



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 407 445 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 141/97
(22) Anmeldetag: 30.01.1997
(42) Beginn der Patentdauer: 15.07.2000
(45) Ausgabetag: 26.03.2001

(51) Int. Cl.⁷: **G06E 3/00**
H01S 5/30, G02F 3/02

(56) Entgegenhaltungen:
DE 1591083A1 DE 1941111A1 DE 2141824A1
US 3924444A DE 1915320A1 EP 266728A2

(73) Patentinhaber:
ULLRICH BRUNO DR.
A-1140 WIEN (AT).

(72) Erfinder:
ULLRICH BRUNO DR.
WIEN (AT).

(54) REALISIERUNG EINES HYBRIDEN BISTABILEN SCHALTELEMENTES DURCH
WECHSELWIRKUNG ZWEIER LICHTSTRAHEN IN EINEM HALBLEITER

AT 407 445 B

(57) Eine Anordnung zur Erzeugung von Photostrombistabilitäten in CdS Kristallen wurde vorgestellt. Die Bistabilität wird durch die Wechselwirkung eines zerhackten Lichtstrahles mit einem zweiten Lichtstrahl, der von einem Laser im Dauerstrichbetrieb stammt, in dem Halbleiter hervorgerufen. Das Anordnung benötigt nur geringe elektrische Feldstärken (einige Vcm^{-1}) und Lichtintensitäten ($<500 \text{ mWcm}^{-2}$) um Bistabilität zu zeigen.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Realisierung von Photostrombistabilitäten in einem halbleitenden Material, die durch die Wechselwirkung durch zwei Lichtstrahlen in dem Material zustande kommen.

Photonische Schaltelemente für logische Operationen aus halbleitenden Volumsmaterial und Dünnschichten finden bisher in der Technik kaum Anwendung. Für die erwünschten nichtlinearen Effekte sind indiskutabel hohe Lichtintensitäten notwendig (bis zu MW/cm^2). Aus diesem Grund wird, entgegen Prognosen aus den früheren achziger Jahren, die Realisierung eines "optischen Rechners" heute für sehr unwahrscheinlich gehalten, wie in dem Buch von J. E. Midwinter, *Photonics in Switching*, Volume I, Academic Press, San Diego (1993), ausführlich beschrieben. Es hat den Anschein, daß die Elektronik unangefochten ihren Siegeszug in der Rechner-technologie und Datentechnik fortsetzt. Andererseits werden zukünftige Rechneranlagen auf die große Bandbreite des Lichtes, die jene der Elektronik bei weitem übertrifft, sicher nicht verzichten können. Es zeichnet sich daher ein Kompromiß zwischen Elektronik und Photonik ab, in dem hybride Schaltelemente, d.h., Verbindungselemente zwischen Photonik und Elektronik, eine entscheidende Rolle spielen werden. Photothermische hybride Bistabilitäten sind an dünnen ($6\mu\text{m}$) CdS Schichten, die mit der 514.5 nm Linie eines Argonlasers resonant angeregt wurden, von Ullrich et al., *Jap. J. Appl. Phys.* **30**, L 1285, (1991) und *Appl. Phys.* **A 53**, 539, (1991) und Bouchenaki et al., *J. Opt. Soc. Am. B* **8**, 691, (1991), beobachtet worden. Jene photothermischen Hybridbistabilitäten benötigten typischerweise Anregungsintensitäten im Bereich 10^2 - $10^3\text{ W}/\text{cm}^2$. Darüberhinaus sind mehrere Verfahren bekannt, die die hybriden und optischen Eigenschaften von CdS ausnützen. Gemäß DE 15 91 083 A1 und DE 19 41 111 A1 (DEUTSCHE ITT INDUSTRIES GMBH) wurden Abtastsysteme beschrieben, deren Halbleiterkörper (z.B. GaAs, CdS) bei hohen elektrischen Feldstärken (2 - $3\text{ kV}/\text{cm}^2$) Unstabilitäts- bzw. Hochfeldinstabilitätseffekte aufweisen. Die Funktion der Abtastsysteme unterliegt der Fortpflanzung dieser Hochfeldeffekte wobei im wesentlichen der Pockels-Effekt, die Bragg-Streuung und der Franz-Keldysh-Effekt zur Abtastung eines auf einen CdS Kristall projizierten Bildes verwendet werden. In der US 3 924 444 A (HEYMAN ET AL.) ist ein Verfahren zur Ultraschallkalibrierung beschrieben, wobei die Veränderbarkeit der Ultraschalleigenschaften von CdS durch Licht ausgenützt werden. Konkret wurde dazu eine konstante Lichtquelle auf den CdS Kristall fokussiert, um die identische Ultraschallabschwächung wie die der zu untersuchenden Probe einzustellen. Nach dieser Kalibrierung wird die Messung mittels eines zerhackten Lichtstrahls, der von einer zweiten Lichtquelle stammt, durchgeführt. Das DE 19 15 320 A1 (MINNESOTA MINING MANUFACTURING COMPANY) beschreibt unter anderem die spontane und stimulierte Lichtemission von CdS durch das Bombardement von Elektronenstrahlen. Um die Emission zu begünstigen wurden die reflektierenden Flächen des Kristall mit Silberschichten überzogen. Weiters sind Verfahren bekannt, die die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie zu Meßzwecken und Qualitätsprüfungen benutzen. Gemäß DE 21 41 824 A1 (SIRA INSTITUTE) wurde ein Verfahren entwickelt mit dem die Messung des Durchmessers von Fasern durch Ausnutzung des Fraunhofer'schen Beugungsbildes durchgeführt werden kann. Die Faser wurde dabei mit einem zerhackten kohärenten, kollimierten, monochromatischen Lichtstrahl (Laser) beleuchtet. Die Messung wird mittels schwenkbarer Sammellinse und Photozelle durchgeführt. In der EP 266 728 A2 (WACKER-CHEMITRONIC GESELLSCHAFT FÜR ELEKTRONIK-GRUNDSTOFFE MBH) wird ein Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenqualität von Halbleiterscheiben beschrieben. Die Oberflächenqualität wird durch Erfassung des Streulichts eines schräg zur Oberfläche einfallenden zerhackten Laserstrahls festgestellt.

Im Gegensatz zu den obigen Veröffentlichungen und Patenten ist es das Ziel der Erfindung ein hybrides bistabiles Schaltelement (logisches Element) vorzuschlagen, das bei geringen Lichtintensitäten ($<500\text{ mW}/\text{cm}^2$) Photostrombistabilität aufweist und mit geringen elektrischen Feldstärken ($\leq 4\text{ V}/\text{cm}^2$) betrieben wird. Erfindungsgemäß wird dies mit zwei Lichtquellen, die beide auf einen Halbleiter gerichtet sind, erreicht. Eine der beiden Lichtquellen wird zerhackt. Ab einem gewissen Intensitätsschwellwert der zweiten Lichtquelle wird in dem Photostrom, der von der zerhackten Lichtquelle hervorgerufen wird, ein bistabiler Schaltvorgang hervorgerufen. Es zeigen

Figur 1 die schematische Darstellung der Realisierung des hybriden bistabilen Schaltelementes,

Figur 2 die im Uhrzeigersinn verlaufende hybride Bistabilität bei $3\text{ V}/\text{cm}^2$, wobei zur Demonstration der Reproduzierbarkeit fünf aufeinanderfolgende Schleifen dargestellt sind,

Figur 3a hybride Bistabilitäten bei 1 Vcm^{-1} , Figur 3b hybride Bistabilitäten bei 2 Vcm^{-1} ,
 Figur 4 eine hybride Bistabilität bei 4 Vcm^{-1} .

Das hybride Schaltelement wurde mit einem undotierten quaderförmigen ($2 \times 2 \times 9 \text{ mm}$) CdS Kristall realisiert. Die Verwendung eines Halbleitervolumsmaterial stellt kein wesentliches Merkmal der Erfindung dar, da auch halbleitende Dünnschichten verwendet werden können. Abbildung 1 zeigt die Details der Anordnung. Der Halbleiterkristall (1) wurde zwischen zwei aufgedampften Indium Kontakten (2), die einen Abstand von 1 mm aufwiesen, von einer grünen 60 mCd Leuchtdiode (3), deren Emission mittels Zerkhacker (4) zerkhackt wurde, beleuchtet. Die Verwendung einer grünen Leuchtdiode stellt ein vorteilhaftes, jedoch nicht wesentliches Merkmal der Erfindung dar. Die Leuchtdiode wurde mit der Spannungsversorgung (5) betrieben. Um einen Photostrom (6) durch den CdS Kristall zu treiben wurde zwischen den Kontakten (2) ein elektrisches Feld von $\leq 0.4 \text{ Vcm}^{-1}$ angelegt. Die Spannung wurde von der Spannungsquelle (7) geliefert. Der Photostrom (6) wurde mit einem Synchrongleichrichter (8) gemessen, der die Referenzfrequenz (278 Hz) vom Lichtzerhacker (4) bezog. Der Zerkhacker (4) stellt kein wesentliches Merkmal der Erfindung dar, da auch gepulste Leuchtdioden verwendet werden können. Der CdS Kristall (1) wurde gleichzeitig mit einem Lichtstrahl (9) eines He-Ne Lasers beleuchtet, dessen Ausgangsleistung mittels eines Flüssigkristallpolarisators mit 100 mHz zwischen 0 und 10 mW moduliert war. Als Lichtquellen für den Lichtstrahl (9) haben sich insbesondere He-Ne Laser bewährt, wenngleich die Verwendung von intensitätsstarken inkohärenten Lichtquellen wie z.B. Quecksilberdampflampen nicht ausgeschlossen ist. Laser und Flüssigkristallpolarisator sind in der Abbildung nicht dargestellt. Der Laserstrahl (9) steht senkrecht auf die Emissionsrichtung (10) der Leuchtdiode. Der Umstand, daß die Lichtstrahlen (9) und (10) senkrecht aufeinander stehen stellt kein wesentliches Merkmal der Erfindung dar und ergab sich aus der Form des verwendeten Halbleiterkristalls (1). Mit einer Si-Photodiode (11) wurde ein proportionales Signal (12) der einfallenden Laserintensität via eines Strahlteilers (13) gemessen. Mit der dargestellten Anordnung kann der Photostrom, der durch die grüne Leuchtdiode hervorgerufen wird, als Funktion der einfallenden He-Ne Laserleistung gemessen werden. Abbildung 2 zeigt den Verlauf des Photostromes als Funktion der Laserintensität bei einem elektrischen Feld von 3 Vcm^{-1} .

Die extreme Feldempfindlichkeit der hybriden Bistabilität ist in den Abbildungen 3(a) und 3(b) verdeutlicht, die den Photostrom bei elektrischen Feldern von 1 Vcm^{-1} bzw. 2 Vcm^{-1} zeigen. Um das Auftreten der Bistabilität zu verstehen, muß erwähnt werden, daß der He-Ne Laser einen Photo-Gleichstrom im μA -Bereich verursacht und somit deutlich über den Werten der Abbildungen 2 und 3 liegt. Es liegt daher die Schlußfolgerung nahe, daß, ab einer gewissen Laserintensität, fast alle Ladungsträger vom Laser angeregt werden und die grüne Emission der Leuchtdiode daher kaum mehr absorbiert wird. Daher nimmt der Photo-Wechselstrom der Leuchtdiode ab. Die bisherigen Aussagen erklären nur die Abnahme des Photostromes aber weder das bistabile Verhalten in den Abbildungen 2 und 3(b) noch die extreme Empfindlichkeit des Photostromes auf Variationen des elektrischen Feldes. Die letzteren Phänomene hängen mit der Lebensdauer der angeregten Ladungsträger und deren Transit- bzw. Laufzeit zwischen den Kontakten zusammen. Sind Lebensdauer und Laufzeit von derselben Größenordnung, so verursacht eine geringe Variation des elektrischen Feldes beträchtliche Veränderungen des Photostromes. Im konkreten Fall liegen beide Zeitkonstanten tatsächlich nahe beieinander und betragen ca. 0.2-0.4 ms. Bei einem Feld von 1 Vcm^{-1} ist der Transitprozeß nicht effektiv genug, um die vom He-Ne Laser angeregten Ladungsträger im CdS Kristall in die Kontakte abzutransportieren. Sie rekombinieren vorher und der Photo-Wechselstrom wird kaum von der einfallenden Laserintensität beeinflusst [Abbildung 3 (a)]. Bei entsprechenden Feldern wird der Transitprozeß effektiv und Bistabilität tritt auf [Abbildungen 2 und 3(b)]. Ein Vergleich der Abbildungen 3 und 4 zeigt, daß ein weiterer Anstieg des elektrischen Feldes die Breite der Schaltschleife vergrößert und die benötigte Laserintensität zur Auslösung der Bistabilität abnimmt; dies hängt damit zusammen, daß bei Feldvergrößerung mehr Ladungsträger die Kontakte erreichen.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten, **dadurch gekennzeichnet**, daß im

Strahlengang eines Lichtstrahls (9), ein Halbleiterkristall (1) angeordnet ist, durch den mittels eines zweiten zerhackten Lichtstrahls (10) und einer Spannungsquelle (7) ein Photostrom (6) mit einer charakteristischen Frequenz getrieben wird, wobei ab einem gewissen Intensitätswert des Lichtstrahls (9) Bistabilität im Photostrom (6), der mit Synchrongleichrichter (8) gemessen wird, verursacht wird.

5

2. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Halbleiterkristall (1) aus CdS besteht.

3. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Lichtstrahl (9) durch einen He-Ne Laser hervorgerufen wird.

10

4. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß Lichtstrahl (9) durch eine intensitätsstarke inkohärente Lichtquelle hervorgerufen wird.

5. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die charakteristische Frequenz des Photostroms (6) durch eine gepulste Leuchtdiode erzielt wird.

15

6. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Photostrom (6) von einer Lichtquelle in Kombination mit einem Monochromator hervorgerufen wird.

7. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Halbleiterkristall (1) durch eine dünne halbleitende Schicht ersetzt wird.

20

8. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß, bei Unterschreitung einer charakteristischen elektrischen Feldstärke, keine Photostrombistabilität stattfindet.

9. Anordnung zur Erzeugung von hybriden Bistabilitäten nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Lichtstrahl (9) von einem Halbleiterlaser, z.B. GaAs-Laser, hervorgerufen wird.

25

HIEZU 5 BLATT ZEICHNUNGEN

30

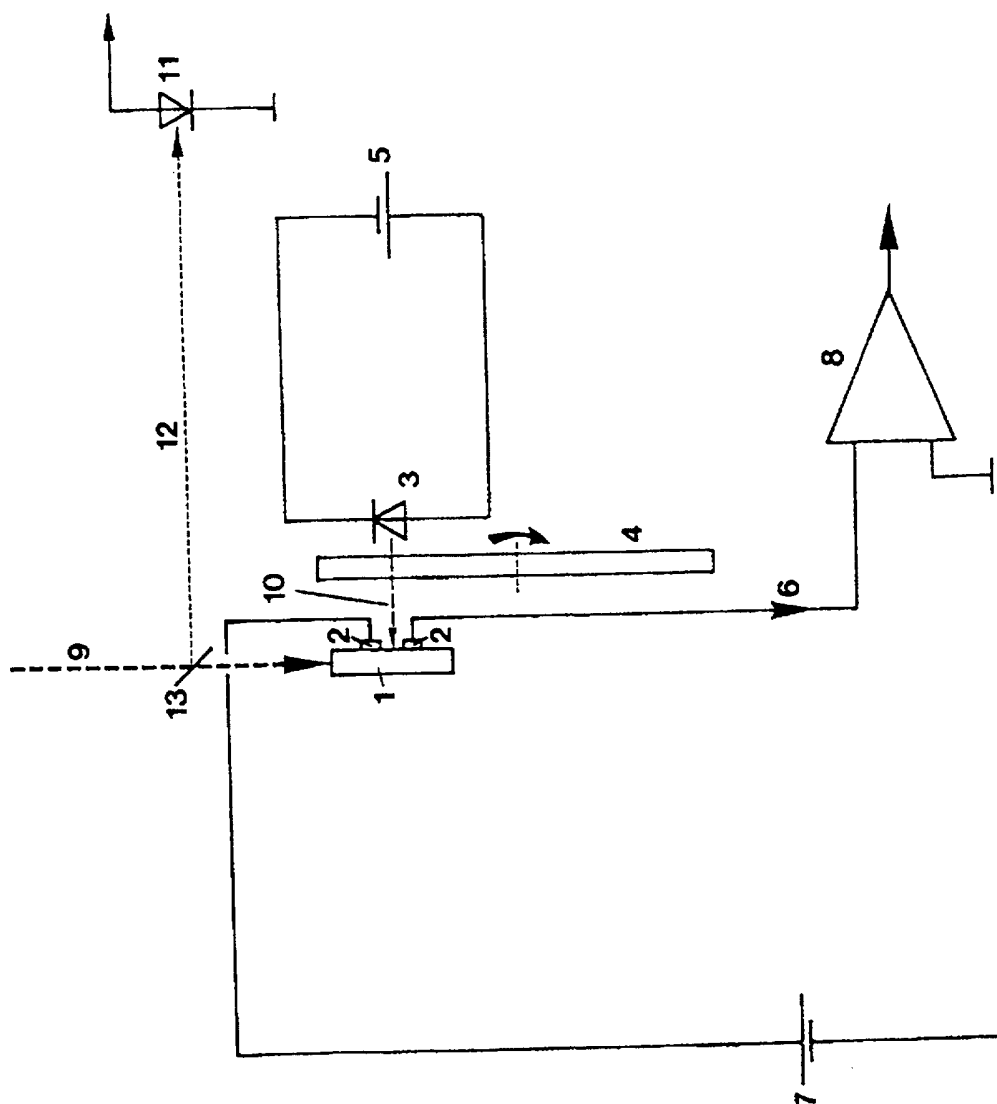
35

40

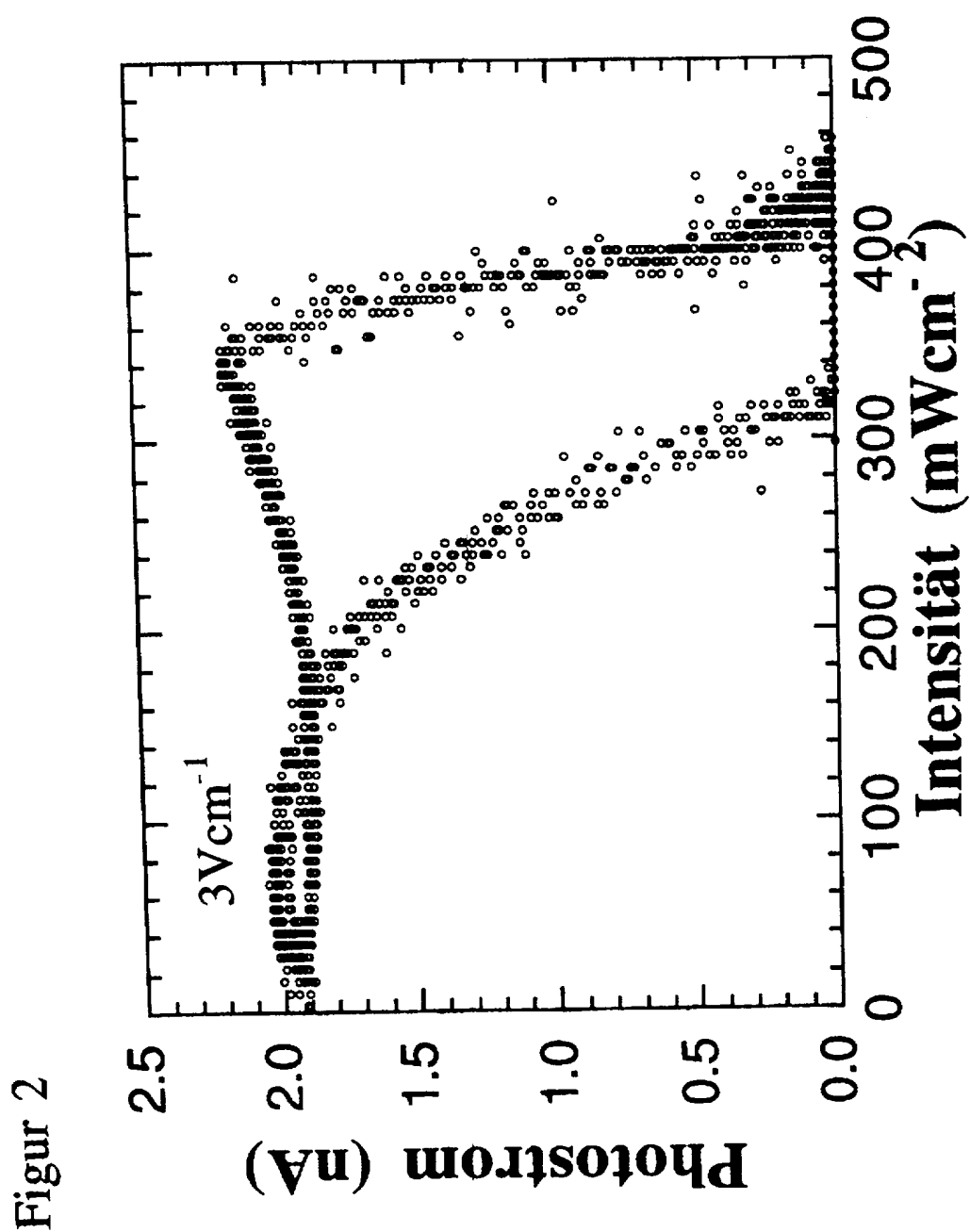
45

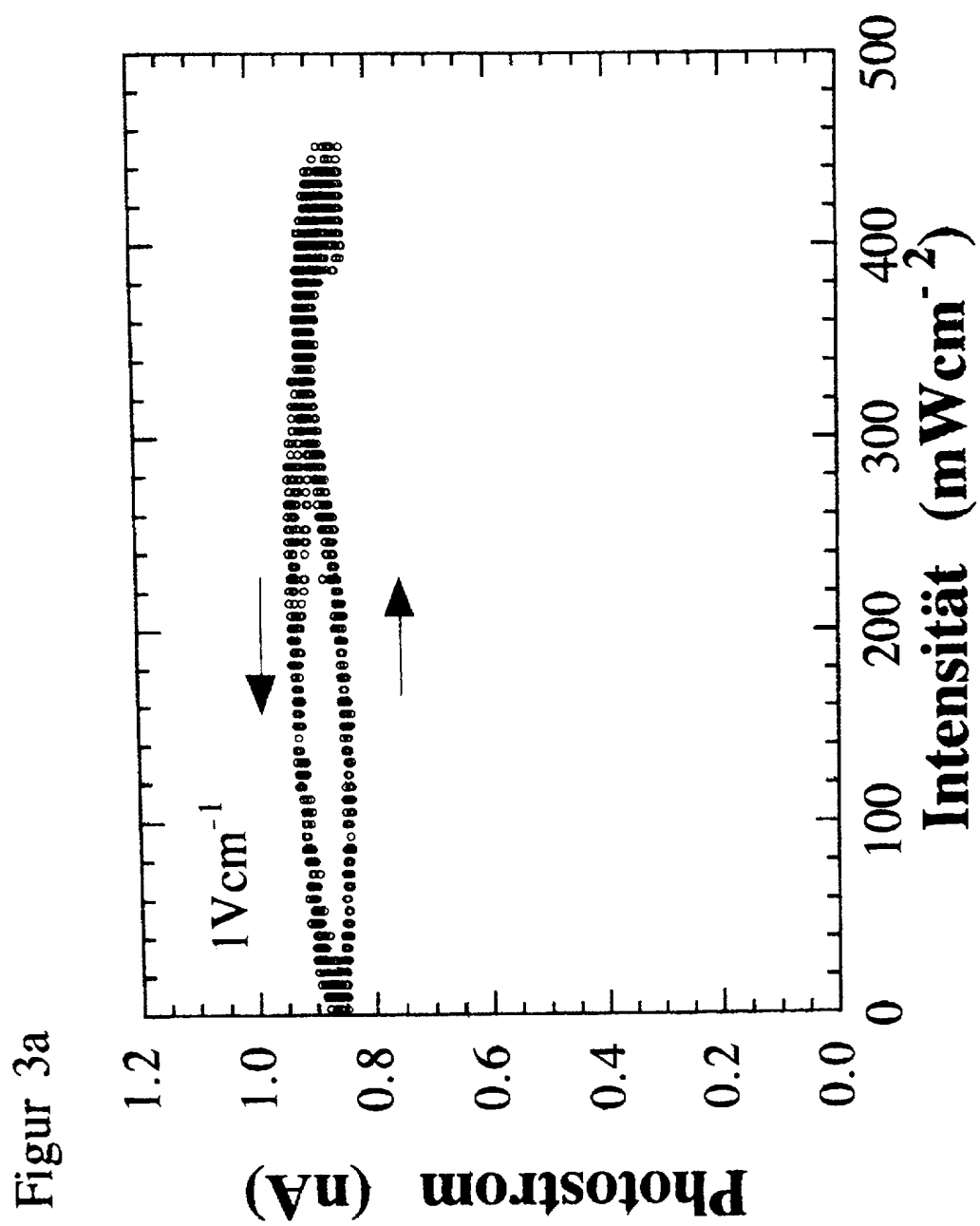
50

55

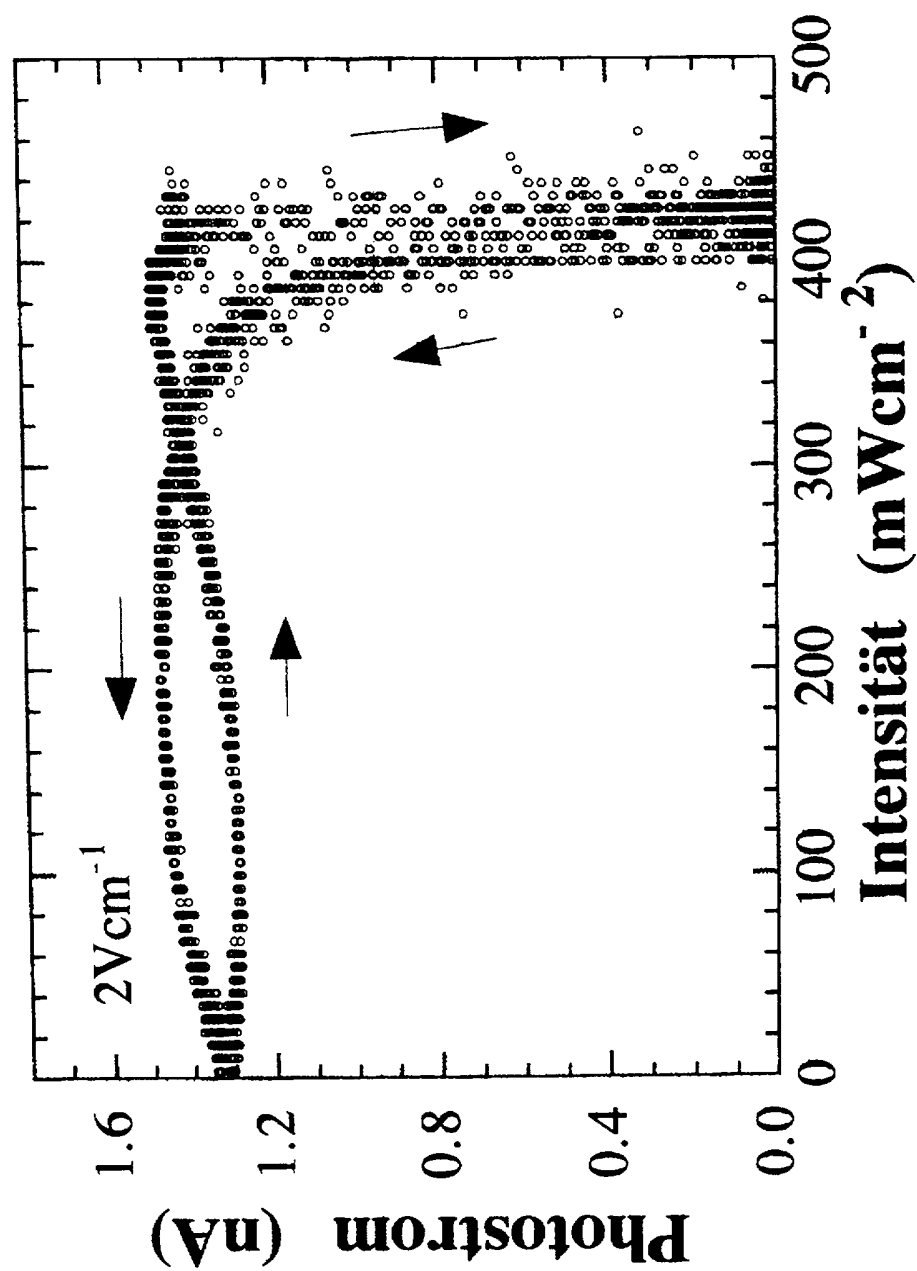


Figur 1





Figur 3b



Figur 4

