



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 002 651 B3 2006.08.24**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 002 651.6**
 (22) Anmeldetag: **19.01.2005**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **24.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 27/72 (2006.01)**
H01L 31/042 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, dieses vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig und Berlin, 38116 Braunschweig, DE; Technische Fachhochschule Wildau, 15745 Wildau, DE

(74) Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122 Braunschweig

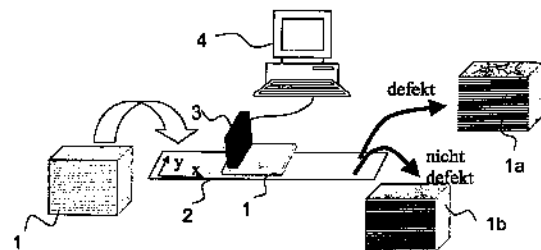
(72) Erfinder:
Beyer, Jörn, Dr., 10119 Berlin, DE; Schurig, Thomas, Dr., 13125 Berlin, DE; Drung, Dietmar, Dr., 13583 Berlin, DE; Jergovic, Michael, 15711 Königs

Wusterhausen, DE; Rolle, Siegfried, Prof. Dr., 15745 Wildau, DE; Ragusch, Denny, 12524 Berlin, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 197 25 679 A1
DE 101 46 879 A1
J.Beyer: "Photomagnetic investigations of grain boundaries in solar silicon", Semicond. Sci. Technol., 16(2001) 44-53;
M.Daibo et al. "Minority Carrier Diffusion Length Measurements of Semiconductors Using a Multi-wavelength Laser SQUID Microscope", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.13, No.2, June 2003, S.223-226;

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Detektion von Defekten an Solarzellenelementen**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zur Detektion von Defekten an Solarzellenelementen (1) mit einer Halterung (2) für mindestens ein zu untersuchendes Solarzellenelement (1) und einer Messanordnung (3) zur ortsabhängigen Anregung des Solarzellenelementes (1) und Detektion des aus der optischen Anregung resultierenden Magnetfeldes des Solarzellenelementes (1), wobei die Halterung (2) relativ zu der Messanordnung (3) verschiebbar ist, wird beschrieben. Die Messanordnung (3) hat eine Vielzahl von in einer Gruppe nebeneinander angeordneten Lichtquellen (6), die auf ein von der Halterung (2) aufgenommenes Solarzellenelement (1) zur orts aufgelösten optischen Anregung des Solarzellenelementes (1) ausrichtbar sind, und im Wirkungsbereich jeder Lichtquelle (6) jeweils eine der Lichtquelle (6) zugeordnete Magnetfeldsensoranordnung (9) zur Detektion der durch die optische Anregung verursachten Fotostromverteilung. Es sind Mittel (7, 8) zur Modulation der Anregungssignale der Lichtquellen (6) vorgesehen. Mit den Magnetfeldsensoranordnungen (9) sind Sensorsignalauswertemittel (4, 10, 11) zur orts aufgelösten Detektion von Defekten des Solarzellenelementes (1) durch Auswertung der von den Magnetfeldsensoranordnungen (9) bei einer jeweiligen Modulationsfrequenz gemessenen Magnetfeldstärken verbunden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Detektion von Defekten an Solarzellenelementen mit einer Halterung für mindestens ein zu untersuchendes Solarzellenelement und einer Messanordnung zur ortsabhängigen optischen Anregung des Solarzellenelementes und Detektion des aus der optischen Anregung resultierenden Magnetfeldes des Solarzellenelementes, wobei die Halterung relativ zu der Messanordnung verschiebbar ist.

Stand der Technik

[0002] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Detektion von Defekten an Solarzellenelementen mit den Schritten:

- a) ortsabhängige optische Anregung des Solarzellenelementes,
- b) Detektion des aus der optischen Anregung resultierenden Magnetfeldes des Solarzellenelementes, und
- c) Auswerten der gemessenen Magnetfeldstärken zur Detektion von Defekten des Solarzellenelementes,
- d) Verschieben des Solarzellenelementes relativ zu einer Messanordnung zur Durchführung der Schritte a) und b) und Wiederholen der Schritten a) bis c).

[0003] Bei der Fertigung und Weiterverarbeitung von Solarzellenelementen, die relativ empfindlich sind, treten oftmals elektrische oder mechanische Defekte auf, beispielsweise Leitungs- und Substratbrüche. Diese können zu einer Verringerung der Leistungsfähigkeit oder sogar zu einem Ausfall des Solarzellenelementes führen. Es besteht daher ein Bedarf, den Ausschuss schnell und preiswert zu erfassen und die defekten Solarzellenelemente auszusortieren.

[0004] Zur Bestimmung von elektrischen Inhomogenitäten von Halbleitern sind folgende Verfahren bekannt:

- Zur Erkennung von Brüchen und Rissen in Solarzellen im Rahmen industrieller Fabrikationsprozesse wird eine akustische Kontrolle eingesetzt, bei der die Zelle mechanisch bewegt und damit verspannt wird, wobei aufgrund der mechanischen Defekte charakteristische Geräusche (knistern) entstehen, die eine Unterscheidung von defektfreien Zellen zulässt.
- Bei der OBIC (Optically Beam Induces Current)
- Methode wird die Zelle mit einem Lichtstrahl abgetastet und die an der Zelle entstehende Photospannung wird über Kontakte gemessen.
- Weitere Methoden, die zur Charakterisierung elektrischer Inhomogenität in Halbleiterproben eingesetzt werden, wie die Spreading Resistance Methode und die 4-Spitzen-Methode sind genauso wie die OBIC Methode aufgrund der notwen-

gen Kontaktierung und des hohen Zeitaufwandes der Messung für die Charakterisierung von Defekten in Solarzellen in industriellen Fabrikationsprozessen nicht geeignet.

[0005] In der DE 101 46 879 A1 ist ein Verfahren zum Nachweis und zur Lokalisierung von Rissen in Silizium-Solarzellen beschrieben, die von einer Lichtquelle angestrahlt werden. Auf der gegenüberliegenden Seite der Lichtquelle ist eine Kamera angeordnet und auf die angestrahelte Solarzelle ausgerichtet, um das durch einen Riss transmittierte Licht zu erfassen und hierdurch einen Riss zu erkennen.

[0006] Weiterhin ist aus der DE 197 25 679 A1 ein Verfahren bekannt, bei dem die Oberfläche eines Halbleiters ortsaufgelöst mit Licht bestrahlt wird. Der dabei entstehende elektrische Strom im Halbleiter wird mit einem Magnetfeldsensor nachgewiesen, wobei die Magnetfeldstärke in Abhängigkeit vom Ort der Lichteinstrahlung die elektrische Inhomogenität des Halbleiters charakterisiert. Dabei kann jedoch nur eine Messung an einem Ort gleichzeitig stattfinden, so dass das Verfahren für die im Verhältnis zu Halbleitern für integrierte elektronische Schaltungen relativ großen Solarzellenelemente nicht geeignet ist. Sowohl die Zeit für die Abtastung einer vollständigen Oberfläche des Solarzellenelementes, als auch die aufgrund des beschriebenen SQUID-Sensorsystems relativ lange Messdauer ist zu groß für eine lückenlose Prozessüberwachung.

[0007] Entsprechende Verfahren und hierzu geeignete Vorrichtungen sind in J. Beyer „Photomagnetic investigation of grain boundaries in solar silicon“, Semiconductor Science and Technology, 16 (2001) 44-53 und in M. Daibo, T. Kikuchi und M. Yoshizawa: „Minority Carrier Diffusion Length Measurements of Semiconductors Using a Multiwavelength Laser SQUID Microscope“, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 13, No. 2, June 2003, Seiten 223 bis 226 beschrieben. Auch hier erfolgt die Messung sequentiell hintereinander jeweils an einem einzigen Messort mit einem einzigen Laser. Die durch die Anregung an dem Messort resultierenden induzierten Ströme werden mittels Magnetfeldsensoren erfasst. Die Untersuchung ist aufgrund der notwendigen sequentiellen Abtastung langwierig und damit für die Serienfertigung nicht geeignet.

Aufgabenstellung

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es daher eine verbesserte Vorrichtung zur Detektion von Defekten an Solarzellen zu schaffen, die eine kostengünstige und schnelle Untersuchung der Solarzellenelemente ermöglicht.

[0009] Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein entsprechend verbessertes Verfahren

zur Detektion von Defekten an Solarzellenelementen anzugeben.

[0010] Die Aufgabe wird mit der gattungsgemäßen Vorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Messanordnung

- eine Vielzahl von in einer Gruppe nebeneinander angeordnete Lichtquellen, die auf ein von der Halterung aufgenommenes Solarzellenelement zur ortsaufgelösten optischen Anregung des Solarzellenelements ausrichtbar sind, und
- im Wirkungsbereich jeder Lichtquelle jeweils eine der Lichtquelle zugeordnete Magnetfeldsensoranordnung zur Detektion der durch die optische Anregung verursachten Fotostromverteilung hat, und dass
- Mittel zur Modulation der Anregungssignale der Lichtquellen, und
- mit den Magnetfeldsensoranordnungen verbundene Sensorsignalauswertemittel zur ortsaufgelösten Detektion von Defekten des Solarzellenelementes durch Auswertung der von den Magnetfeldsensoranordnungen bei einer jeweiligen Modulationsfrequenz gemessenen Magnetfeldstärken vorgesehen sind.

[0011] Die Aufgabe wird weiterhin mit dem gattungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, dass

- die optische Anregung des Solarzellenelementes mit einer Vielzahl von in einer Gruppe nebeneinander angeordneten Lichtquellen erfolgt, die auf das Solarzellenelement ausgerichtet sind,
- die Detektion eines durch eine Lichtquelle verursachten Magnetfeldes durch eine der Lichtquelle zugeordnete Magnetfeldsensoranordnung erfolgt, und
- die ortsaufgelöste Detektion von Defekten des Solarzellenelementes durch Auswertung der von den Magnetfeldsensoranordnungen gemessenen Magnetfeldstärken durchgeführt wird.

[0012] Das bekannte Verfahren zur Bestrahlung einer Probenoberfläche eines Halbleiters mit Licht und Detektion des dabei entstehenden elektrischen Stroms im Halbleiter mit einem Magnetfeldsensor wird erfindungsgemäß auf eine Solarzelle übertragen.

[0013] Durch die parallele Anregung mehrerer zu untersuchender Bereiche der Solarzelle wird die Durchführung des Verfahrens im Vergleich zu der herkömmlichen Einzelabtastung erheblich beschleunigt. Dies wird erst dadurch möglich, dass zur Detektion von Defekten in Solarzellen die notwendige Ortsauflösung der Messung wesentlich geringer ist und die Lichtpunkte zur Anregung eine erheblich größere Fläche abdecken können. Zudem können zum Nachweis der Magnetfelder einfache Magnetfeldsensoren genutzt werden, da eine Solarzelle zur Ausnutzung des Fotostromeffekts konstruiert ist, der zum Strom-

fluss aufgrund der optischen Anregung führt. Die vorgeschlagene parallele Anregung und Messung nebeneinander liegender Bereiche der Solarzelle kann jedoch zu einem störenden Übersprechen der Messsignale führen. Dieses Folgeproblem wird durch eine geeignete Anordnung der Lichtquellen und Sensoren sowie gegebenenfalls durch Verwendung unterschiedlicher Modulationsfrequenzen der Anregungssignale der Lichtquellen gelöst. Die Modulationsfrequenzen liegen vorzugsweise im Bereich von einigen 10 kHz bis einigen 1.000 kHz bis hin zu 10.000 kHz und betragen besonders bevorzugt mehr als 100 kHz. Die Modulationsfrequenzen sollten möglichst groß sein, wobei die Obergrenze durch die physikalischen und elektrischen Eigenschaften der untersuchten Solarzelle gegeben ist.

[0014] Hingegen sollten die Abstände der Modulationsfrequenzen für benachbarte Lichtquellen möglichst klein im Vergleich zur mittleren Modulationsfrequenz gewählt werden. Bevorzugte Abstände liegen im Bereich von 100 Hz bis 100 kHz und besonders bevorzugt im Bereich von bis zu 50 kHz.

[0015] Die Anzahl der Sensorelemente ist vorzugsweise für eine bestimmte Solarzellengröße der typischen Defektgröße in den Zellen angepasst. Vorzugsweise liegt der Abstand der Lichtquellen und Sensorelemente bei 5 bis 10 mm.

[0016] Die Magnetfeldsensoranordnung kann richtungsunabhängige Detektoren für das Magnetfeld haben. Besonders bevorzugt ist es jedoch, wenn die Magnetfeldsensoranordnung richtungsabhängige Magnetfeldsensoren zur selektiven Erfassung von mindestens einer Magnetfeldkomponente hat. Vorzugsweise können zwei rechtwinklig zueinander stehende und eine Ebene parallel zur Oberfläche des Solarzellenelementes aufspannende Detektionsrichtungen B_x und B_y oder alternativ die senkrecht auf der Oberfläche stehende Detektionsrichtung B_z verwendet werden. Damit ist eine ortsaufgelöste Detektion der Defekte möglich.

[0017] Die Sensorauswertemittel können für jeden Magnetfeldsensor einen schmalbandigen Messsignalverstärker und einen phasenempfindlichen Gleichrichter für das bandpassgefilterte verstärkte Messsignal haben. Die schmalbandige Verstärkung und phasenempfindliche Gleichrichtung der Magnetfeldsensoren erfolgt dann in Bezug auf die Modulationsfrequenzen der jeweils zugeordneten Lichtquellen. So kann beispielsweise an jedem Magnetfeldsensor eine Reihenschaltung aus schmalbandigen Messsignalverstärker und phasenempfindlichen Gleichrichter geschaltet sein. Das Ausgangssignal des phasenempfindlichen Gleichrichters stellt dann ein Maß für den von der zugeordneten Lichtquelle verursachten lateralen Strom in der Solarzelle dar. Im Falle eines Defektes, wie z. B. Bruch oder Kurz-

schluss würde anstelle eines erwarteten Stromes ein Strom anderer Richtung und Intensität fließen. Dies spiegelt sich dann in der gemessenen Magnetfeldverteilung wieder.

[0018] Entsprechende vorteilhafte Ausführungsformen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Ausführungsbeispiel

[0019] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

[0020] **Fig. 1** – Schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Detektion von Defekten an Solarzellenelementen;

[0021] **Fig. 2** – Schematische perspektivische Darstellung einer auf ein Solarzellenelement ausgerichteten Messanordnung;

[0022] **Fig. 3a** – Beispielhafter Messsignalverlauf bei einem nicht defekten Solarzellenelement;

[0023] **Fig. 3b** – Beispielhafter Messsignalverlauf bei einem defekten Solarzellenelement;

[0024] **Fig. 4a** – Beispielhaftes Topogramm zur Darstellung des Signalverlaufs bei einem nicht defekten Solarzellenelement;

[0025] **Fig. 4b** – Beispielhaftes Topogramm zur Darstellung des Messsignalverlaufs bei einem defekten Solarzellenelement.

[0026] Die **Fig. 1** lässt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Bestimmung von Defekten in Solarzellenelementen 1 erkennen, die auf einer Halterung 2 in Form eines Fließbandes gelegt und in durch den Pfeil gekennzeichnete x-Richtung unter einer Messanordnung 3 hindurchgeführt werden. Die Messanordnung 3 hat eine Reihe von in Querrichtung y zur Fortbewegungsrichtung x nebeneinander angeordnete Lichtquellen und zugeordnete Magnetfeldsensoren, so dass die gesamte Breite eines Solarzellenelementes 1 gleichzeitig untersucht werden kann. Durch die Bewegung der Solarzellenelemente 1 in x-Richtung unter der Messanordnung 3 hindurch wird über die Zeit t dann die gesamte Fläche des Solarzellenelementes 1 untersucht. Die Messdaten werden zur weiteren Auswertung und Dokumentation einem Computer 4 zugeführt. Am Ende des Förderbandes 2 werden dann als Ergebnis der Untersuchung nach Defekten in den Solarzellenelementen 1a die defekten Solarzellenelemente 1 ausgesondert und die nicht defekten Solarzellenelemente 1b zur Weiterverarbeitung freigegeben.

[0027] Die zu untersuchenden Solarzellenelemente 1 können manuell oder durch einen geeigneten Manipulator auf das Förderband 2 gelegt werden. Das Förderband 2 bewegt die zu untersuchenden Solarzellenelemente 1 geradlinig gleichförmig oder wahlweise im „Stop-And-Go“ Betrieb unter der Zeile von Lichtquellen und Magnetfeldsensoren mit einer Geschwindigkeit v hinweg. Bei dem „Stop-And-Go“ Betrieb wird das Förderband 2 während der Aufnahme von Messwerten gestoppt.

[0028] Die Messanordnung 3 ist schematisch in der **Fig. 2** dargestellt. Es ist erkennbar, dass eine Vielzahl gleichartiger Baugruppen 5a, 5b, ... 5h in einer Reihe nebeneinander angeordnet sind. Die Baugruppen 5 haben jeweils eine Lichtquelle 6, die über Mittel 7 (Treiberschaltung) zur optischen Anregung des Solarzellenelementes 1 mit einem Anregungssignal beaufschlagt wird. Das Anregungssignal ist mit einer möglichst hohen Modulationsfrequenz moduliert, die durch einen Oszillator 8 und der Treiberschaltung 7 oder Lichtquelle 6 festgelegt ist. Die Modulationsfrequenzen der Lichtquellen 6 von benachbarten Baugruppen 5 können sich unterscheiden, wobei der Abstand der Modulationsfrequenzen der benachbarten Leuchtpunkte klein gegenüber der mittleren Modulationsfrequenz, d. h. dem Mittel über alle verwendeten Modulationsfrequenzen.

[0029] Die Baugruppen weisen weiterhin eine Magnetfeldsensoranordnung mit Magnetfeldsensoren 9a, 9b, 9c auf. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Magnetfeldsensoren 9a, 9b, 9c richtungsabhängig angeordnet, wobei der erste Magnetfeldsensor 9a zur selektiven Erfassung der Magnetfeldstärken in x-Richtung und der zweite Magnetfeldsensor 9b zur selektiven Erfassung der Magnetfeldstärken in der y-Richtung und der dritte Magnetfeldsensor 9c zur selektiven Erfassung der Magnetfeldstärken in z-Richtung vorgesehen ist. Die beiden Detektionsrichtungen x und y stehen rechtwinklig zueinander und spannen eine Ebene parallel zur Oberfläche des Solarzellenelementes 1 auf; die Detektionsrichtung z steht senkrecht zu dieser Ebene.

[0030] Die Magnetfeldsensoranordnung 9 kann aber auch lediglich ein oder mehrere richtungsunabhängige Magnetfeldsensoren 9 haben.

[0031] Die Lichtquellen 6 können Leuchtdioden oder Laserdioden sein. Um eine Ortsauflösung von 5 mm × 5 mm zu erzielen bestrahlt eine einzelne Lichtquelle 6 auf dem Solarzellenelement 1 eine Fläche mit einem Durchmesser von 25 mm². Dabei ist die Messanordnung 3 so justiert, dass ein möglichst geringer Abstand zwischen den Magnetfeldsensoren 9 und der Oberfläche des Solarzellenelementes 1 in der Größenordnung von etwa 1 mm eingehalten wird. Während des Vorbeibewegens des Solarzellenelementes 1 unter der Messanordnung 3 werden die

durch die optische Anregung erzeugten lateralen Ströme in dem Solarzellenelement 1 über ihr Magnetfeld durch die Magnetfeldsensoren 9 gemessen. Die Magnetfeldsensoren 9 können beispielsweise als Induktionsspulen ausgeführt sein. Die auf diese Weise ermittelte Magnetfeldverteilung wird zur Charakterisierung des Solarzellenelementes 1 auf Defekte herangezogen. In der Magnetfeldverteilung eines defektbehafteten Solarzellenelementes 1 zeichnen sich im Vergleich mit der Verteilung eines defektfreien Solarzellenelementes 1 deutlich die Muster von Defekten ab. Dieser Vergleich kann sowohl visuell durch eine Person als auch automatisiert durch ein entsprechendes Computerprogramm durchgeführt werden.

[0032] Die Lichtquellen 6 können optional über eine zusätzlich Optik verfügen. Sie können auch fern vom Ort der Beleuchtung angeordnet werden, wobei das Licht über Lichtleitfasern zum Beleuchtungsort geführt wird. Die Leuchtdioden, bzw. Faserausgänge werden in einer Zeile mit einem Abstand zwischen den Lichtquellen 6 angeordnet, der der gewünschten Ortsauflösung entspricht. Angrenzend hieran werden die Magnetfeldsensoren 9 angeordnet, die aus kleinen Induktionsspulen vorzugsweise mit einem Kern aus weichmagnetischem Material bestehen können.

[0033] Um bei der Messung der geringen Magnetfeldstärke, die durch die optisch generierten Fotostrome hervorgerufen wird, einen genügenden Signal-Rausch-Abstand angesichts der gleichzeitigen Anregung der gesamten Breite des Solarzellenelementes zu gewährleisten, wird eine aktive Störsignalunterdrückung durchgeführt. Aufgrund der Modulation der Intensität der von den Lichtquellen 6 abgegebenen Strahlung kann die ortsaufgelöste Auswertung der resultierenden Messsignale durch eine schmalbandige Verstärkung des jeweiligen Messsignals eines Magnetfeldsensors 9 mit einem Verstärker 10 und eine anschließende phasenempfindliche Gleichrichtung mit einem Gleichrichter 11 in Bezug auf die Modulationsfrequenz des Anregungssignals der zugeordneten Lichtquelle 6 erfolgen.

[0034] Jede Lichtquelle 6 bildet dabei in Kombination mit einem Magnetfeldsensor 9 einen Messkanal. Die Trennung der Signale der einzelnen Messkanäle, d. h. der einzelnen Baugruppen 5, und die Vermeidung des Übersprechens erfolgt somit durch Modulation der Strahlung einer jeden Lichtquelle 6 mit einer anderen Modulationsfrequenz. Die Modulationsfrequenzen sollten dabei in einem nicht rationalen Verhältnis stehen, um die Detektion von Harmonischen des Signals 6 benachbarter Lichtquellen zu vermeiden. Die Modulationsfrequenzen sollten dabei so hoch wie möglich gewählt werden, um die für eine ausreichenden Signal-Rausch-Abstand bei der Messung notwendige Integrationszeit gering zu halten. Somit wird eine hohe Messgeschwindigkeit beim Abscannen der Solarzellenelemente 1 erreicht. Eine

obere physikalische Grenze für die Modulationsfrequenz ist durch die endliche Generations-Rekombinations-Geschwindigkeit der Elektroden-Loch-Paare in der Solarzelle 1 sowie die frequenzabhängige Beeinflussung des Signals durch die Solarzelle 1 gegeben.

[0035] Um mit einer Zeile von Lichtquellen 6 und Magnetfeldsensoren 9 die gesamte Fläche eines Solarzellenelementes 1 mit ausreichender Ortsauflösung vermessen zu können, ist es zweckmäßig, die Zeile von Lichtquellen 6 in Bezug auf das Solarzellenelement 1 zu bewegen. Das von den Magnetfeldsensoren 9 der Zeile detektierte Signale wird dabei zu den jeweiligen Ortskoordinaten der zugehörigen Lichtquellen 6, die sich aus der Position in der Zeile und der aktuellen Position der Zeile im Bezug auf das Solarzellenelement 1 ergeben, in Bezug gesetzt. Für die Aufnahme der Messwerte der Magnetfeldwerte an einer bestimmten Sensorposition ist eine gewisse Integrationszeit der phasenempfindlichen Gleichrichtung notwendig. Die Messung kann in zweierlei Weise erfolgen. Die erste Möglichkeit besteht darin, dass die Position mit der Zeile angefahren wird und die Relativbewegung von Zeile und Solarzellenelement 1 für den Zeitraum der Messwertaufnahme, die im Wesentlichen der Integrationszeit entspricht, unterbrochen wird. Die zweite Möglichkeit besteht in der Messung während einer kontinuierlichen Verschiebung der Zeile gegenüber dem Solarzellenelement 1. Hierbei ist darauf zu achten, dass das Produkt aus Verfahrensgeschwindigkeit und Integrationszeit nicht größer als die beabsichtigte Ortsauflösung ist. Es besteht auch die Möglichkeit, anstelle einer zeilenförmigen Anordnung von Lichtquellen 6 und Magnetfeldsensoren 9 ein Feld (Array) von Messkanälen in der Größe der zu charakterisierenden Fläche zu verwenden und auf eine Verschiebung zu verzichten.

[0036] Aus den durch die ortsaufgelöste Messung gewonnenen Magnetfeld-Messwerten werden durch den Bezug zu den Ortskoordinaten, an denen die Messwerte aufgenommen worden sind, Magnetfeldverteilungen gewonnen, die eine Charakterisierung des Solarzellenelementes 1 auf Defekte ermöglichen.

[0037] Die **Fig. 3a**, **Fig. 3b** lassen ein beispielhaftes Liniendiagramm erkennen, wobei in der **Fig. 3a** die Amplitude eines Magnetfeld-Messsignals B über die Zeit t für ein defektfreies Solarzellenelement aufgetragen ist. Dabei wurde über die Zeit t das Solarzellenelement 1 in x-Richtung unter der Messanordnung 3 hindurchgeführt und die Messsignale der nebeneinander angeordneten Baugruppen 5 gleichzeitig übereinander aufgetragen.

[0038] Die **Fig. 3b** lässt ein entsprechendes Liniendiagramm für ein defektes Solarzellenelement 1 erkennen. Es wird deutlich, dass einzelne Messsignal-

linien von dem ansonsten im Wesentlichen zick-zack-förmigen Signalverlauf abweichen. Hieraus kann sehr gut ein defektfreies Solarzellenelement 1 von einem defekten Solarzellenelement 1 unterschieden werden.

[0039] Die **Fig. 4a** und **Fig. 4b** lassen vollständige Topogramme eines Solarzellenelementes erkennen, wobei in der **Fig. 4a** die Amplitude der magnetischen Induktion B_y über der Fläche eines defektfreien Solarzellenelementes und in **Fig. 4b** für ein defektes Solarzellenelement aufgetragen ist. Im Vergleich der Topogramme ist der Defekt des Solarzellenelementes 1 im rechten unteren Bereich in **Fig. 4b** gut erkennbar.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Detektion von Defekten an Solarzellenelementen (1) mit einer Halterung (2) für mindestens ein zu untersuchendes Solarzellenelement (1) und einer Messanordnung (3) zur ortsabhängigen optischen Anregung des Solarzellenelementes (1) und Detektion des aus der optischen Anregung resultierenden Magnetfeldes des Solarzellenelementes (1), wobei die Halterung (2) relativ zu der Messanordnung (3) verschiebbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messanordnung (3)

- eine Vielzahl von in einer Gruppe nebeneinander angeordnete Lichtquellen (6), die auf ein von der Halterung (2) aufgenommenes Solarzellenelement (1) zur ortsaufgelösten optischen Anregung des Solarzellenelementes (1) ausrichtbar sind, und
- im Wirkungsbereich jeder Lichtquelle (6) jeweils eine der Lichtquelle (6) zugeordnete Magnetfeldsensoranordnung zur Detektion der durch die optische Anregung verursachten Fotostromverteilung hat, und dass
- Mittel (7, 8) zur Modulation der Anregungssignale der Lichtquellen (6), und
- mit den Magnetfeldsensoranordnungen verbundene Sensorsignalauswertemittel (4, 10, 11) zur ortsaufgelösten Detektion von Defekten des Solarzellenelementes (1) durch Auswertung der von den Magnetfeldsensoranordnungen bei einer jeweiligen Modulationsfrequenz gemessenen Magnetfeldstärken vorgesehen sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die gemeinsame Modulationsfrequenz im Bereich von 10 kHz bis 10.000 kHz liegt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Modulationsfrequenzen für eine Folge von benachbarten Lichtquellen (6) unterscheiden und die Abstände der Modulationsfrequenzen für benachbarte Lichtquellen (6) mindestens dem doppelten Wert der Detektionsbandbreite der Messanordnung und höchstens dem Wert entsprechen, der sich aus dem Quotienten der maxima-

len Modulationsfrequenz der Lichtquellen und deren Anzahl in der Messanordnung ergibt.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch den Abstand der Lichtquellen (6) in einer Gruppe und durch die Verschiebung der Solarzelle in Bezug auf die Gruppe von Lichtquellen (6) und die Häufigkeit der Aufnahme von Messwerten während der Verschiebung eine Magnetfeldverteilung mit einer Ortsauflösung ermittelt wird, die der typischen Defektgröße in den Solarzellen angepasst ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe eines Flächenelementes, dem ein Messwert zugeordnet wird im Bereich von 50 mm² bis 10 mm² liegt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche der von den Lichtquellen (6) auf dem Solarzellenelement (1) abgebildeten Leuchtpunkte maximal eine Ausdehnung hat, die dem Abstand der Lichtquellen (6) in der Gruppe entspricht.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der von einer Lichtquelle (6) auf dem Solarzellenelement (1) beleuchteten Fläche etwa 25 mm² beträgt.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnetfeldsensoranordnung richtungsunabhängige Detektoren für das Magnetfeld hat.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnetfeldsensoranordnung richtungsabhängige Magnetfeldsensoren (9a, 9b, 9c) für das Magnetfeld hat, wobei Magnetfeldsensoren (9a, 9b, 9c) zur selektiven Erfassung von mindestens einer Magnetfeldkomponente des resultierenden Magnetfeldes des Solarzellenelementes (1) vorgesehen sind.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorsignalauswertemittel für jeden Magnetfeldsensor (9) einen Lock-in-Messsignalverstärker zur schmalbandigen Verstärkung und phasenempfindlichen Gleichrichtung der Magnetfeld-Sensorsignale in Bezug auf die Modulationsfrequenz der jeweils zugeordneten Lichtquelle (6) haben.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand benachbarter Lichtquellen (6) und/oder der Abstand benachbarter Magnetfeldsensoren (9) voneinander im Bereich von 5 bis 10 mm liegt.

12. Verfahren zur Detektion von Defekten an So-

larzellenelementen (1) mit den Schritten:

- a) ortsabhängige optische Anregung des Solarzellenelementes (1),
 - b) Detektion des aus der optischen Anregung resultierenden Magnetfeldes des Solarzellenelementes (1), und
 - c) Auswerten der gemessenen Magnetfeldstärken zur Detektion von Defekten des Solarzellenelementes (1),
 - d) Verschieben des Solarzellenelementes (1) relativ zu einer Messanordnung (3) zur Durchführung der Schritte a) und b) und Wiederholen der Schritten a) bis c),
- dadurch gekennzeichnet, dass
- die optische Anregung des Solarzellenelementes (1) mit einer Vielzahl von in einer Gruppe nebeneinander angeordneten Lichtquellen (6) erfolgt, die auf das Solarzellenelement (1) ausgerichtet sind,
 - die Detektion eines durch eine Lichtquelle (6) verursachten Magnetfeldes durch eine der Lichtquelle (6) zugeordnete Magnetfeldsensoranordnung erfolgt, und
 - die orts aufgelöste Detektion von Defekten des Solarzellenelementes (1) durch Auswertung der von den Magnetfeldsensoranordnungen gemessene Magnetfeldstärken durchgeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregungssignale der Lichtquellen (6) mit Modulationsfrequenzen moduliert sind, die sich für eine Folge von benachbarten Lichtquellen (6) unterscheiden, und die Auswertung der Magnetfeldstärken in Abhängigkeit von den Modulationsfrequenzen zur orts aufgelösten Detektion von Defekten des Solarzellenelementes (1) erfolgt.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Modulationsfrequenzen im Bereich von 10 kHz bis 10.000 kHz gewählt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstände der Modulationsfrequenzen für benachbarte Lichtquellen (6) mindestens dem doppelten Wert der Detektionsbandbreite der Messanordnung und höchstens dem Wert entsprechen, der sich aus dem Quotienten der maximalen Modulationsfrequenz der Lichtquellen und deren Anzahl in der Messanordnung ergibt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass durch den Abstand der Lichtquellen (6) in einer Gruppe und durch die Verschiebung des Solarzellenelementes (1) in Bezug auf die Gruppe von Lichtquellen (6) und die Häufigkeit der Aufnahme von Messwerten während der Verschiebung eine Magnetfeldverteilung mit einer Ortsauflösung ermittelt wird, die der typischen Defektgröße in den Solarzellenelementen (1) angepasst ist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe eines Flächenelementes, dem ein Messwert zugeordnet wird, im Bereich von 50 mm² bis 10 mm² liegt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche der von den Lichtquellen (6) auf dem Solarzellenelement (1) abgebildeten Leuchtpunkte maximal eine Ausdehnung hat, die dem Abstand der Lichtquellen (6) in der Gruppe entspricht.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der von einer Lichtquelle (6) auf dem Solarzellenelement (1) beleuchteten Fläche etwa 25 mm² beträgt.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 19, gekennzeichnet durch richtungsunabhängige Detektion der Magnetfeldstärken.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 20, gekennzeichnet, durch richtungsabhängige Detektion der Magnetfeldstärken, wobei mindestens eine Magnetfeldkomponente des resultierenden Magnetfeldes des Solarzellenelementes (1) detektiert wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 21, gekennzeichnet durch schmalbandige Verstärkung der jeweils gemessenen Magnetfeldstärke-Messsignale und phasenempfindliche Gleichrichtung der bandpassgefilterten verstärkten Messsignale, wobei die schmalbandige Verstärkung und phasenempfindliche Gleichrichtung der Magnetfeldsensoren (9a, 9b, 9c) in Bezug auf die Modulationsfrequenzen der jeweils zugeordneten Lichtquellen (6) erfolgt.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

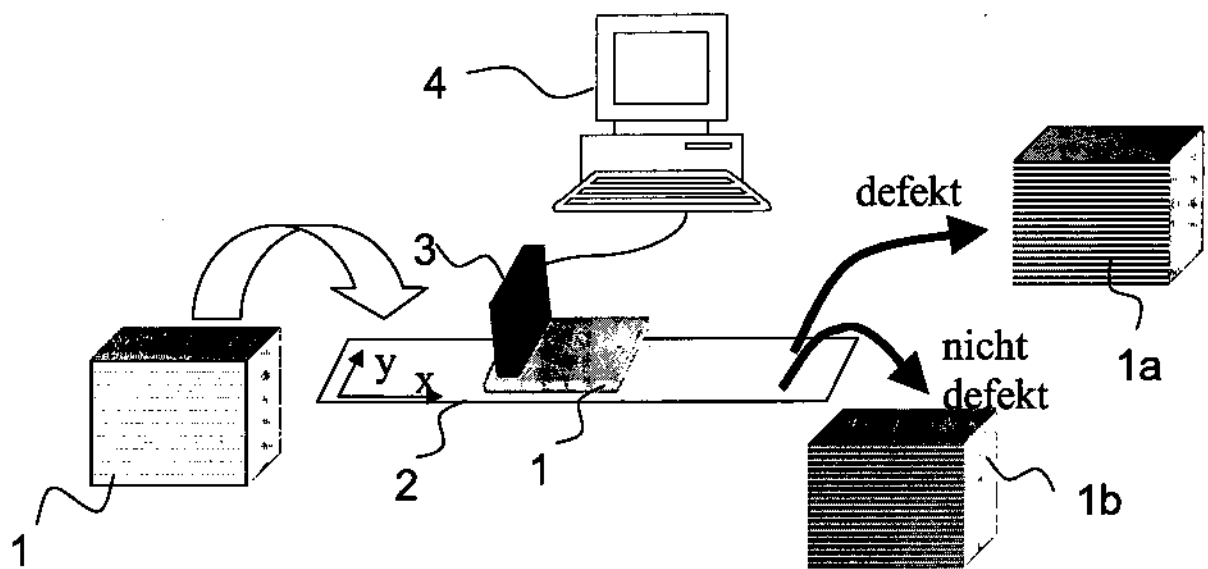


Fig. 1

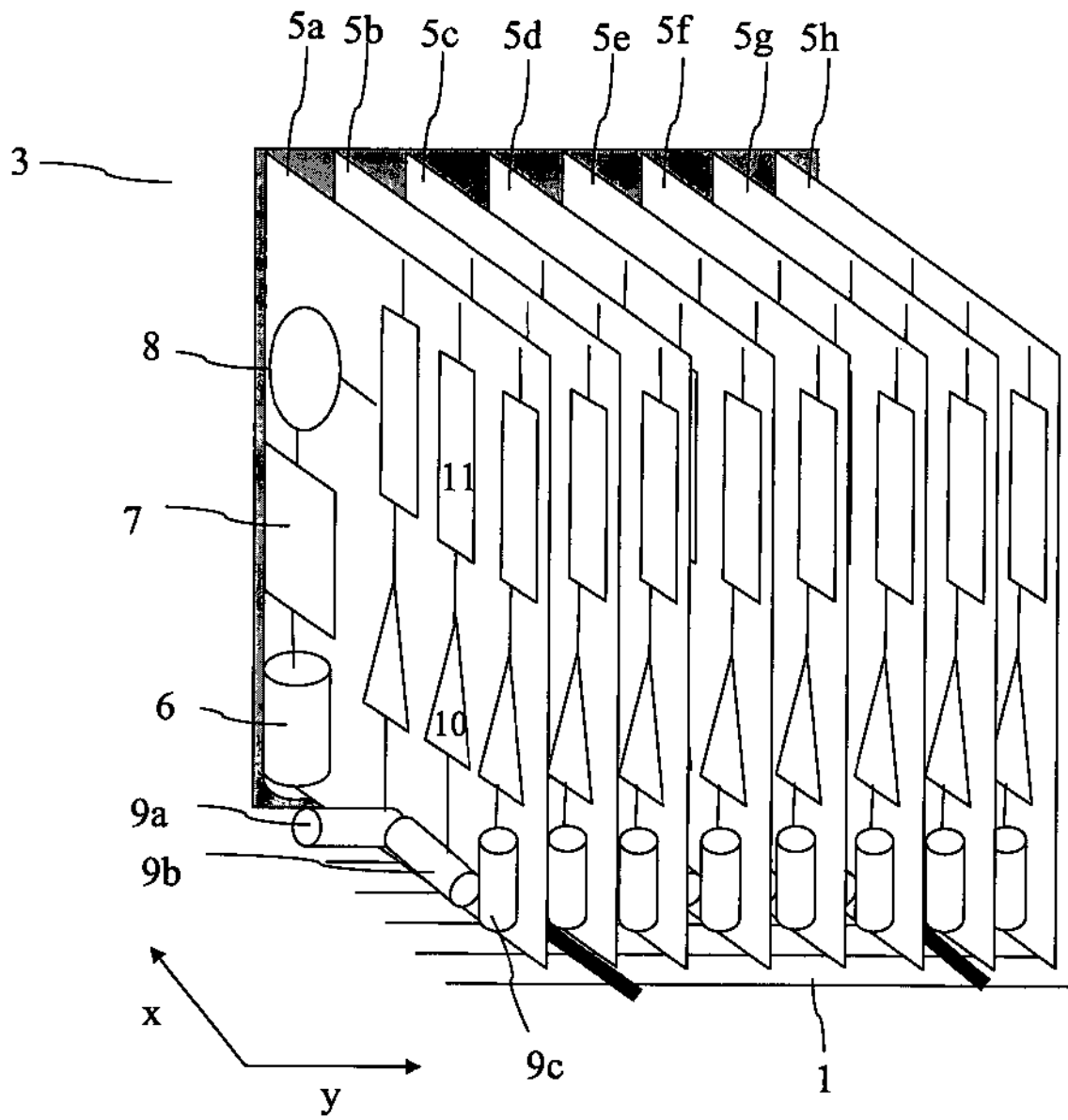


Fig. 2

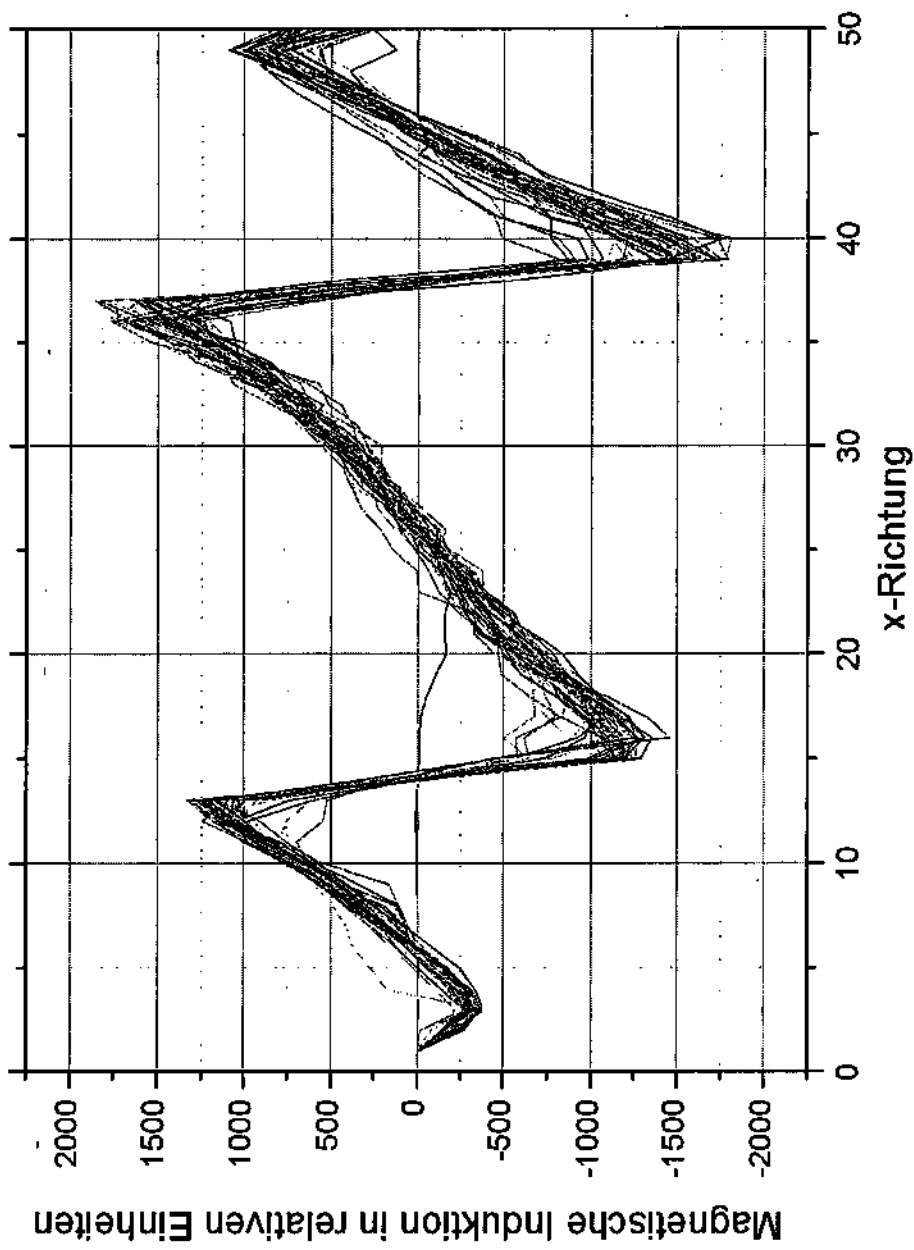


Fig. 3a

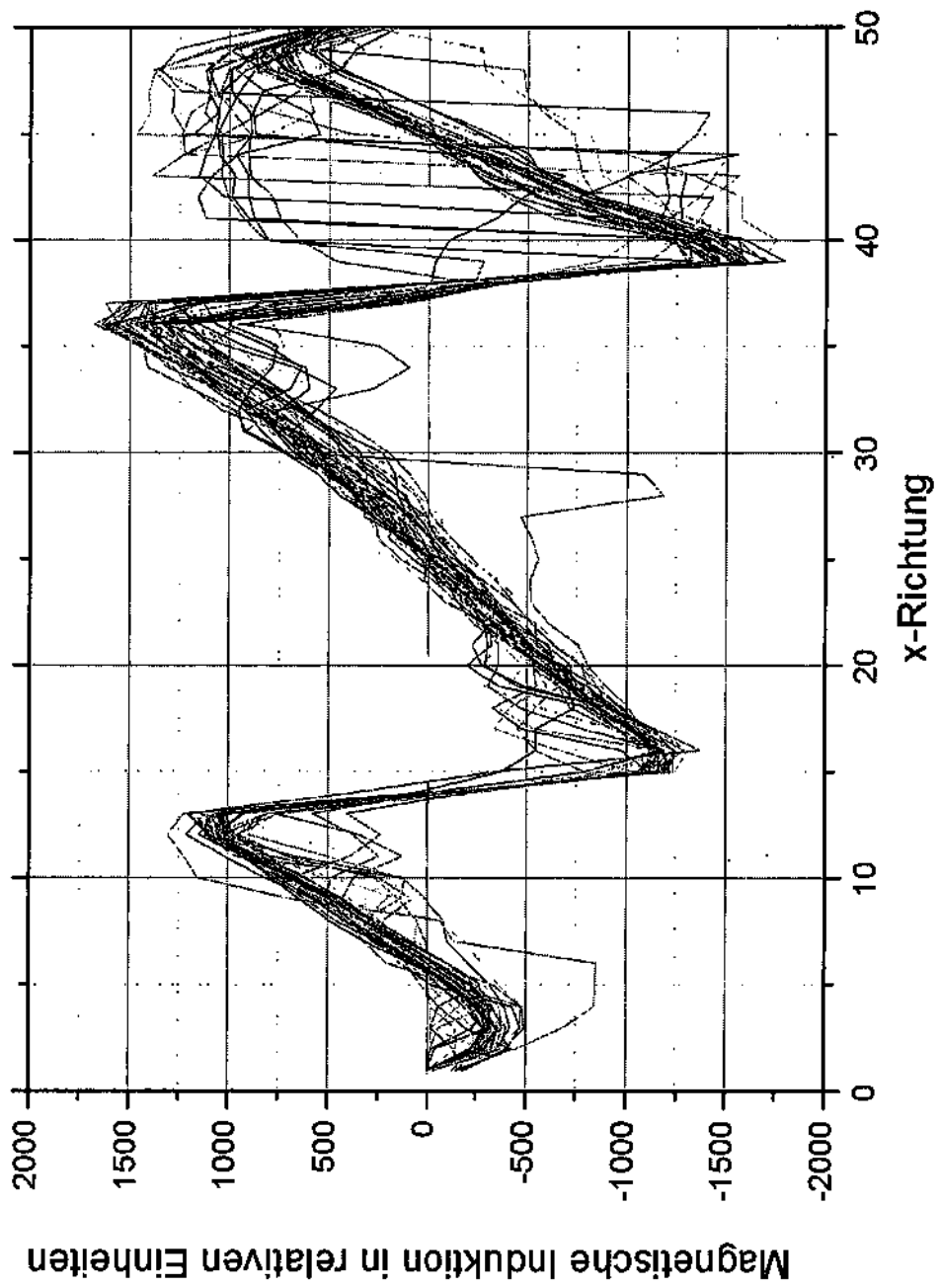


Fig. 3b

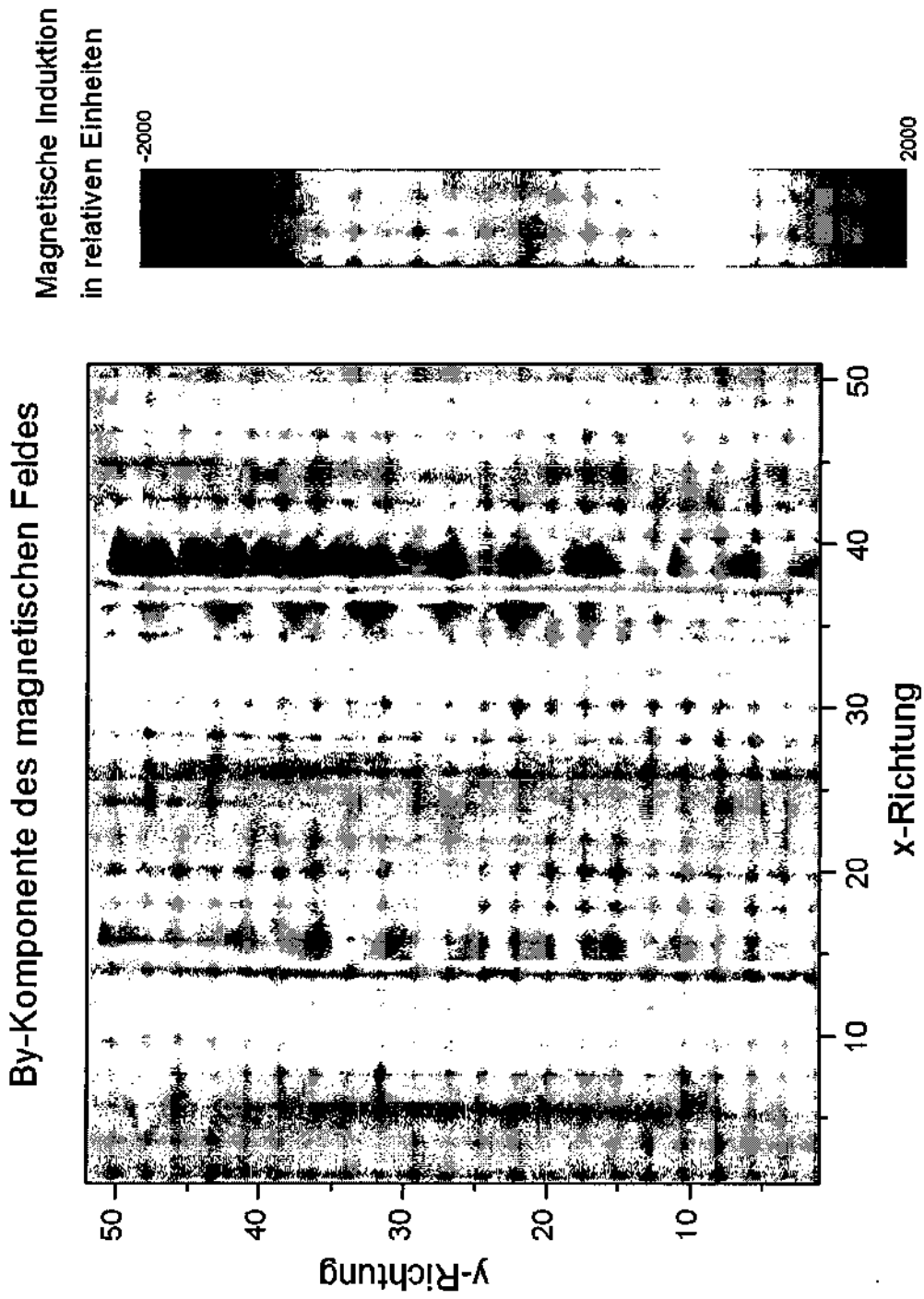
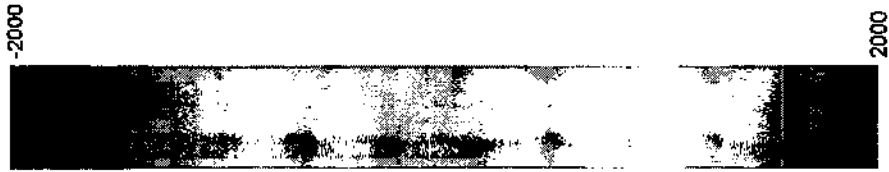


Fig. 4a

Magnetische Induktion
in relativen Einheiten



By-Komponente des magnetischen Feldes

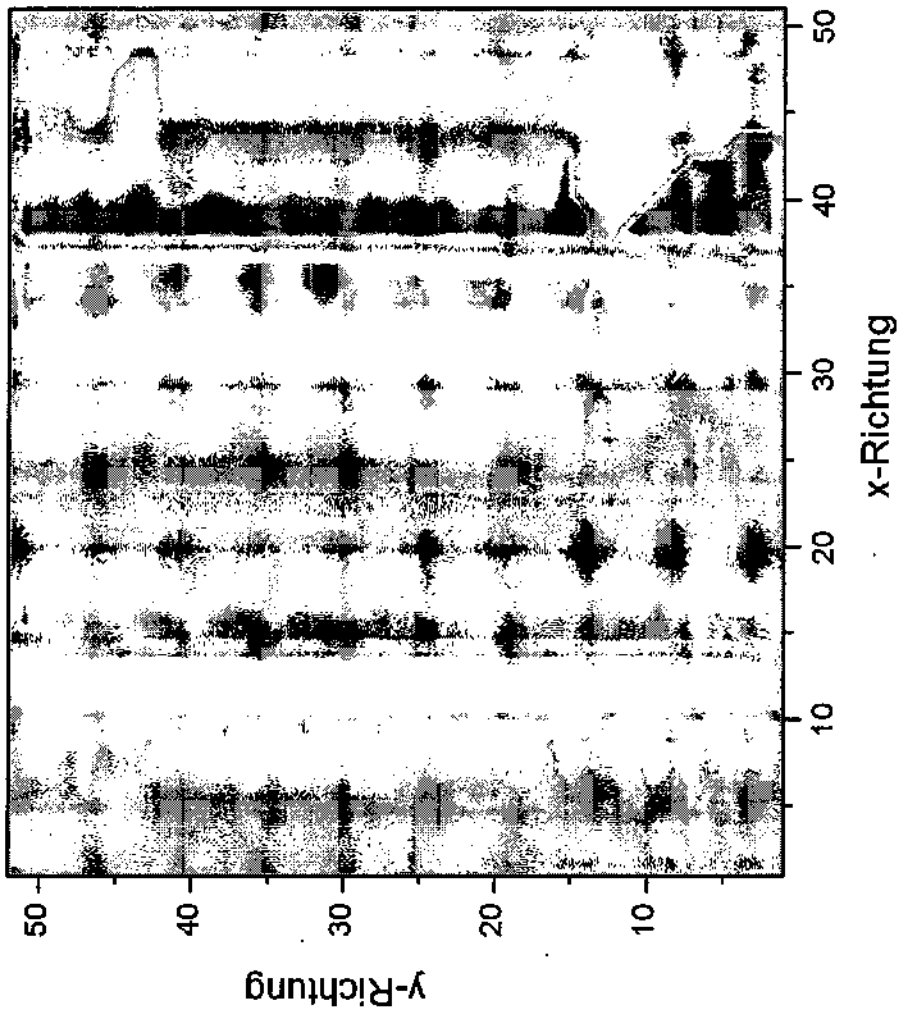


Fig. 4b