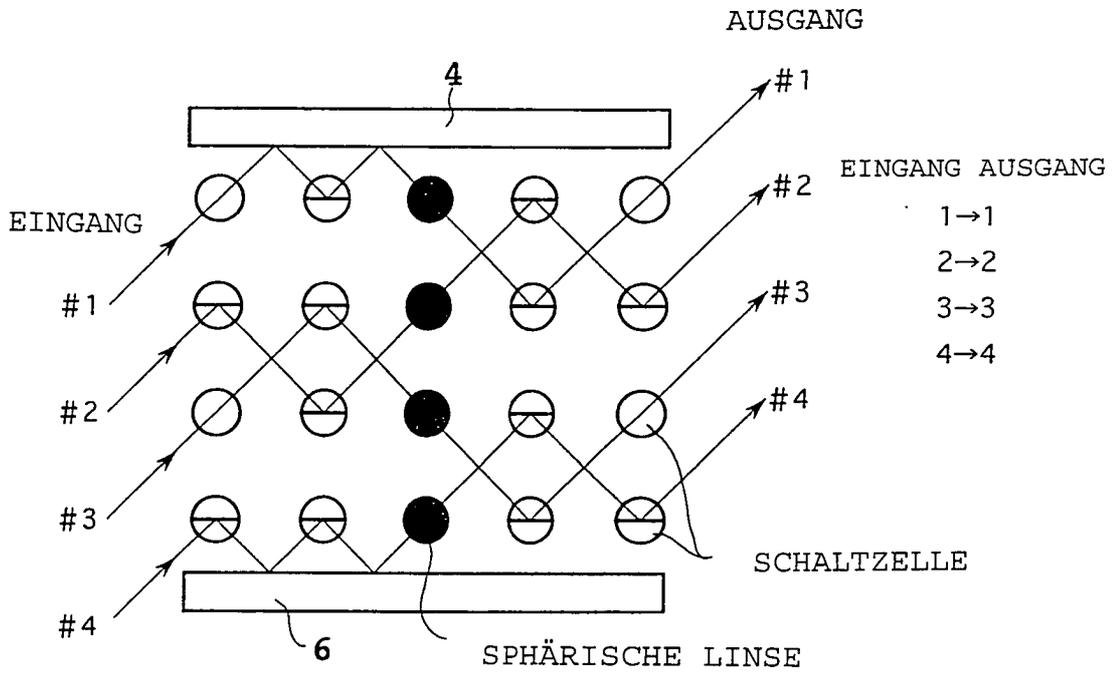


FIG.17B

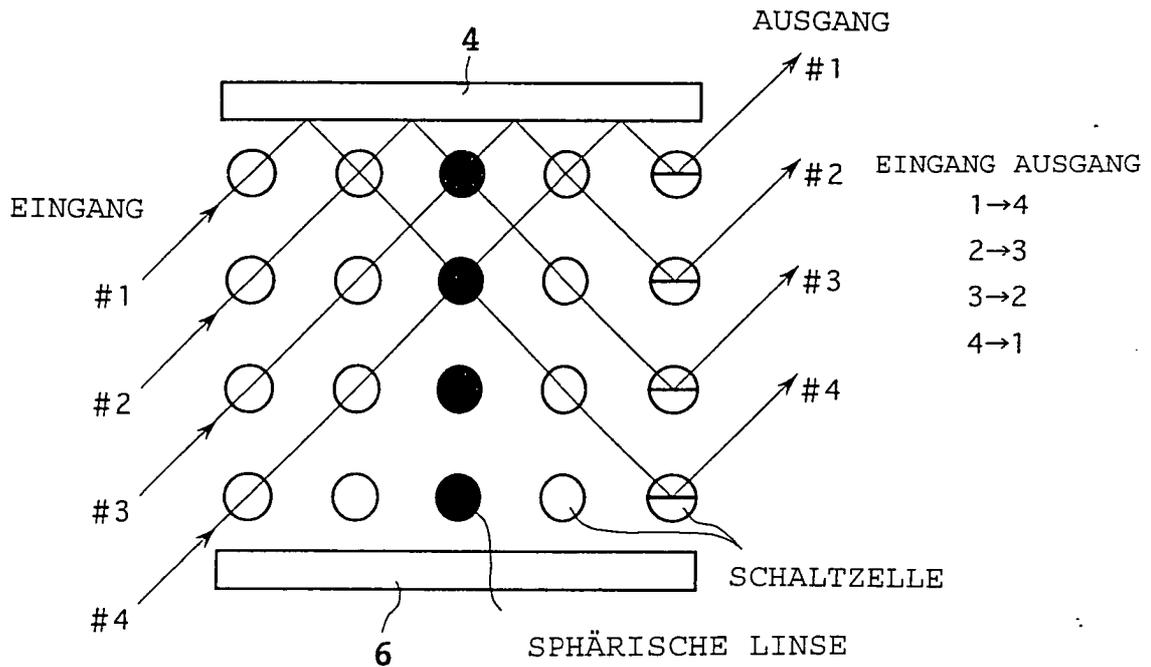
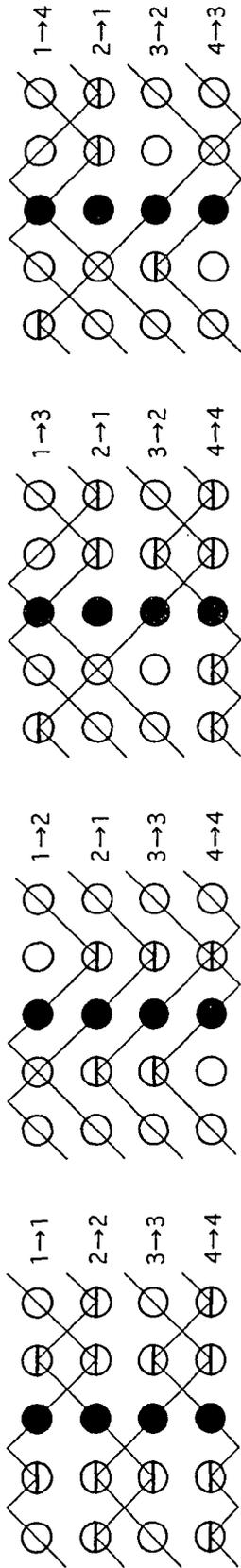
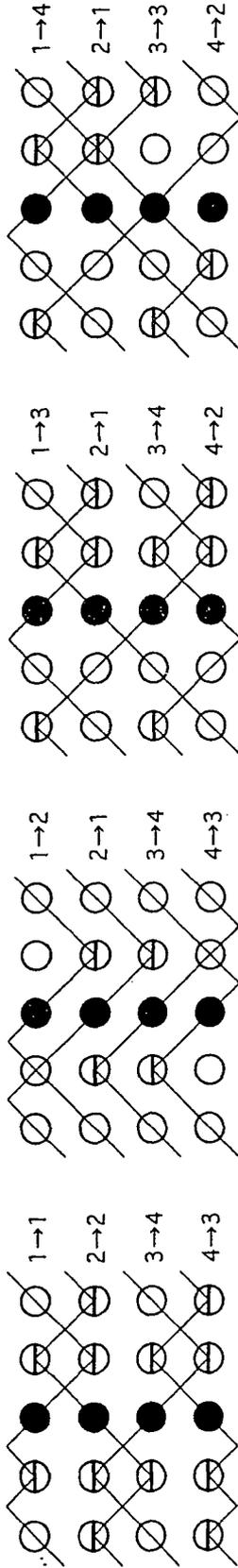


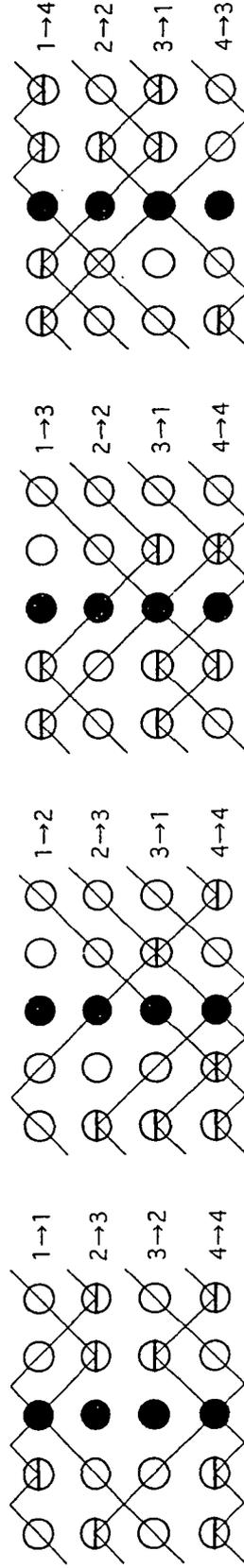
FIG.18



SIMULTANE BI-DIREKTIONALE REFLEKTION; EINE ZELLE



SIMULTANE BI-DIREKTIONALE REFLEKTION; ZWEI ZELLEN



SIMULTANE BI-DIREKTIONALE REFLEKTION; EINE ZELLE

FIG. 19

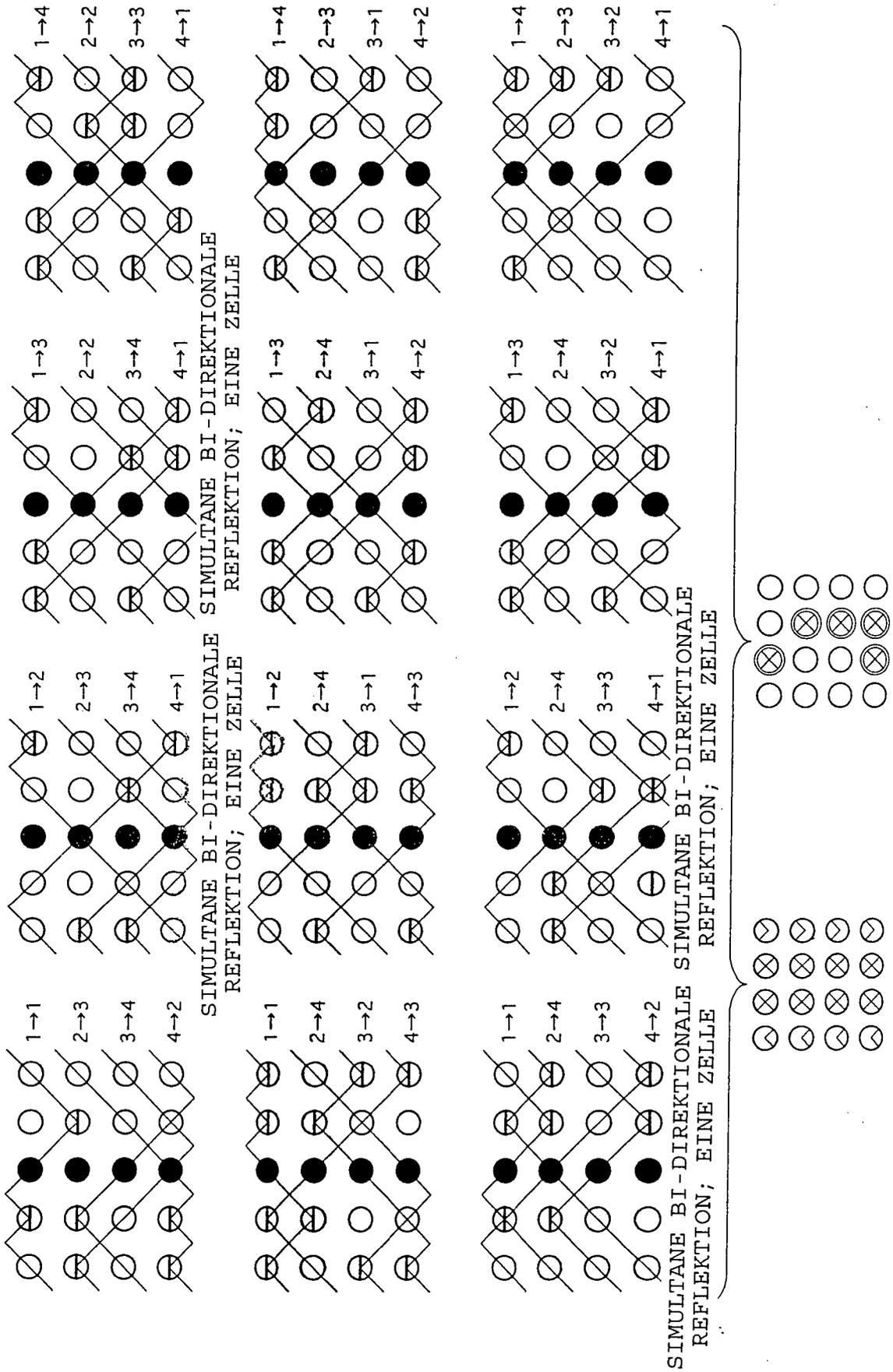
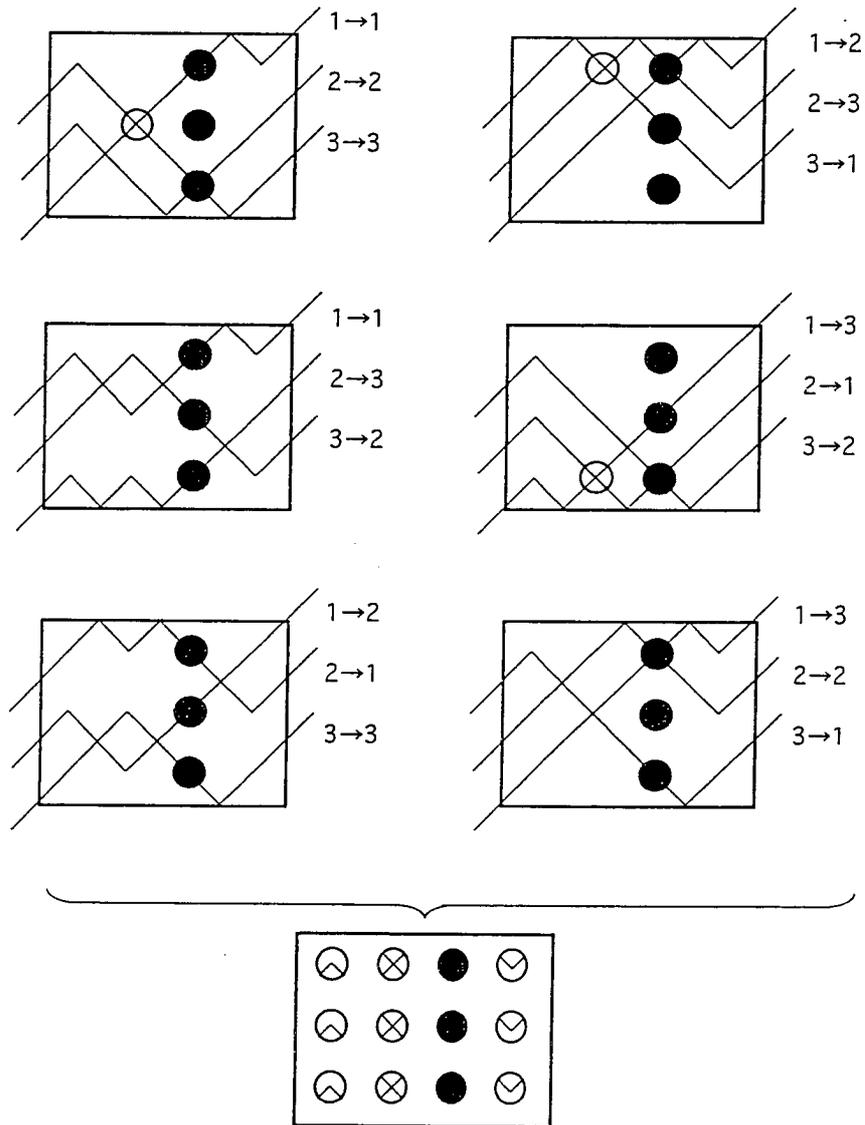


FIG.20



⊗ SIMULTAN BI-DIREKTIONALER REFLEKTIONSSPIEGEL

FIG.21

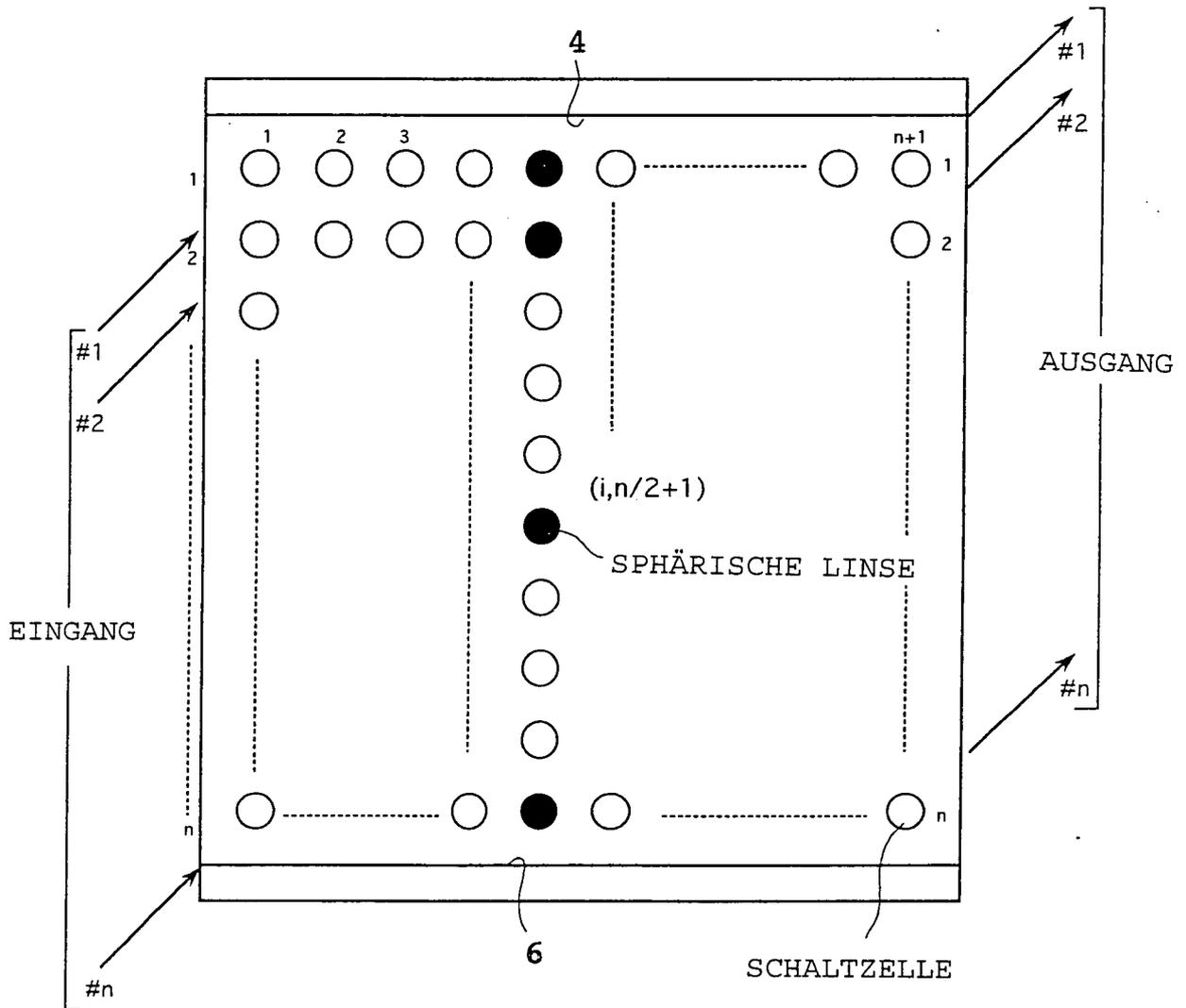


FIG.22

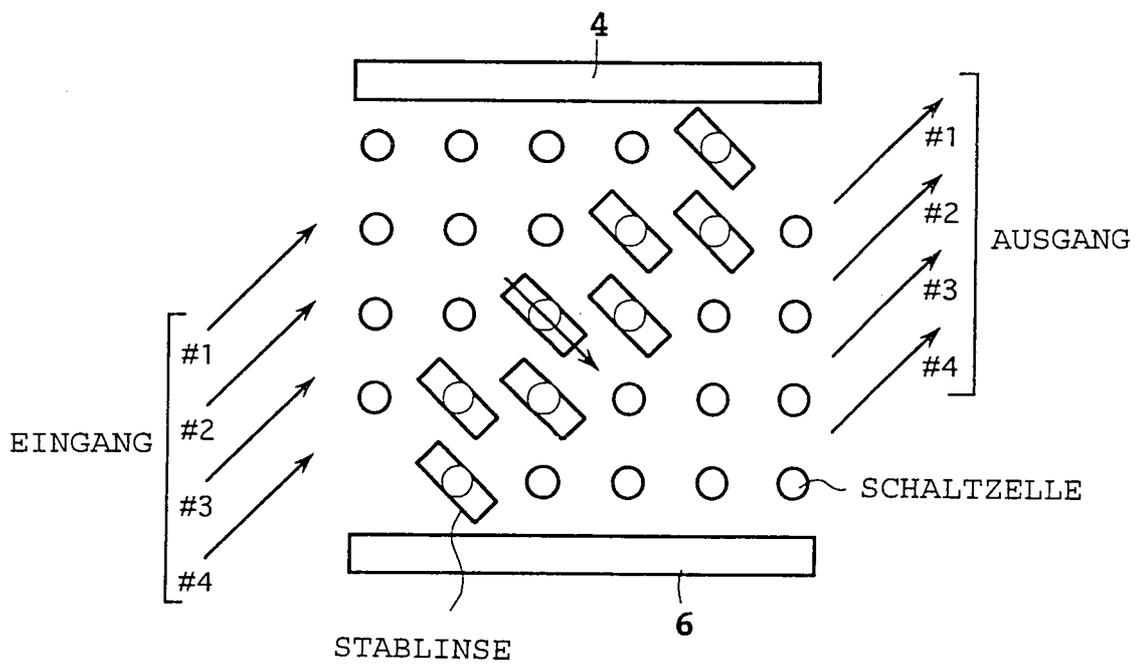


FIG. 23

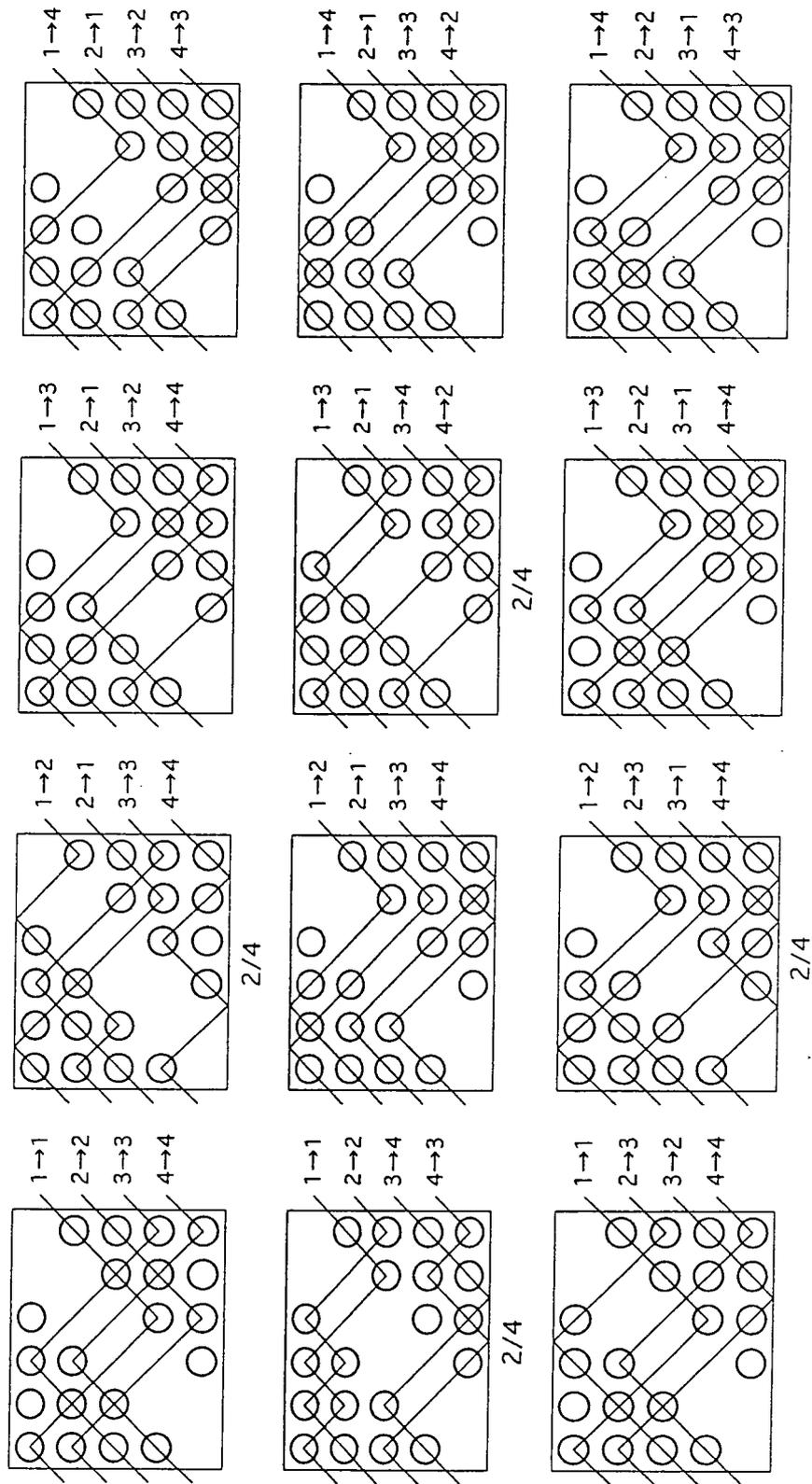


FIG.24

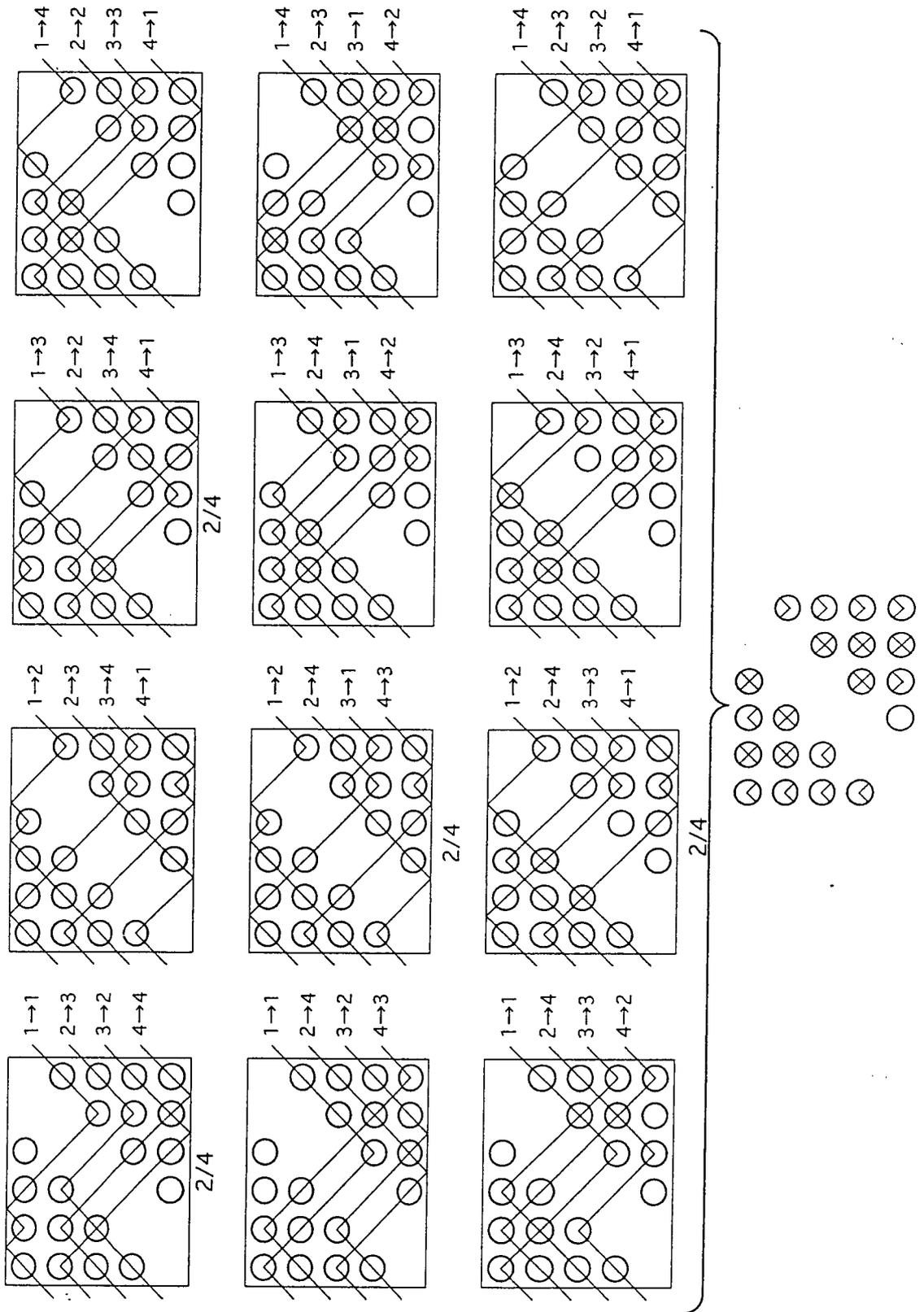


FIG.25

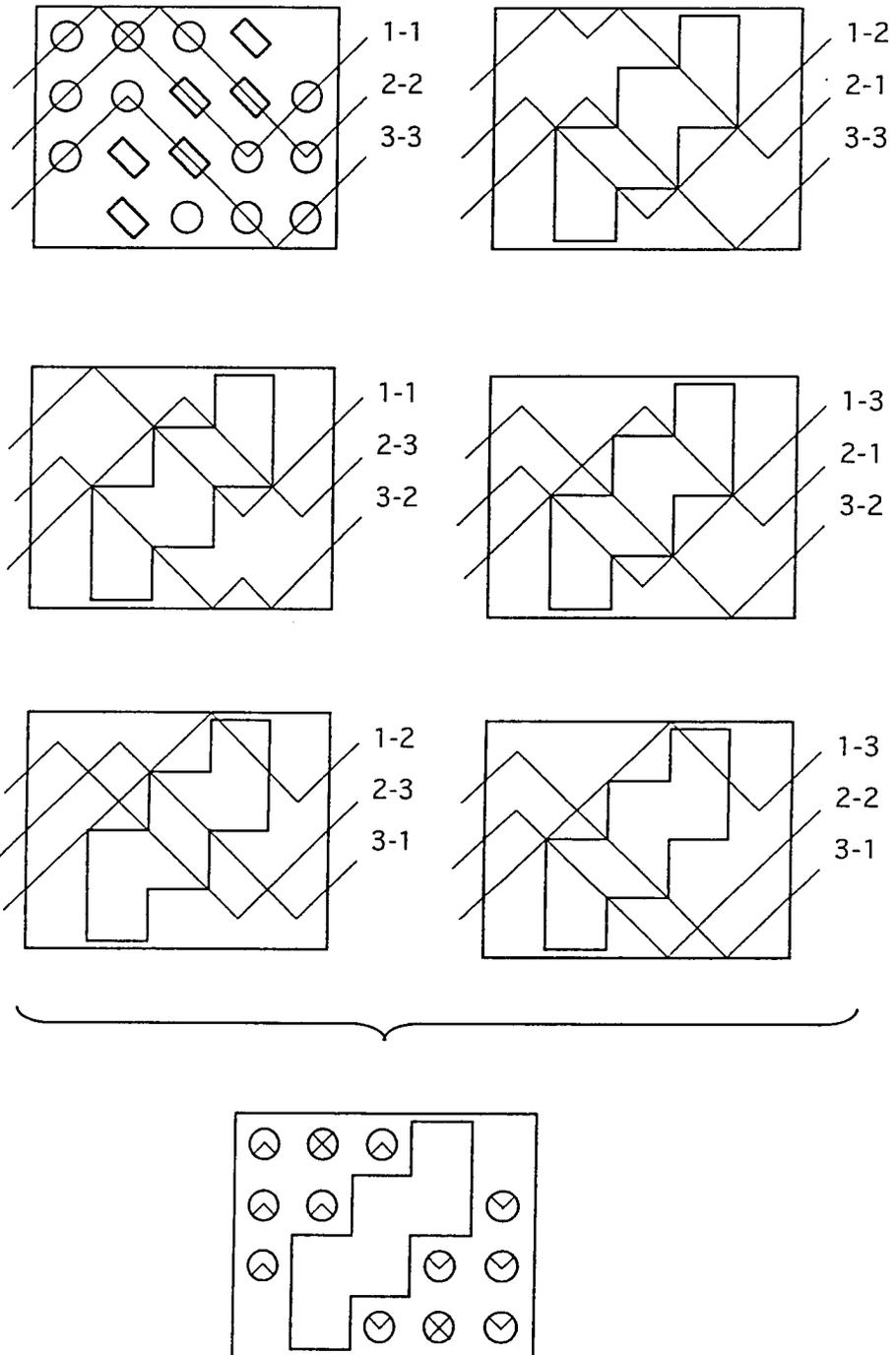


FIG.26

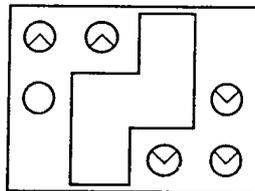
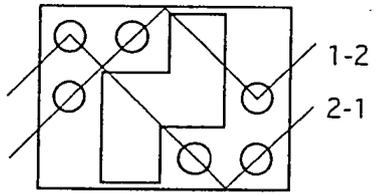
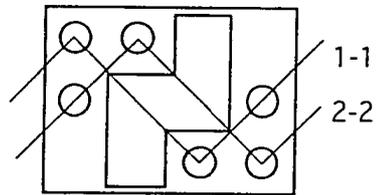


FIG.27

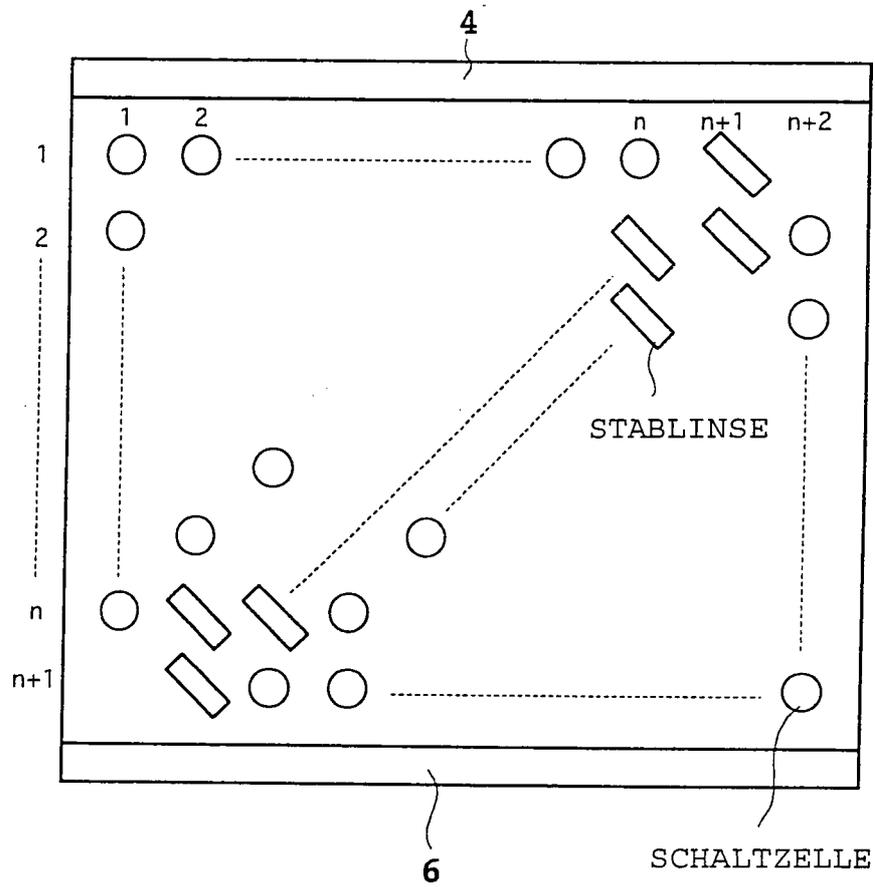


FIG.28

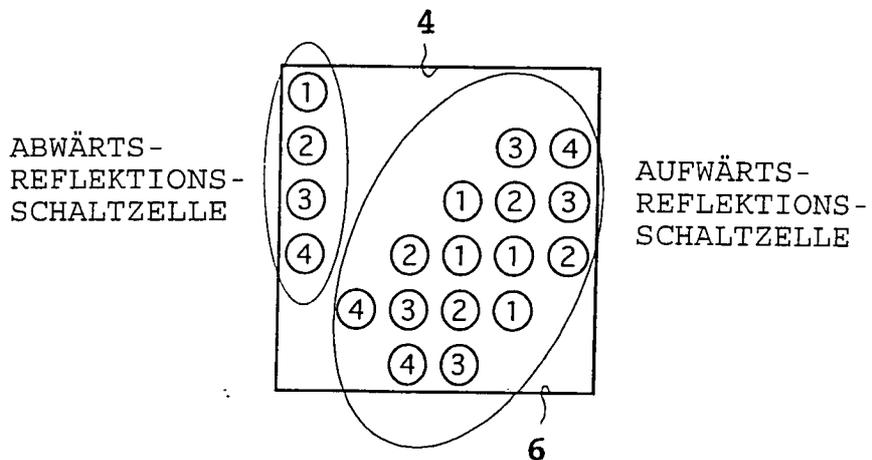
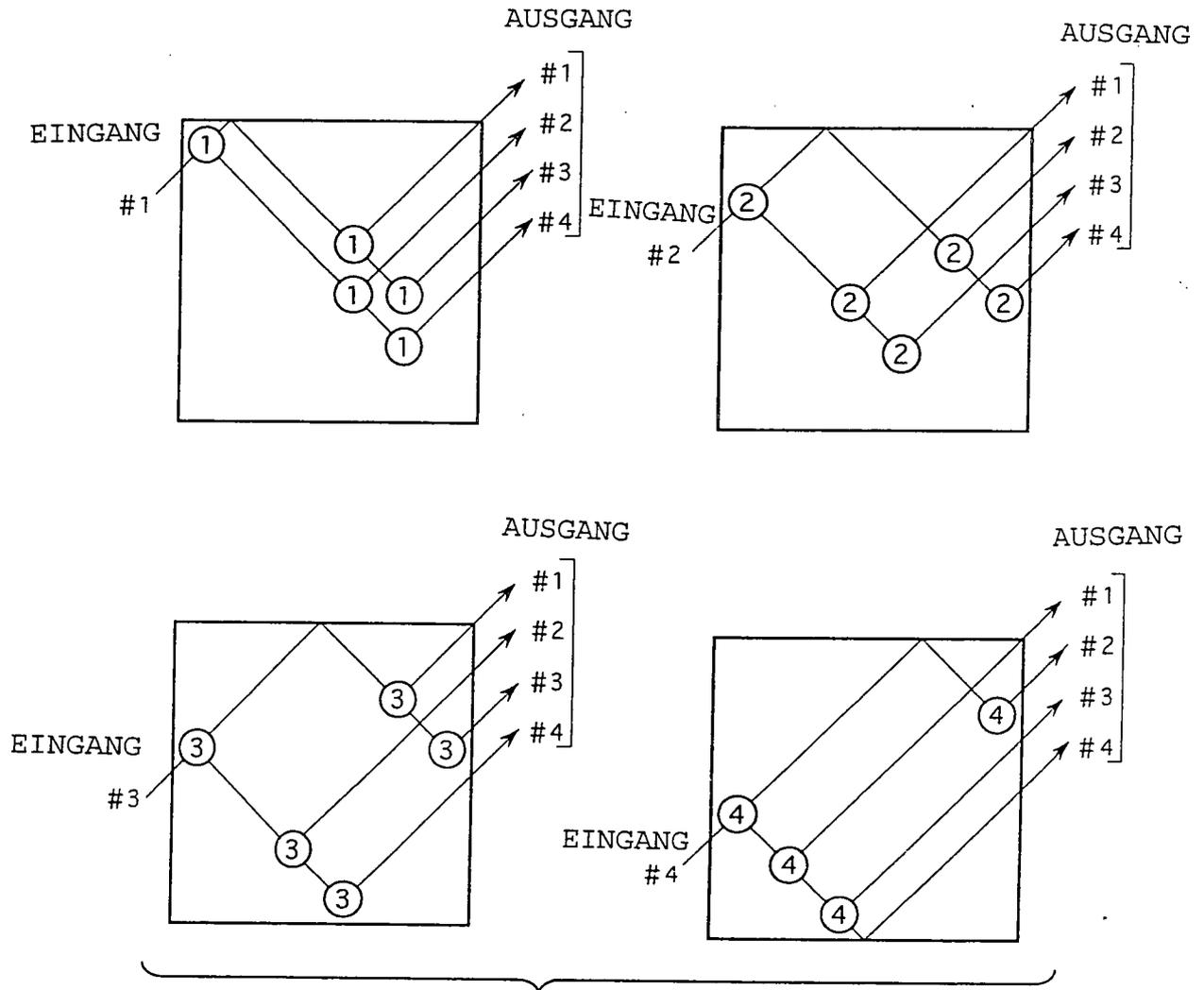


FIG.29

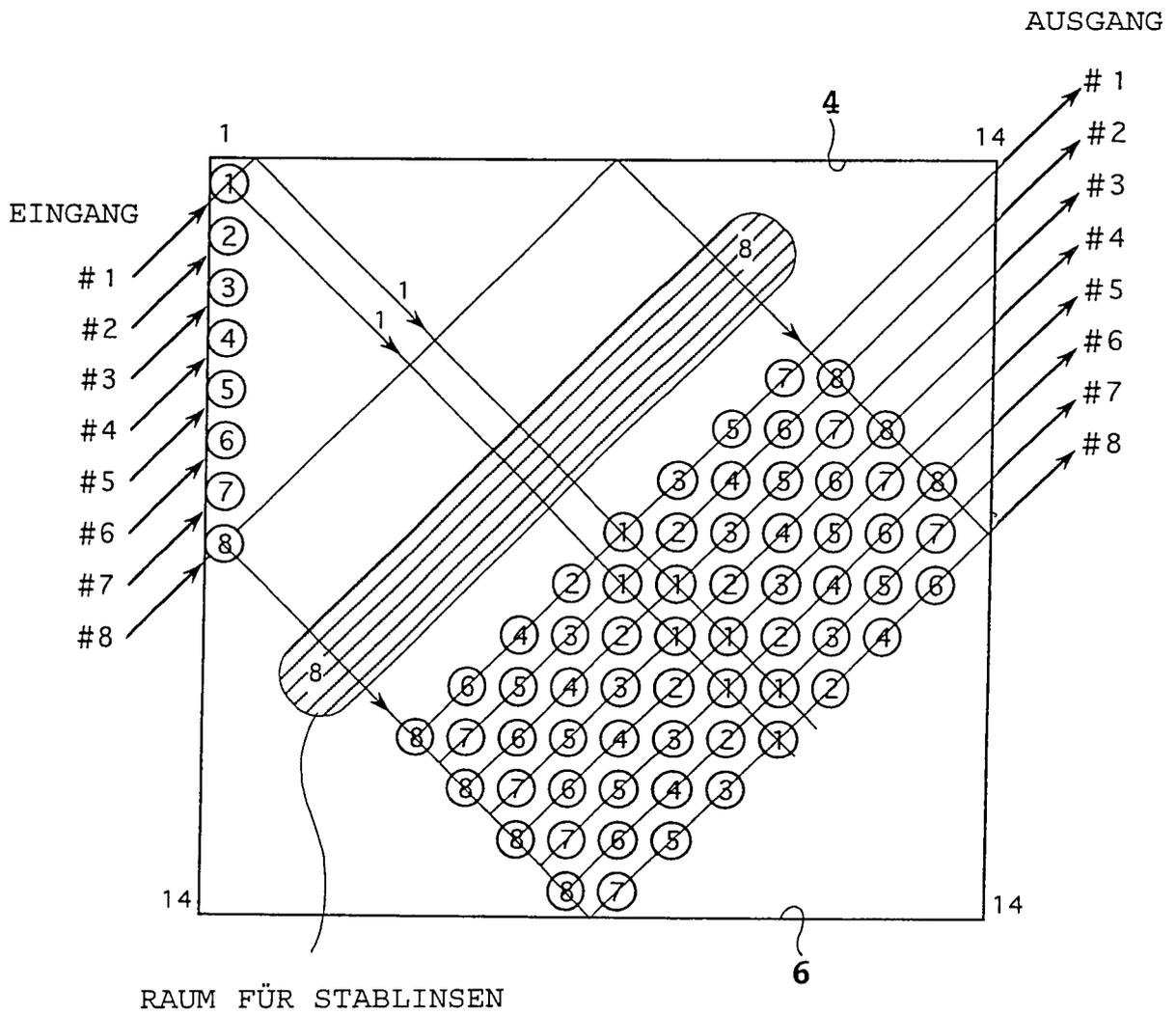


FIG.30

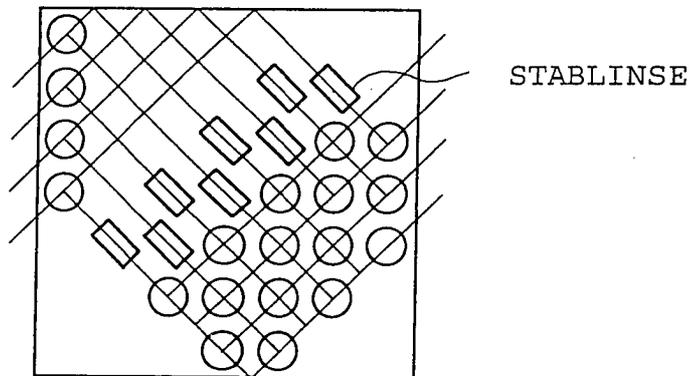
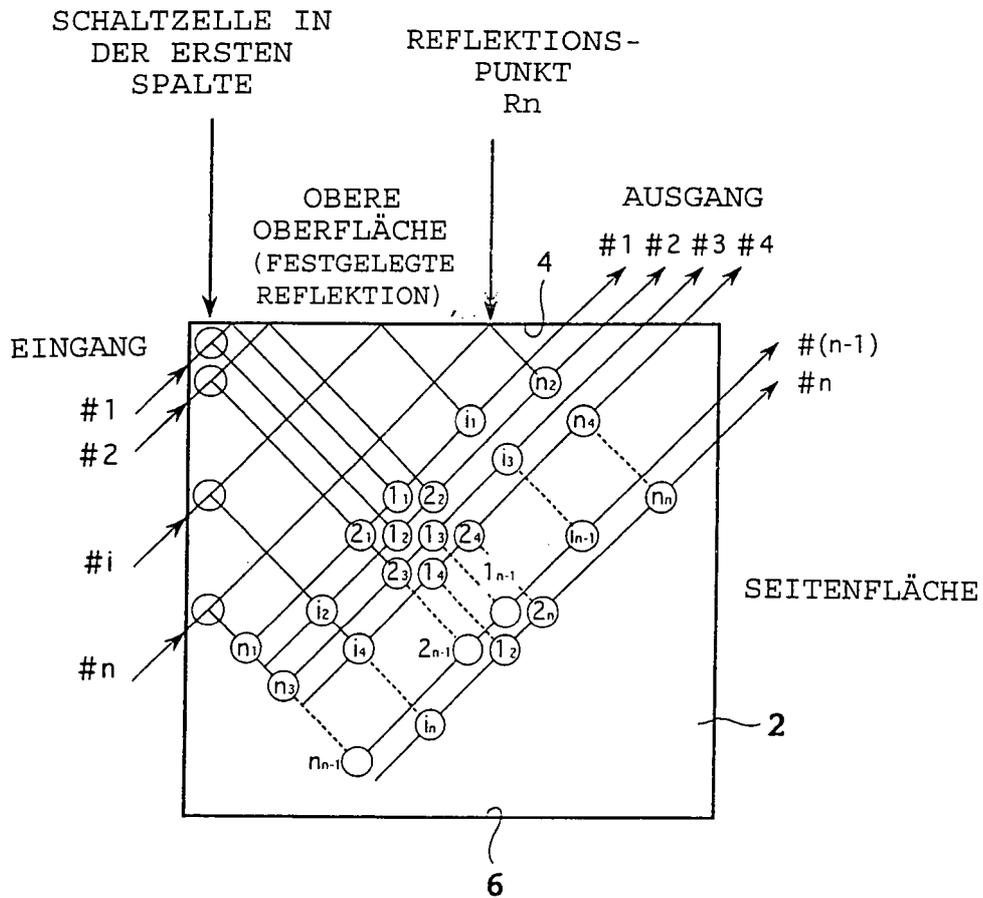


FIG.31



⊙_{i_n} : AUFWÄRTSREFLEKTIONSSCHALTZELLE ZUM VERBINDEN VON EINGANGSKANAL #i ZU AUSGANGSKANAL #n

FIG.32

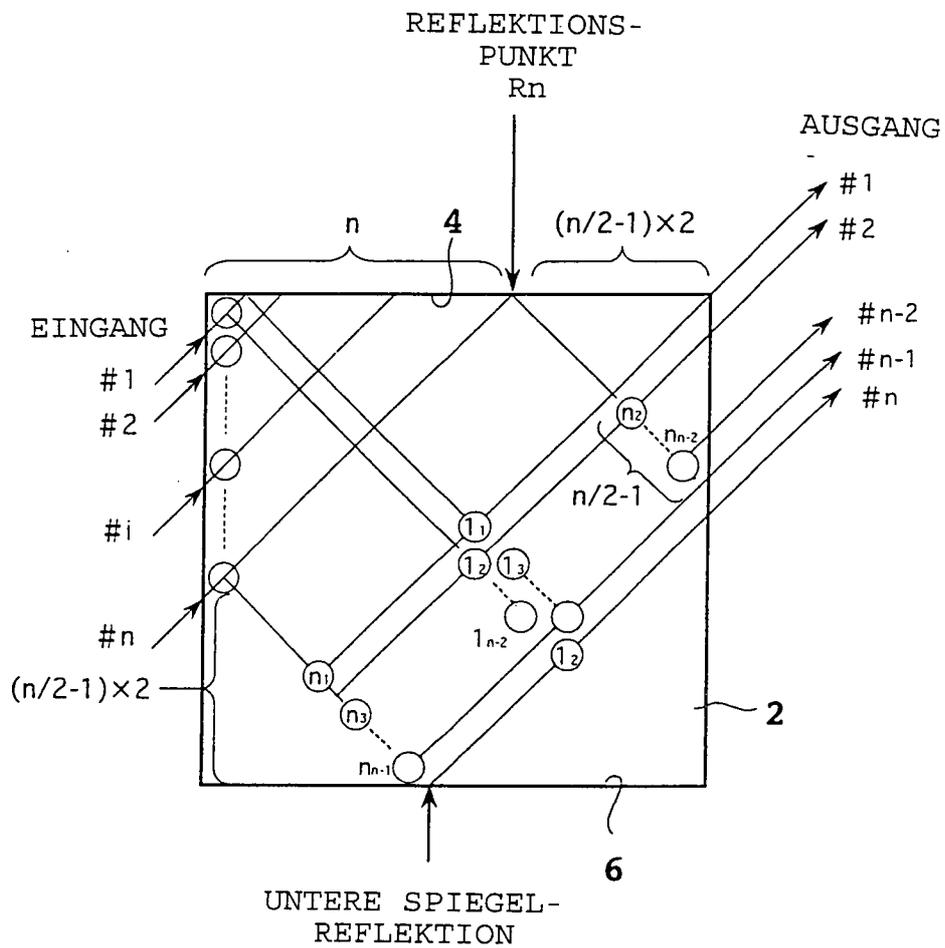


FIG.33

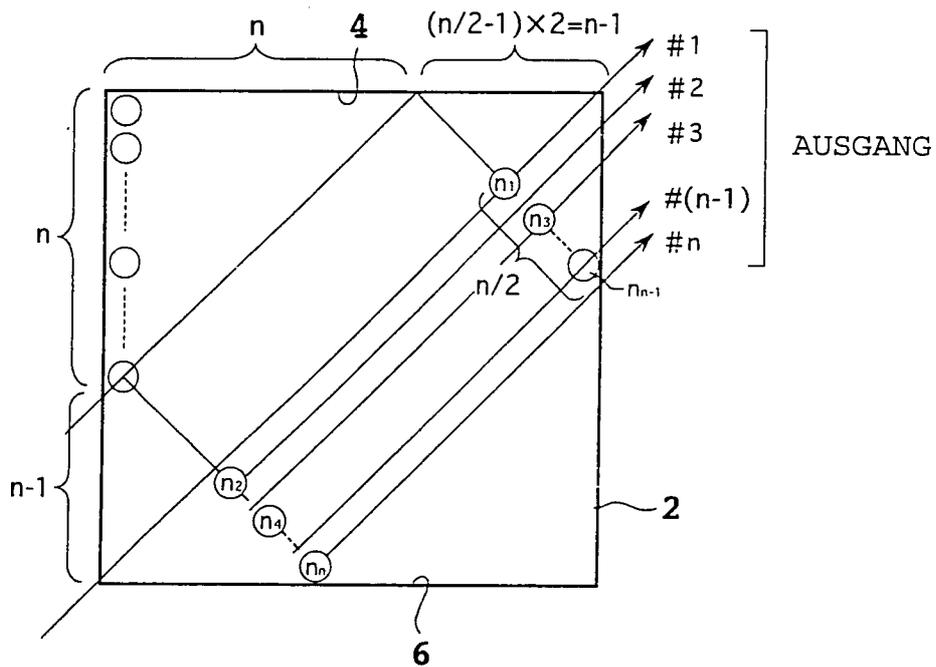


FIG.34

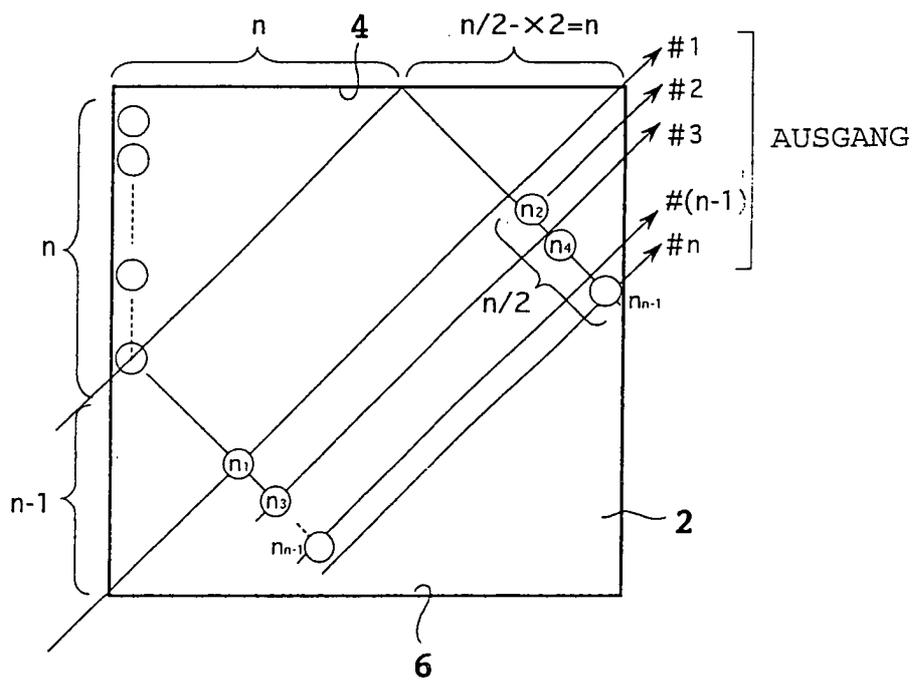


FIG.35

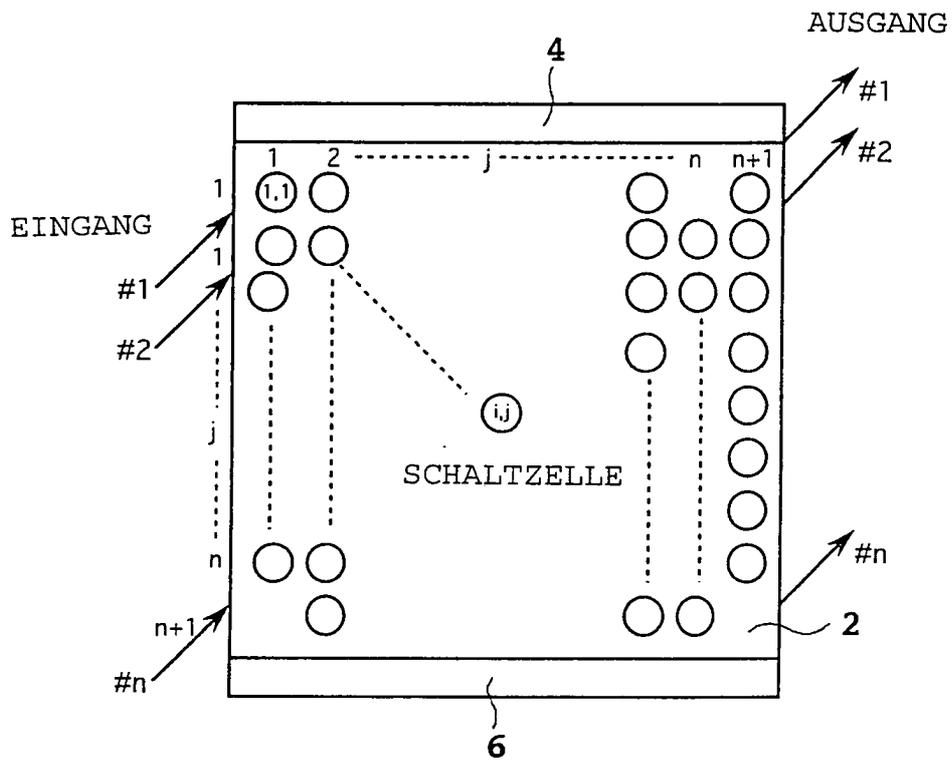


FIG.36

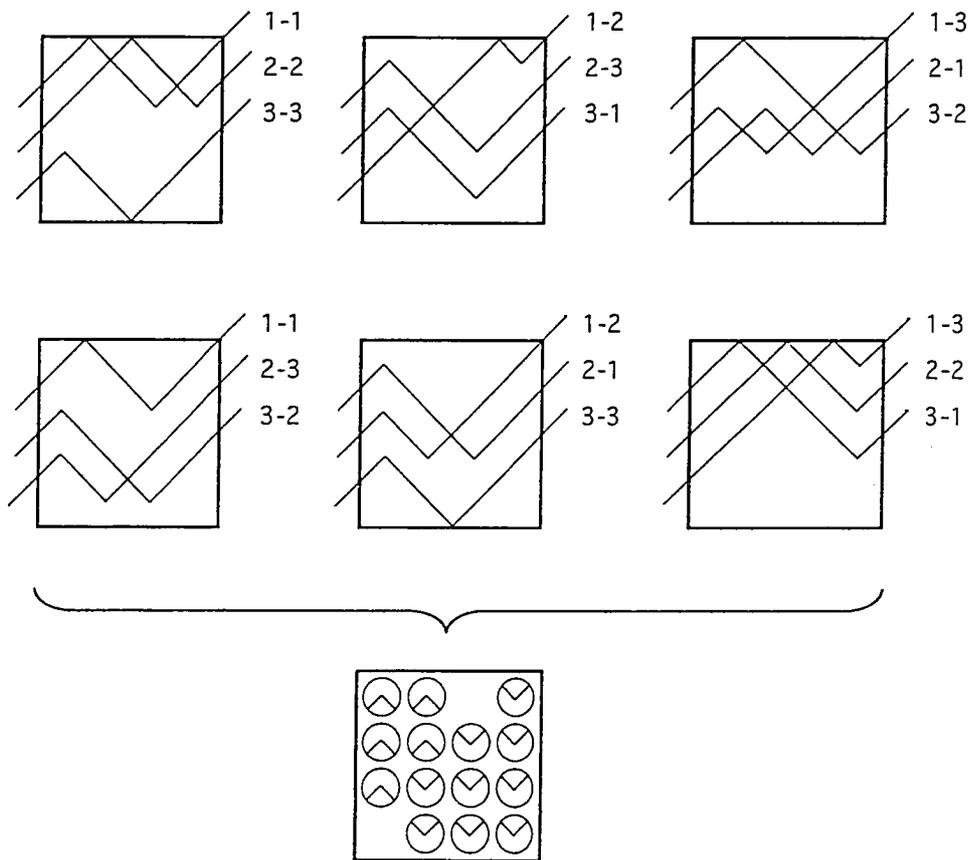
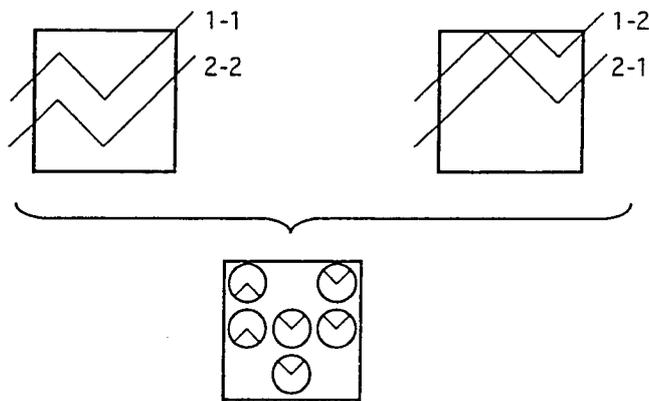


FIG.37



2 x 2-OPTO-SCHALTER

GRÖSSE; 3 x 3

OPTO-PFADLÄNGE; 3

ZELLENZAHL; 6

ZAHL DER AUFWÄRTSREFLEKTIONSSPIEGEL; 4

ZAHL DER ABWÄRTSREFLEKTIONSSPIEGEL; 2

ZAHL DER REFLEKTIONEN; IMMER 2

FIG.38

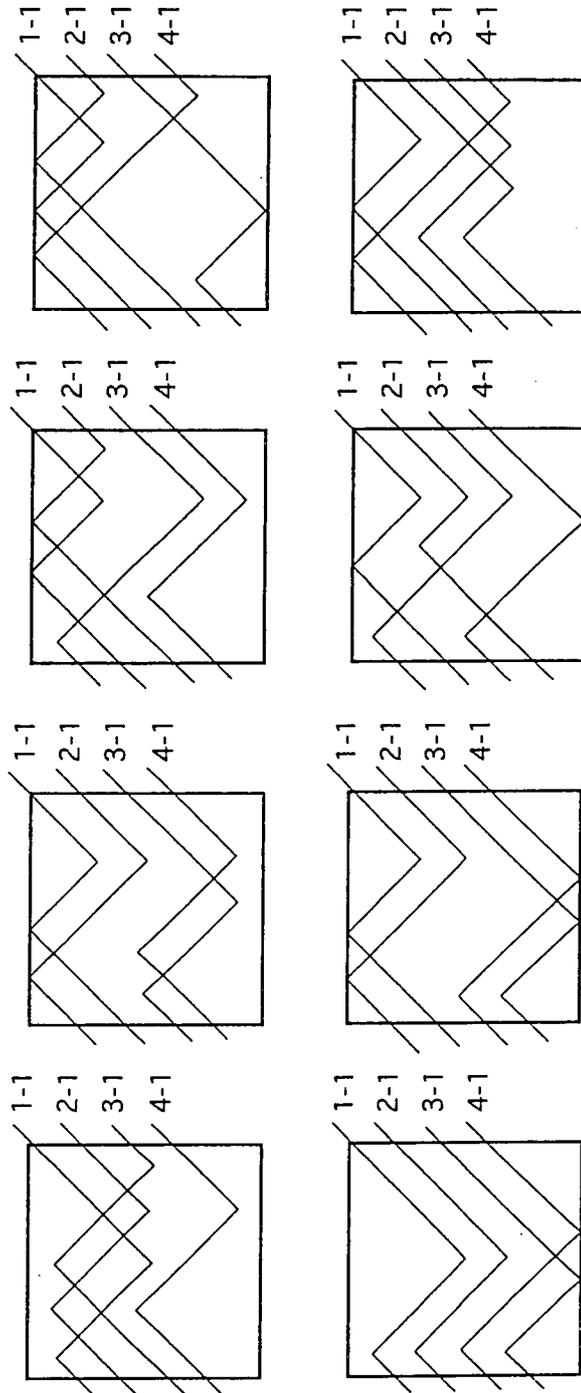


FIG. 39

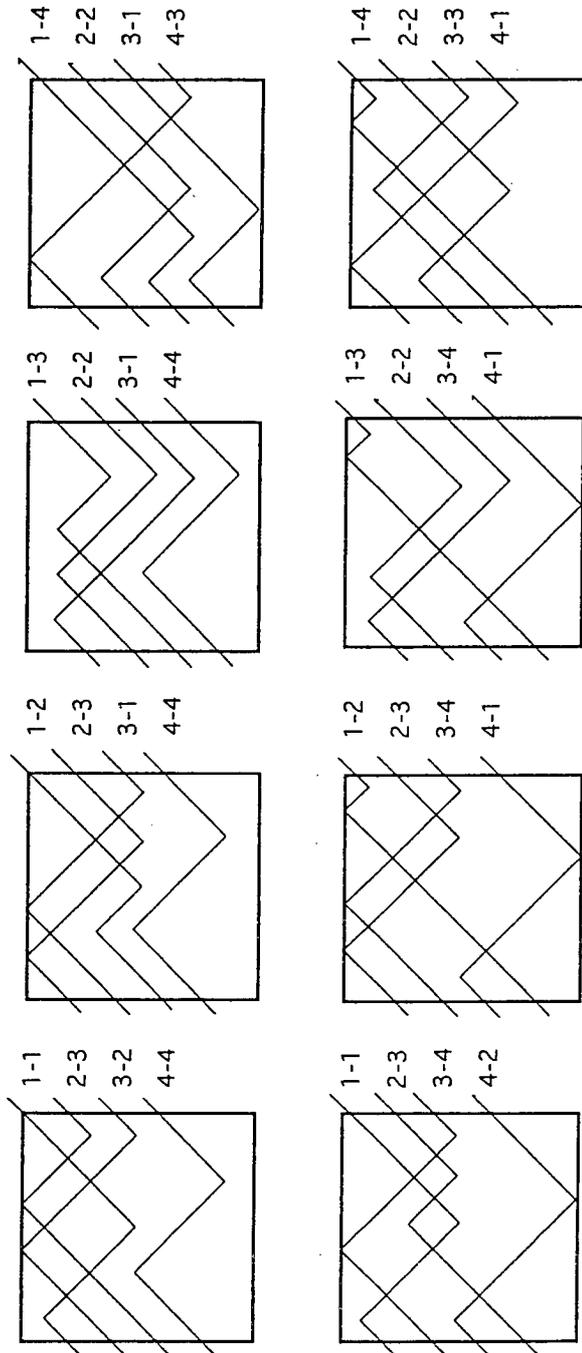


FIG. 40

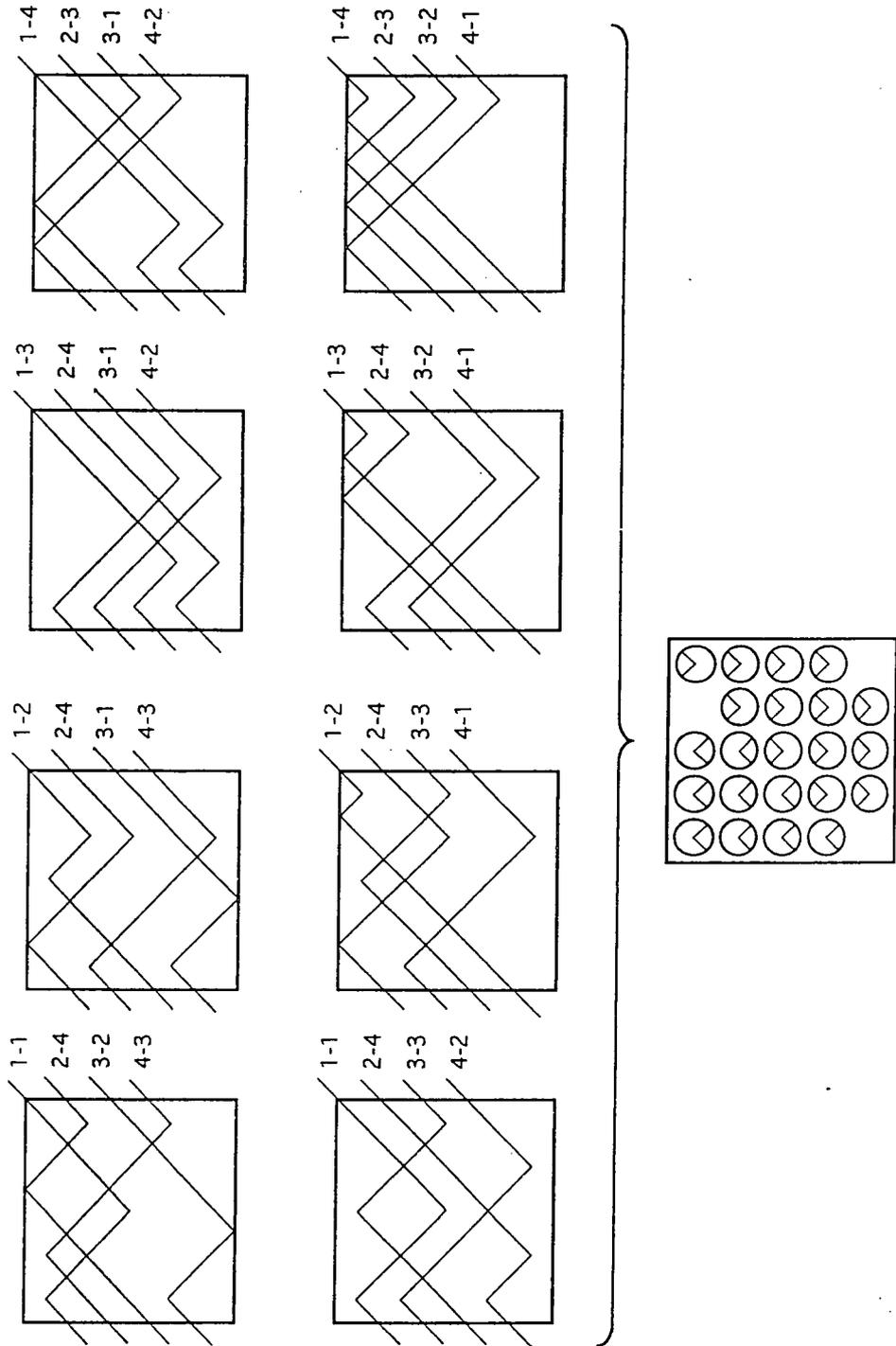


FIG.41

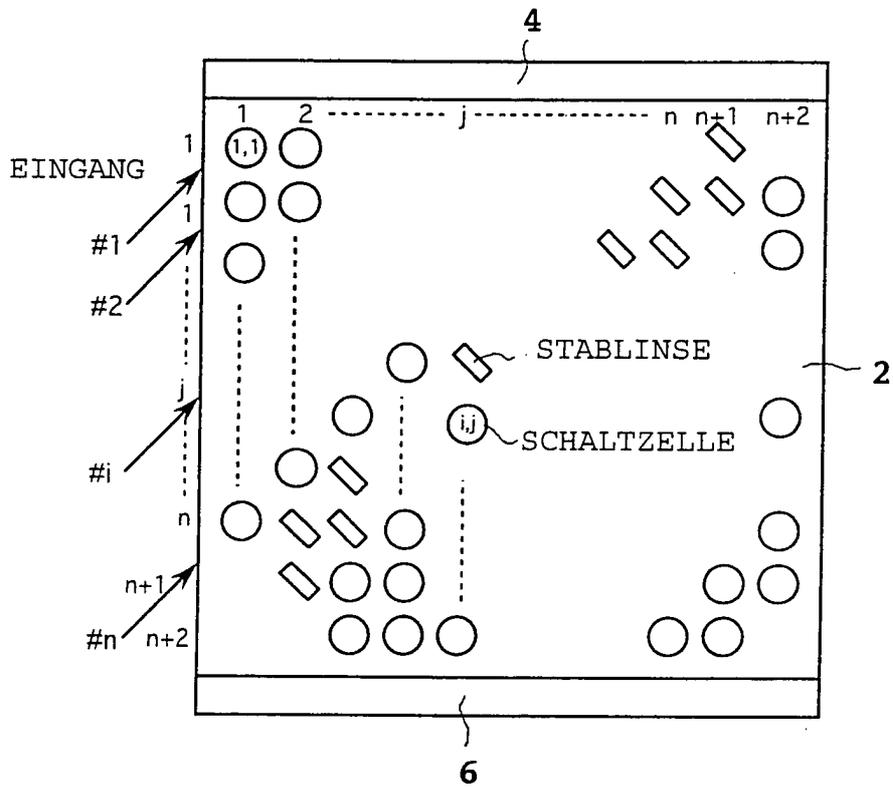


FIG.42

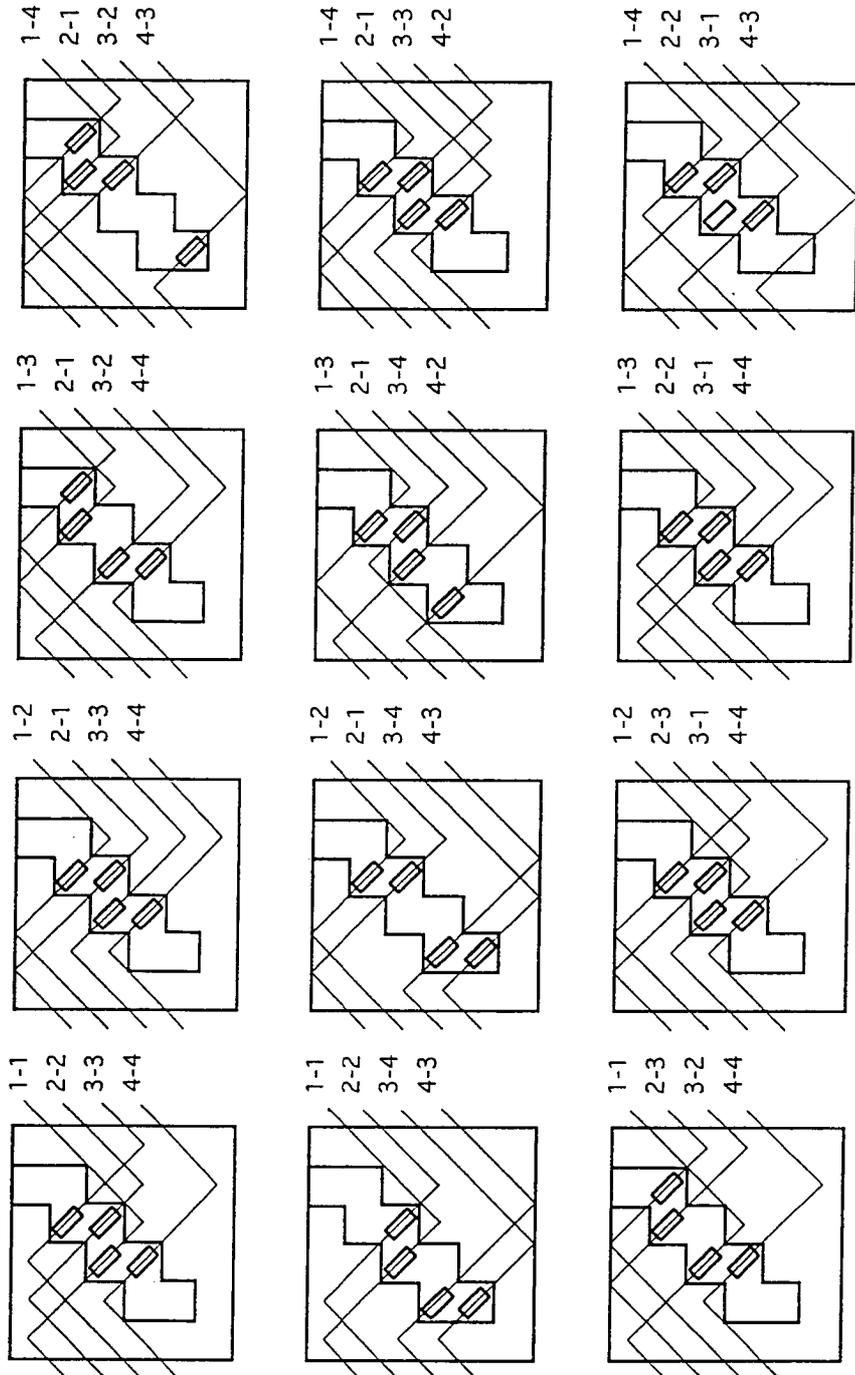


FIG.43

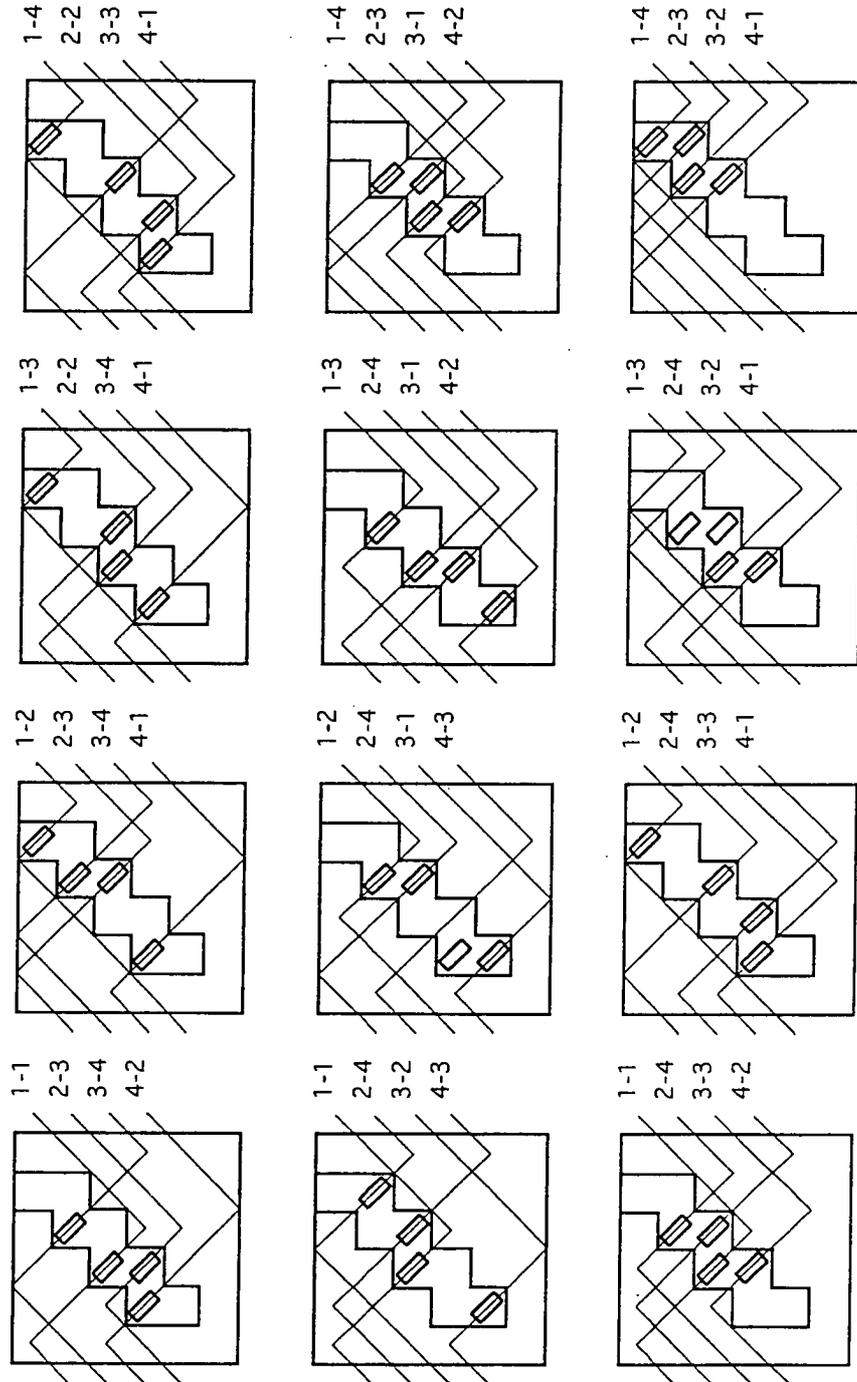


FIG.44

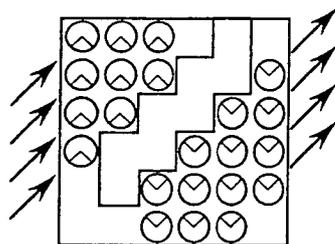
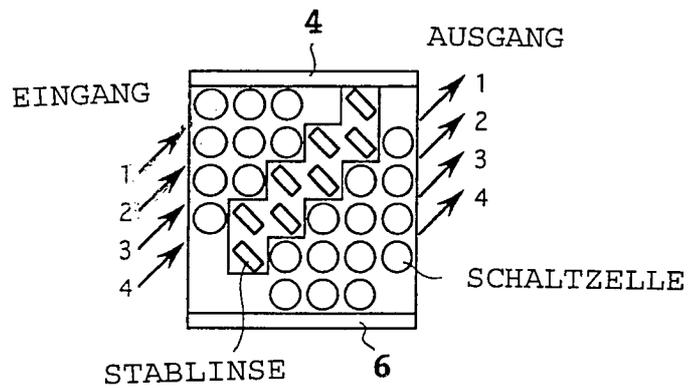


FIG.45

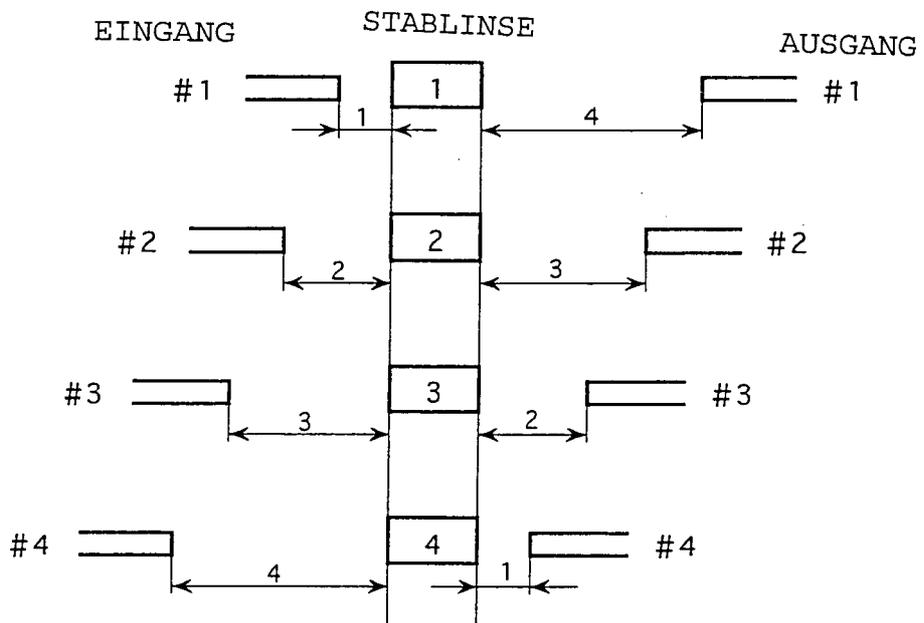
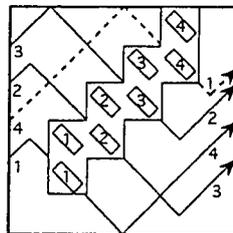


FIG.46

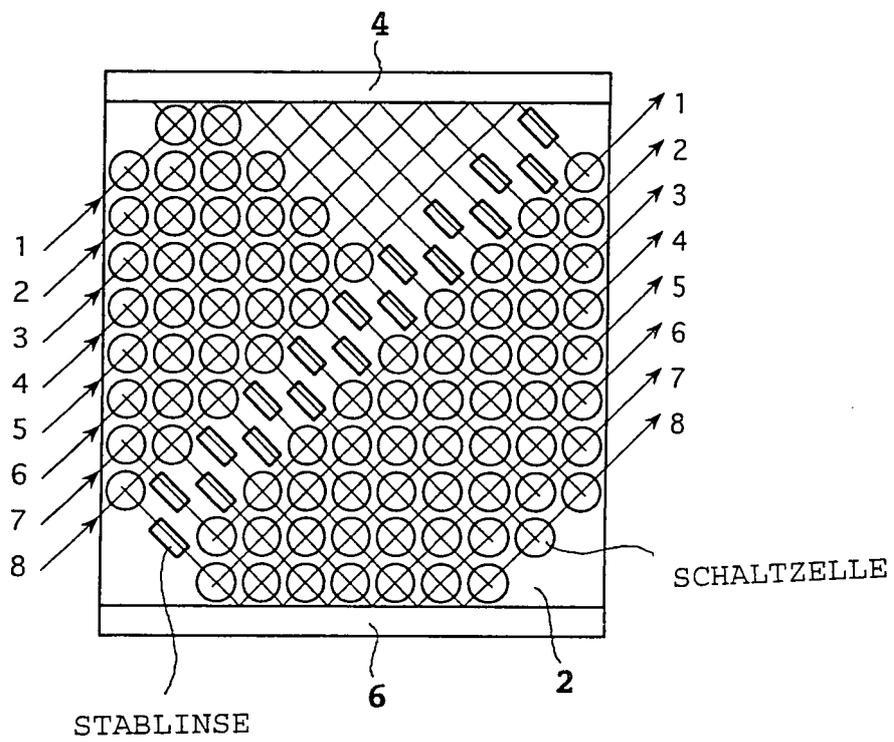


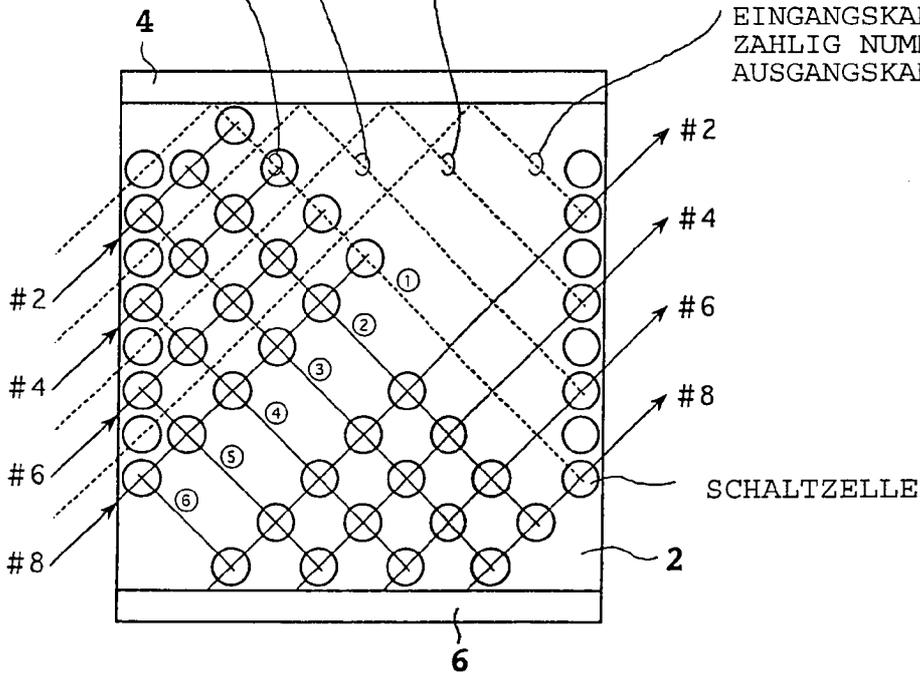
FIG.47

DEDIZIERTE STRECKE VOM EINGANGSKANAL #1
ZUM GERADZÄHLIG NUMMERIERTEN AUSGANGSKANAL

DEDIZIERTE STRECKE VOM EINGANGSKANAL #3
ZUM GERADZÄHLIG NUMMERIERTEN AUSGANGSKANAL

DEDIZIERTE STRECKE VOM EINGANGSKANAL #5
ZUM GERADZÄHLIG NUMMERIERTEN AUSGANGSKANAL

DEDIZIERTE STRECKE VOM
EINGANGSKANAL #7 ZUM GERAD-
ZÄHLIG NUMMERIERTEN
AUSGANGSKANAL



- ①, ②, ③ :STRECKEN ZU AUSGANGSKANÄLEN #2, #4, #6 UND #8
- ④ :STRECKEN ZU AUSGANGSKANÄLEN #2, #4 UND #6
- ⑤ :STRECKEN ZU AUSGANGSKANÄLEN #2UND #4
- ⑥ :STRECKEN ZU AUSGANGSKANÄLEN #2

EINGANGSKANAL	STRECKE ZU GERADZÄHLIGEM AUSGANGSKANAL
2	①/②/③
4	①/②/③,④
6	①/②/③,④,⑤
8	①/②/③,④,⑤,⑥

EINGANGSKANAL	AUSGANGSKANAL	STRECKE
2	→ 2	① ODER ② ODER ③
4	→ 4	① ODER ② ODER ③
6	→ 6	④
8	→ 8	① ODER ② ODER ③

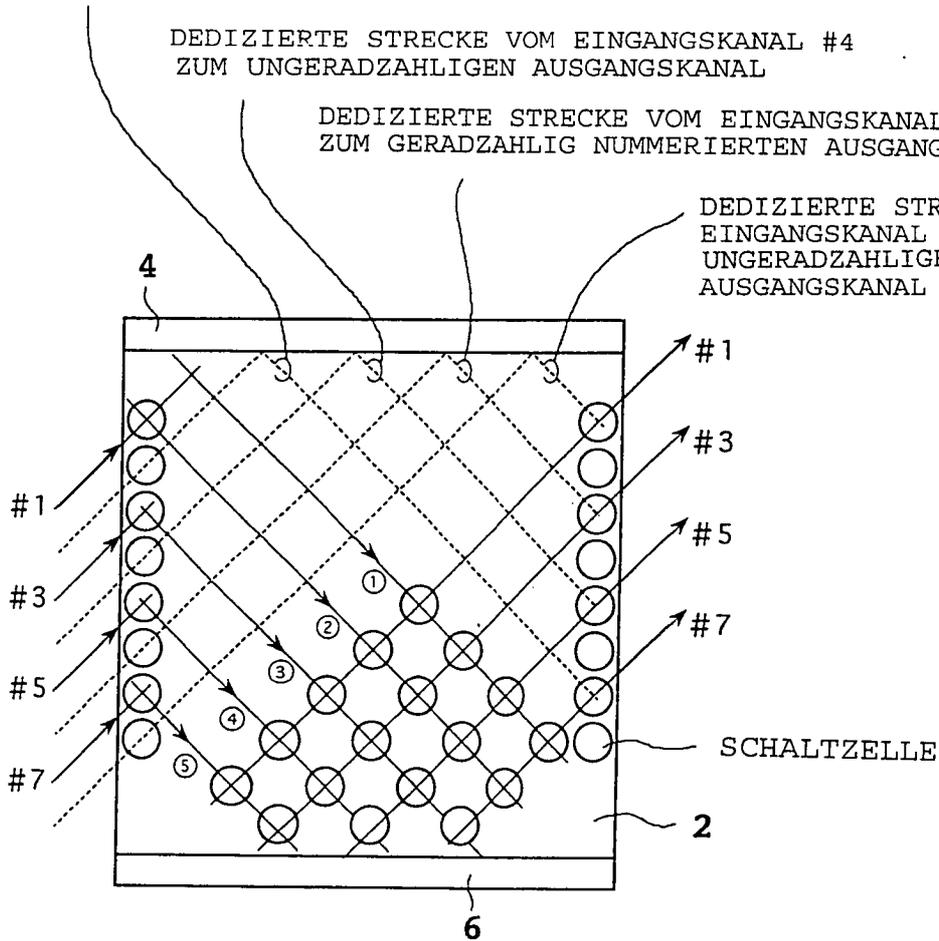
FIG.48

DEDIZIERTE STRECKE VOM EINGANGSKANAL #2
ZUM UNGERADZÄHLIGEN AUSGANGSKANAL

DEDIZIERTE STRECKE VOM EINGANGSKANAL #4
ZUM UNGERADZÄHLIGEN AUSGANGSKANAL

DEDIZIERTE STRECKE VOM EINGANGSKANAL #6
ZUM GERADZÄHLIG NUMMERIERTEN AUSGANGSKANAL

DEDIZIERTE STRECKE VOM
EINGANGSKANAL #8 ZUM
UNGERADZÄHLIGEN
AUSGANGSKANAL



- ①, ② : STRECKEN ZU AUSGANGSKANÄLEN #1, #3, #5 UND #7
- ③ : STRECKEN ZU AUSGANGSKANÄLEN #1, #3, #5 UND #7, WENN EINGANGSKANÄLE #3, #5 ODER #7
- ④ : STRECKEN ZU AUSGANGSKANÄLEN #1, #3 UND #5
- ⑤ : STRECKEN ZU AUSGANGSKANÄLEN #1 UND #3

EINGANGSKANAL	STRECKE ZU UNGERADZÄHLIGEM AUSGANGSKANAL
1	①/②
3	①/②, ③
5	①/②, ③, ④
7	①/②, ③, ④, ⑤

EINGANGSKANAL	AUSGANGSKANAL	STRECKE
1	→ 1	① ODER ②
3	→ 3	③
5	→ 5	④
7	→ 7	① ODER ②

FIG.49

STRECKEN VOM EINGANGSKANAL #2
ZUM AUSGANGSKANAL #n

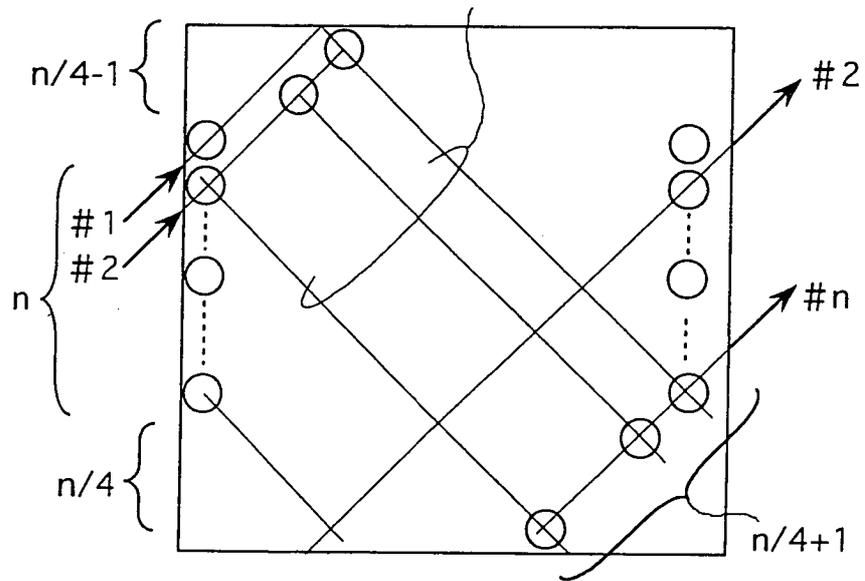
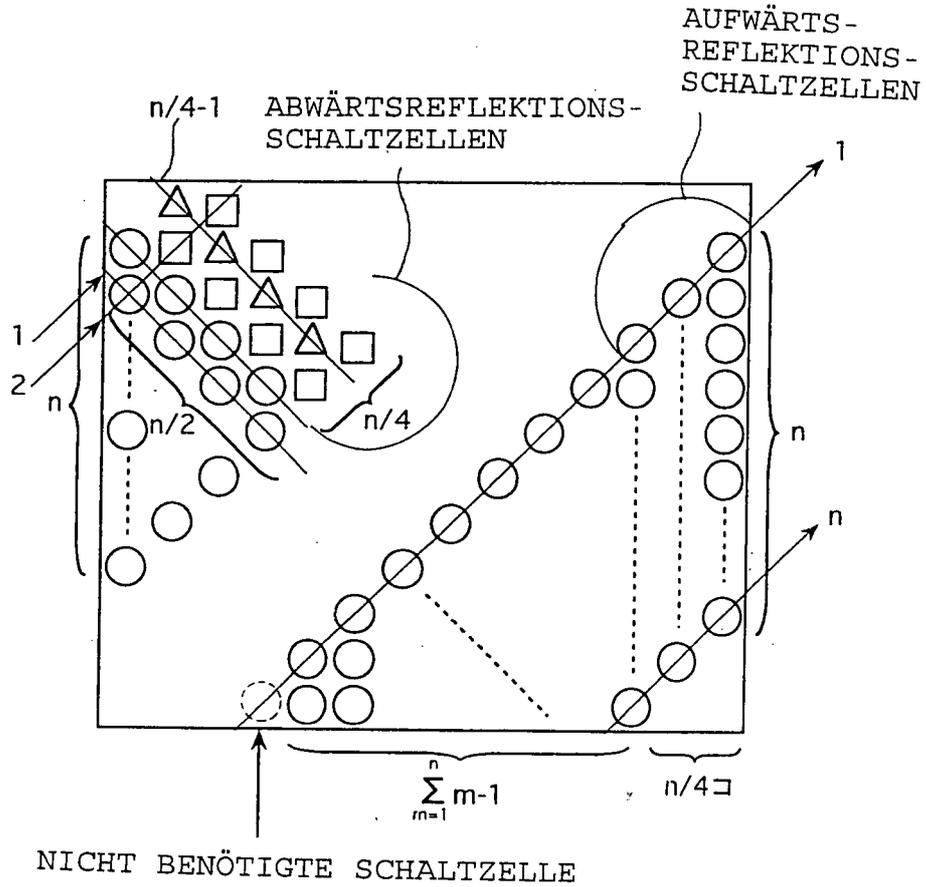


FIG.50



ZAHL VON AUFWÄRTS-REFLEKTIONS-SCHALTZELLEN : $\sum_{m=1}^n m-1 + \frac{n}{4} \times n = \frac{n(n+1)}{2} - 1 + \frac{n^2}{4} = \frac{3}{4} n^2 + \frac{1}{2} n - 1$

ZAHL VON ABWÄRTS-REFLEKTIONS-SCHALTZELLEN : $2 \cdot \sum_{m=1}^{n/2} m + \frac{n}{4} \times \frac{n}{2} + \left(\frac{n}{4} - 1\right) \times \frac{n}{2} = \frac{n^2}{2}$

□ IN DER FIG. Δ IN DER FIG. DARGESTELLT DARGESTELLT

○ IM LINKEN OBEREN ABSCHNITT DER FIG. DARGESTELLT

ZAHL ALLER SCHALTZELLEN : $\frac{5}{4} n^2 + \frac{1}{2} n - 1$

FIG.51

