(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2013 003 111 B4** 2022.03.17

(12) # Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2013 003 111.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2013/045696**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2013/192012**
(86) PCT-Anmeldetag: **13.06.2013**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **27.12.2013**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **02.04.2015**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **17.03.2022**

(51) Int Cl.: ***H01L 21/66*** (2006.01)
H01L 31/16 (2006.01)

Innerhalb von neun 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. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

61/662,484	**21.06.2012**	**US**
13/905,346	**30.05.2013**	**US**

(73) Patentinhaber:
KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US

(74) Vertreter:
Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte, 93049 Regensburg, DE

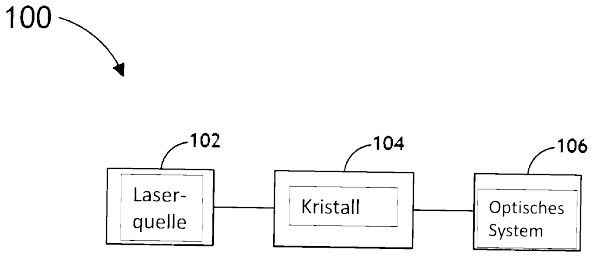
(72) Erfinder:
Genis, Patrick C., Boulder Creek, Calif., US

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	**2002 / 0 175 149**	**A1**
US	**2012 / 0 113 995**	**A1**

(54) Bezeichnung: **Ausgleich der Laserkristallalterung und Beleuchtungsvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Ausgleich der Laserkristallalterung, umfassend:
Festlegen einer Vielzahl von Positionen auf einem frequenzwandelnden Kristall;
Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl der Positionen assoziierten Alterungsrate;
Bestimmen einer Zeitdauer T, während der eine Position innerhalb einer tolerierten Schwankung wenigstens eines Strahlparameters durchgehend verwendbar ist, wobei die Zeitdauer T auf Grundlage der tolerierten Schwankung des wenigstens einen Strahlparameters und der Alterungsrate bestimmt wird;
Bestimmen einer Zeitdauer t, wobei t ein Bruchteil von T ist; und
iteratives Verschieben zwischen der Vielzahl der Positionen, wobei bei jeder Iteration jede der Vielzahl der Positionen für eine Zeitspanne t durchgehend genutzt wird.



Beschreibung

VERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN

[0001] Die vorliegende Anmeldung beansprucht den Nutzen gemäß 35 U.S.C. §119(e) der provisorischen US-Anmeldung 61/662,484, vom 21 Juni 2012.

TECHNISCHES GEBIET

[0002] Die Offenbarung betrifft allgemein das Gebiet der Inspektionssysteme und insbesondere eine Laserquelle für Inspektionssysteme.

HINTERGRUND

[0003] Dünne polierte Platten, wie Silizium-Wafer und dergleichen, bilden einen sehr wichtigen Bestandteil moderner Technologie. Ein Wafer kann zum Beispiel eine dünne Scheibe Halbleitermaterial sein, welche bei der Herstellung integrierter Schaltkreise und anderer Baugruppen verwendet wird. Andere Beispiele dünner polierter Platten können Substrate magnetischer Scheiben, Endmaße und dergleichen sein. Obwohl die hier beschriebene Technik sich hauptsächlich auf Wafer bezieht, sei angemerkt, dass die Technik ebenso auf andere Arten polierter Platten anwendbar ist. In der vorliegenden Offenbarung können der Begriff Wafer und der Begriff dünne polierte Platte austauschbar verwendet werden.

[0004] Halbleitermaterialien können auf Defekte wie z.B. Oberflächenfehler, Partikel, Unregelmäßigkeiten der Dicke von Dünnfilmbeschichtungen und dergleichen inspiziert werden, welche die Leistung des Halbleitermaterials behindern. Einige bestehende Inspektionssysteme richten ein Strahlbündel auf die Oberfläche des Halbleitermaterials und sammeln und analysieren sodann Licht, welches von der Oberfläche reflektiert und / oder gestreut worden ist, um die Eigenschaften der Oberfläche zu quantifizieren.

[0005] Genauer benutzen bestehende Systeme im Allgemeinen einen Strahlscanner, welcher durch Fokussierung einer Laserquelle auf einen Kristall erzeugt wird. Der Kristall wird zu einem frischen Bereich verschoben, wenn der gegenwärtig beleuchtete Bereich bis auf ein unerwünschtes Niveau (z.B. Lebensdauerende) gealtert ist.

[0006] Die Patentanmeldung US 2002/0175149 A1 betrifft ein Verfahren, bei dem nacheinander verschiedene Bereiche der Oberfläche einer optischen Komponente genutzt werden, um die Gesamtlebensdauer der optischen Komponente zu erhöhen. Zur weiteren Steigerung der Lebensdauer wird ausgenutzt, dass der tatsächliche Strahlquerschnitt auf der Oberfläche der optischen Komponente kleiner ist als die Abmessungen eines Bereiches. Der Strahlquerschnitt wird innerhalb eines Bereiches zu verschiedenen Positionen verschoben, um den Bereich besser zu nutzen.

[0007] Gemäß Patentanmeldung US 2012/0113995 A1 wird die Strahlqualität eines Laserstrahls untersucht und daraus eine verbleibende Nutzungsdauer für eine bestimmte Stelle eines optischen Kristalls abgeleitet oder der Laser zu einer anderen Stelle des optischen Kristalls verschoben, wenn ein Versagen der bisher genutzten Stelle zu erwarten ist.

[0008] Während die Verschiebung von einer diskreten Kristallposition am Ende ihrer Lebensdauer für die definierten Grenzen der Lebensdauer eines Lasersubsystems angemessen ist, erfordert jedoch, aus Systemperspektive, das Verschieben von einem beleuchteten Bereich, der zu seinem Lebensende gealtert ist, zu einem frischen Bereich eine Rekalibrierung oder Neuausrichtung, was sehr zeitaufwändig ist.

[0009] Darin liegt die Notwendigkeit, eine Laserquelle für Inspektionssysteme bereitzustellen, welche die vorgenannten Einschränkungen nicht aufweist.

ÜBERSICHT

[0010] Die vorliegende Offenbarung ist auf ein Verfahren zum Ausgleich der Laserkristallalterung gerichtet. Das Verfahren beinhaltet: Festlegen einer Vielzahl von Positionen auf einem frequenzwandelnden Kristall; Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl der Positionen assoziierten Alterungsrate; Bestimmen einer Zeitdauer T, während der eine Position innerhalb einer tolerierten Schwankung wenigstens eines Strahlparameters durchgehend verwendbar ist, wobei die Zeitdauer T auf Grundlage der tolerierten Schwankung des wenigstens einen Strahlparameters und der Alterungsrate bestimmt wird; Bestimmen einer Zeitdauer t, wobei t ein Bruchteil von T ist; und iteratives Verschieben zwischen der Vielzahl der Positionen, wobei bei jeder Iteration jede der Vielzahl der Positionen für eine Zeitspanne t durchgehend genutzt wird.

[0011] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist ebenfalls auf ein Verfahren zum Ausgleich der Laserkristallalterung gerichtet. Das Verfahren beinhaltet: Festlegen einer Vielzahl von Positionen auf einem frequenzwandelnden Kristall; Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingung; Erstellen einer Rangfolge auf Grundlage der mit jeder der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingung; Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl der Positionen assoziierten Alterungsrate; Bestimmen einer Zeitdauer T während der

eine Position innerhalb einer tolerierten Schwankung wenigstens eines Strahlparameters durchgehend verwendbar ist, wobei die Zeitdauer T auf Grundlage der tolerierten Schwankung des wenigstens einen Strahlparameters und der Alterungsrate bestimmt wird; Bestimmen einer Zeitdauer t, wobei t ein Bruchteil von T ist; und iteratives Verschieben zwischen der Vielzahl der Positionen gemäß der erstellten Rangfolge, wobei bei jeder Iteration jede der Vielzahl der Positionen für eine Zeitspanne t durchgehend genutzt wird.

[0012] Eine zusätzliche Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist auf eine Beleuchtungsvorrichtung gerichtet. Die Beleuchtungsvorrichtung umfasst eine Laserquelle und einen Kristall. Der Kristall ist dazu ausgebildet, einen Laser von der Laserquelle zu empfangen und einen frequenzgewandelten Strahl als Ausgabe bereitzustellen. Der Kristall beinhaltet eine Vielzahl darauf festgelegter Positionen, wovon jede einzelne Position assoziiert ist mit: einer Alterungsrate und einer Zeitdauer T, innerhalb welcher diese einzelne Position innerhalb einer tolerierten Schwankung wenigstens eines Strahlparameters durchgehend verwendbar ist, und wobei der Kristall iterativ zwischen der Vielzahl von Positionen verschoben wird, so dass bei jeder Iteration jede der Vielzahl der Positionen für eine Zeitspanne t durchgehend genutzt wird, wobei t ein Bruchteil von T ist.

[0013] Zusammen dienen die Beschreibungen und die Zeichnungen dazu, die Prinzipien der Offenbarung zu erklären.

Figurenliste

[0014] Die zahlreichen Vorteile der Offenbarung können von Fachleuten durch Verweis auf die beigefügten Zeichnungen besser verstanden werden, in denen:

Fig. 1 ein Blockdiagramm ist, welches ein Beleuchtungssystem darstellt;

Fig. 2 eine Folge von Querschnittsansichten ist, welche die Verschiebung eines Frequenzwandlerkristalls im Laufe der Zeit darstellen;

Fig. 3 eine Darstellung ist, welche die Verschlechterung eines Strahlparameters zeigt;

Fig. 4 eine Darstellung ist, welche die Verschlechterung eines Strahlparameters zeigt, wenn ein Kristall iterativ gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung verschoben wird;

Fig. 5 eine Darstellung ist, welche die Verschlechterung eines Strahlparameters zeigt, wenn ein Kristall, welcher Kristallpositionen mit ungleichmäßigen Anfangsbedingungen aufweist, iterativ verschoben wird;

Fig. 6 eine Darstellung ist, welche die Verschlechterung eines Strahlparameters zeigt, wenn der Kristall der **Fig. 5** iterativ gemäß einer erstellten Reihenfolge verschoben wird;

Fig. 7 eine Darstellung ist, welche die iterative Verschiebung eines Kristalls zeigt, der eine nicht-lineare Alterung aufweist;

Fig. 8 eine Darstellung ist, welche eine alternative iterative Verschiebung des Kristalls zeigt, der eine nicht-lineare Alterung aufweist; und

Fig. 9 ein Flussdiagramm ist, welches ein Verfahren zum Ausgleich der Laserkristallalterung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zeigt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0015] Nun wird im Detail auf den offenbarten Gegenstand Bezug genommen, welcher in den beigefügten Zeichnungen dargestellt ist.

[0016] In **Fig. 1** wird ein Blockdiagramm, welches ein beispielhaftes Beleuchtungssystem darstellt, gezeigt. Das Beleuchtungssystem 100 beinhaltet eine Laserquelle 102, welche dazu ausgebildet ist, einen Laser zu einem Frequenzwandlerkristall 104 zu senden. Der Kristall 104 wiederum erzeugt einen Strahl einer bestimmten Wellenlänge (z.B. ultraviolettes oder tief ultraviolettes Ausgangssignal) um die Beleuchtung für ein optisches / Inspektions-System 106 bereitzustellen. Es ist in Betracht gezogen, dass der Kristall 104 dazu ausgebildet ist, Positionen zu verschieben, um seine Lebensdauer auszudehnen.

[0017] **Fig. 2** ist eine Folge von Querschnittsansichten, welche die Verschiebung der Kristallpositionen (die auch als Bereiche oder Stellen bezeichnet werden können) zum Empfang des Laserstrahls im Laufe der Zeit zeigt. Ein Verschiebemechanismus kann verwendet werden, um die Relativpositionen der Laserquelle 102 und des Kristalls 104 zu verschieben. Diese Verschiebeoperation kann sich bis Tend erstrecken, zu welcher Zeit die Verschiebung sich von der in T_1 gezeigten Position wiederholen kann, oder zu welcher Zeit der Kristall 104 die volle Lebensdauer erreicht hat und ersetzt werden muss.

[0018] Es sei angemerkt, dass jede gegebene Kristallposition im Laufe der Zeit altert, wenn sie verwendet wird. Genauer verschlechtern sich im Laufe der Zeit die mit dem von einer gegebenen Kristallposition erzeugten Ausgangsstrahl assoziierten Parameter (z.B. Position der Taille, Taillendurchmesser, Astigmatismus, Strahlform, Leistung, Rauschen, Beugungsmaßzahl, oder dergleichen). **Fig. 3** zeigt eine vereinfachte Darstellung, welche die Alterung einer Kristallposition darstellt, wenn sie durchgehend benutzt wird. Zum Zwecke der Erläuterung sei ange-

nommen, dass die zur Zeit T1 beobachteten Strahlparameter sich zu einem Niveau verschlechtern, welches zu weit von dem anfänglichen, zu T0 beobachteten, Niveau entfernt ist, dass das optische System möglicherweise optimiert werden muss, um die Verschlechterung auszugleichen. Ferner kann sich diese Verschlechterung bis zu dem Punkt fortsetzen, an dem das Ende der Lebensdauer dieser spezifischen Kristallposition erreicht ist, und der Kristall zu einer neuen Position verschoben werden muss. Da sich die Strahlparameter einer Position am Ende der Lebensdauer erheblich von denen einer neuen Position unterscheiden, ist gemeinhin eine größere Rekalibrierung oder Neuausrichtung des Systems erforderlich. Es sei darauf hingewiesen, dass System-Optimierungs- und -rekalibrierungsprozesse zeitaufwändig sind und wenn möglich vermieden werden müssen.

[0019] Die vorliegende Offenbarung ist auf Systeme und Verfahren gerichtet, um die widrigen Auswirkungen der Laserstrahlparameterdrift auf das optische System abzumildern. Gemäß der vorliegenden Offenbarung wird der Kristall in angemessenen Abständen und auf besondere Weisen rekursiv / iterativ verschoben, um die Anzahl der erforderlichen System-Optimierungs- und / oder Rekalibrierungsprozesse zu reduzieren.

[0020] Genauer wird in einer Ausführungsform jede gegebene Kristallposition im Kristall 104 vorab charakterisiert, um ihre anfängliche Betriebsbedingung zu bestimmen und ob die an jeder einzelnen Kristallposition erzeugten Strahlparameter einem spezifischen Beleuchtungserfordernis genügen. Zusätzlich können repräsentative Alterungsraten für die Kristallpositionen vorab bestimmt werden, basierend auf der Analyse ähnlicher oder im Wesentlichen identischer Kristalle. Beispielsweise kann die Alterung einer einzelnen Kristallposition im Laufe der Zeit beobachtet werden, welche als die repräsentative Alterungsrate für die gleiche Art Kristall in folgenden Verwendungen benutzt werden kann. Alternativ kann eine Menge von Kristallpositionen, die an einem oder mehreren unterschiedlichen Kristallen ausgewählt wurden, im Laufe der Zeit beobachtet und ein Gesamtdurchschnitt erhalten werden. Es wird in Betracht gezogen, dass verschiedene andere statistische und / oder Analysetechniken verwendet werden können, um solche repräsentativen Alterungsraten für Kristallpositionen zu erhalten, ohne von Geist und Umfang der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

[0021] In **Fig. 4** wird eine vereinfachte Darstellung, welche Alterungen von rekursiv verschobenen Kristallpositionen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zeigt, gezeigt. In dem in **Fig. 4** gezeigten Beispiel hat der verwendete Kristall 20 diskrete Positionen / Stellen, welche die gleichen anfänglichen Strahlparameter und die gleiche Alterungsrate aufweisen. Wie in **Fig. 4** gezeigt, wird jede der 20 Positionen nur für ein kurzes Intervall t verwendet, und wird zur nächsten verschoben. Ein vollständiger Durchgang (d.h. eine Iteration) ist durchgeführt, wenn jede der 20 Positionen einmal und nur einmal angesteuert wird, und dieser Verschiebevorgang wiederholt sich rekursiv, wie in der Figur gezeigt.

[0022] Genauer sind, wie in **Fig. 3** gezeigt, falls jede Kristallposition durchgehend bis zum Ende ihrer Lebensdauer verwendet und anschließend zu der nächsten Position verschoben wird, fünf Optimierungen (z.B. zu T1 bis T5) pro Position erforderlich. Im Vergleich dazu wird, wenn die Kristallpositionen rekursiv verschoben werden, wie in **Fig. 4** gezeigt, jede Position lediglich für ein kurzes Intervall t während einer gegebenen Iteration verwendet, und eine Systemoptimierung ist in dem in **Fig. 4** gezeigten Beispiel erst nach vier Iterationen (d.h. wenn alle 20 Positionen auf ein niedrigeres Niveau gealtert sind) erforderlich. Rekursives Verschieben des Kristalls nach einem kurzen Intervall t gemäß der vorliegenden Offenbarung verringert in diesem Beispiel tatsächlich die Anzahl der erforderlichen Systemoptimierungen um einen Faktor 20. Zusätzlich ist eine größere Rekalibrierung oder Neuausrichtung, wie sie für einen durchgängigen Einzelpositionsansatz erforderlich war, nicht erforderlich. Das heißt, während eine größere Systemrekalibrierung oder Neuausrichtung bei Verschiebung von einer Position am Ende der Lebensdauer zu einer frischen Position gemeinhin erforderlich ist, wird jedoch gemäß dieser Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung der Kristall nach lediglich einem kurzen Intervall t von einer Position zu einer anderen verschoben, und der Kristall wird niemals von einer Position am Ende der Lebensdauer zu einer frischen Position verschoben. Daher werden die Unterschiede in den Strahlparametern, die sich aus solch einer Verschiebung ergeben, signifikant reduziert, und keine größere Systemrekalibrierung oder Neuausrichtung ist erforderlich. Es wird in Betracht gezogen, dass, wenn der letzte Durchgang beendet ist, was für das in **Fig. 4** gezeigte Beispiel 20 Durchgänge sein würden, alle Positionen in gleichem Maße außerhalb der Spezifikation im Hinblick auf das Systemerfordernis wären, und der gesamte Kristall ersetzt werden kann.

[0023] Es wird in Betracht gezogen, dass das im obigen Beispiel erwähnte Intervall t ein Bruchteil des Zeitintervalls T (z.B. t=T/n) ist. Wie oben beschrieben gibt das Zeitintervall T an, wann die Strahlparameter sich auf ein Niveau jenseits des tolerierbaren Ausmaßes der Strahlparameterdrift verschlechtert haben, in welchem Fall das System optimiert werden muss, um die Verschlechterung auszugleichen. Es sei angemerkt, dass das Ausmaß von Parameterdriften, die von einem bestimmten optischen / Inspektions-Sys-

tem toleriert werden, basierend auf spezifischen Erfordernissen variieren kann, und demgemäß das Zeitintervall T variieren kann. Es wird ebenso in Betracht gezogen, dass, obgleich im obigen Beispiel t=T/4, T nicht durch t teilbar sein muss. Das Intervall t kann von jeglicher Dauer sein, so lange sie geringer ist als das Zeitintervall T, ohne dass dadurch von Geist und Umfang der vorliegenden Offenbarung abgewichen wird.

[0024] Es wird ebenso in Betracht gezogen, dass die Kristallpositionen nicht vorab charakterisiert werden müssen, um die oben beschriebenen Techniken zu implementieren. Das heißt, jede Position kann unmittelbar charakterisiert werden, wenn diese spezielle Position das erste Mal verwendet wird. Ein solcher unmittelbarer Charakterisierungsprozess kann die erforderliche Vorbereitungszeit verringern, wenn ein neuer Kristall benutzt wird.

[0025] Es wird ferner in Betracht gezogen, dass die Anfangsbedingungen unterschiedlicher Positionen / Stellen innerhalb des gleichen Kristalls geringfügig variieren können. Zum Beispiel können sich die anfänglichen Strahlparameter, die an einigen Kristallpositionen beobachtet werden, von den an einigen anderen Positionen beobachteten unterscheiden, selbst innerhalb des gleichen Kristalls. Wird solch ein Kristall im Beleuchtungssystem verwendet, so kann das fortlaufende Verschieben von Kristallpositionen, die sich an einem Ende des Kristalls befinden zum anderen unerwünschte Ergebnisse hervorbringen. **Fig. 5** zeigt eine vereinfachte Darstellung, welche die Unterschiede in Strahlparametern zeigt, falls die Anfangsbedingungen der verschiedenen Positionen innerhalb des gleichen Kristalls verschieden sind und der Kristall fortlaufend von einem Ende zu einem anderen verschoben wird. In manchen Fällen können große Unstetigkeiten in den Strahlparametern auftreten, welche die Toleranz des Systems für einen Wechsel ohne erforderliche Optimierung überschreiten.

[0026] Um die widrigen Auswirkungen solcher mit unterschiedlichen Positionen assoziierten Unterschiede abzumildern, wird der Kristall gemäß bestimmter Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung auf geordnete Weise gemäß einer vorab bestimmten Rangfolge der Kristallpositionen verschoben. Genauer werden die Kristallpositionen innerhalb des gleichen Kristalls gemäß einem oder mehrerer Strahlparameter in eine Rangfolge gebracht. Ist eine Rangfolge erstellt, so wird der Kristall gemäß der Rangfolge (im Gegensatz zu einfach von einem Ende zum anderen) verschoben, um abrupte Änderungen zu reduzieren / abzumildern.

[0027] Fig. 6 ist eine Darstellung, die denselben Kristall wie in **Fig. 5** zeigt, aber gemäß der erstellten Rangfolge verschoben. In diesem Beispiel werden die unterschiedlichen Kristallpositionen in absteigender Reihenfolge basierend auf den beobachteten Strahlparametern in eine Rangfolge gebracht. Genauer seien die Kristallpositionen von links nach rechts als Position #1 bis Position #20 bezeichnet, und die mit der Position #11 assoziierten beobachteten Strahlparameter mögen den höchsten Wert haben, gefolgt von Position #5, Position #4, und so fort (wie in **Fig. 5** gezeigt). Auf Grundlage dieser Rangfolge kann die Position #11 (die Position mit dem höchsten Rang) als erste für eine Zeitspanne t verwendet werden, dann auf Position #5 (die Position mit dem zweithöchsten Rang) verschoben werden, gefolgt von Position #4 und so fort, um den ersten Durchgang zu vervollständigen. Nachfolgende Durchgänge werden in der gleichen Rangfolge durchgeführt und haben daher ähnliche Kurvenversätze nach unten um ein Verschlechterungsinkrement. Auf diese Weise wird der Kristall verschoben, um weniger abrupte Änderungen zu erzielen.

[0028] Es wird in Betracht gezogen, dass die erstellte Rangfolge nicht auf eine absteigende Reihenfolge wie in dem obigen Beispiel gezeigt beschränkt ist. Beispielsweise können manche Strahlparameter zunehmen, wenn sie sich verschlechtern, und in solchen Fällen können die unterschiedlichen Positionen in aufsteigender Reihenfolge in eine Rangfolge gebracht werden, ohne von Geist und Umfang der vorliegenden Offenbarung abzuweichen. Es wird ebenso in Betracht gezogen, dass die Rangfolge auf variable Intervalle ausgedehnt wird, auf Grundlage der erwarteten Alterungsraten oder der anfänglichen Strahlparameterwerte.

[0029] Ferner können in einer alternativen Ausführungsform Positionen, die ähnliche Strahlparameter hervorbringen, in Bereiche / Gruppen eingeordnet werden. Zum Beispiel können die 20 in den Figuren gezeigten Kristallpositionen in zwei Gruppen zu je 10 oder in 5 Gruppen zu je 4 eingeordnet werden. Eine bestimmte Gruppe kann rekursiv angesteuert werden, bis diese bestimmte Gruppe das Lebensdauerende erreicht, woraufhin dann die nächste Gruppe angesteuert wird und der Prozess weitergeht. Es wird jedoch in Betracht gezogen, dass die Gruppen nicht von identischer Größe sein müssen.

[0030] In einer weiteren alternativen Ausführungsform werden nur die Kristallpositionen in der höchstrangigen Gruppe rekursiv angesteuert, bis ihre Strahlparameter sich im Wesentlichen auf das gleiche Niveau wie die nächsthöchste Gruppe verschlechtert haben. Die Kristallpositionen in diesen beiden Gruppen können dann als eine zusammengefasste Gruppe gemeinsam wirken, bis ihre Strahlparameter sich im Wesentlichen auf das gleiche Niveau wie die nächste Gruppe verschlechtert haben, an welchem Punkt sie dann wiederum zusammengefasst werden können, um eine noch

größere Gruppe zu bilden. Dieser Prozess kann sich fortsetzen, bis alle Positionen zu einer einzigen Gruppe zusammengefasst sind, in welchem Fall alle Kristallpositionen nun im Wesentlichen ähnliche Strahlparameter aufweisen und die gleiche Technik wie in **Fig. 4** beschrieben angewendet werden kann.

[0031] Es wird ebenso in Betracht gezogen, dass das Verfahren gemäß der vorliegenden Offenbarung selbst dann anwendbar ist, wenn die Kristallpositionen in einer nicht-linearen Weise altern. Zum Beispiel kann, wie in **Fig. 7** gezeigt, die Alterungskurve in mehrere Bereiche relativ gleichbleibender linearer Alterung unterteilt werden. In diesem Beispiel kann das Intervall zwischen Positionsverschiebungen (d.h. t) gleich gehalten werden, obwohl die Alterungsrate sich nach dem achten Durchgang auf die Hälfte der vorherigen Rate verlangsamt. Im Ergebnis kann sich die Anzahl der Durchgänge, die durchgeführt werden können, ohne dass das System optimiert werden muss, nach dem achten Durchgang verdoppeln. Alternativ kann auch das Intervall zwischen Positionsverschiebungen (d.h. t) relativ zur Veränderung in der Steigung wie in **Fig. 8** gezeigt angepasst werden, wo ein Durchgang des Kristalls beispielweise zweimal so lang dauern kann. In beiden Fällen würde die verringerte Alterungsrate weniger Optimierungsaufwand erfordern und daher die Systemnutzung erhöhen.

[0032] Wie in den obigen Beispielen gezeigt, sorgen die Verfahren gemäß der vorliegenden Offenbarung für eine gleichmäßigere Leistung des Systems trotz der Alterungsrate des Lasers. Die Systemnutzung wird maximiert, indem die Anzahl der erforderlichen Systemoptimierungen wesentlich reduziert wird und größere Neuausrichtungserfordernisse, welche durch Verschiebungen von Stellen am Ende der Lebensdauer verursacht sind, beseitigt werden.

[0033] Es wird in Betracht gezogen, dass die in der vorliegenden Offenbarung genannten Strahlparameter die Taillenposition, den Taillendurchmesser, den Astigmatismus, die Strahlform, die Leistung, das Rauschen, die Beugungsmaßzahl und dergleichen beinhalten, ohne darauf beschränkt zu sein. Es wird ebenso in Betracht gezogen, dass jeder oder eine Kombination von mehr als einem dieser Parameter verwendet werden kann, um eine Kristallposition / Stelle zu beurteilen oder in eine Rangordnung einzufügen, wie vorstehend beschrieben. Es wird in Betracht gezogen, dass die Auswahl spezifischer Parameter und das jedem Parameter zugewiesene Gewicht (z.B. wenn ein gewichtetes Mittel benutzt wird) auf Grundlage von Systemanforderungen festgelegt werden können und variieren können, ohne von Geist und Umfang der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

[0034] Es wird ferner in Betracht gezogen, dass die Kristallpositionen nicht vollständig voneinander beabstandet sein müssen. Das heißt, es können Überlappungen zwischen den Positionen erlaubt sein, ohne von Geist und Umfang der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

[0035] Fig. 9 ist ein Flussdiagramm, welches ein Verfahren 900 zum Ausgleich der Laserkristallalterung gemäß der vorliegenden Offenbarung zeigt. In einer Ausführungsform kann eine Vielzahl von Positionen / Stellen auf einem Frequenzwandlerkristall im Schritt 902 festgelegt werden. Der Schritt 904 kann eine mit jeder Position assoziierte Alterungsrate bestimmen. Es wird in Betracht gezogen, dass die Alterungsrate auf Grundlage der Beobachtung eines oder mehrerer im Wesentlichen identischer Kristalle vorab bestimmt sein kann. Auf Grundlage der Alterungsrate kann der Schritt 906 eine Zeitdauer (als T bezeichnet) bestimmen, innerhalb welcher eine Position durchgehend innerhalb einer tolerierten Schwankung wenigstens eines Strahlparameters verwendbar ist. Das heißt, während Strahlparameter wie Taillengröße, Ausrichtungsschwankungen und dergleichen innerhalb einer bestimmten Schwelle toleriert werden können, werden sich, wenn die gleiche Stelle durchgehend verwendet wird, die mit ihr assoziierten Strahlparameter auf ein Niveau außerhalb des tolerierten Bereichs verschlechtern, was das System zur Durchführung einer Optimierung veranlassen kann, um diese Verschlechterung auszugleichen. Daher stellt der Wert von T die Zeitdauer dar, die eine Position durchgehend verwendet werden kann, ohne eine erforderliche Optimierung auszulösen.

[0036] Der Schritt 908 kann dann die Zeitdauer t bestimmen, wie vorstehend beschrieben, und Schritt 910 kann, auf Grundlage des bestimmten Werts von t, iterativ zwischen der Vielzahl der Positionen verschieben. Das heißt, bei jeder Iteration sollte jede Position lediglich für die Zeitdauer t durchgehend verwendet werden.

[0037] Es wird in Betracht gezogen, dass ebenfalls eine Rangfolge wie oben beschrieben erstellt werden kann. In einer Ausführungsform wird eine Rangfolge für jede Position erstellt, und der Kristall wird basierend auf der erstellten Rangfolge von einer Position zu einer anderen verschoben. In einer alternativen Ausführungsform werden die verschiedenen Positionen in mehrere Gruppen eingeordnet. Lediglich die Kristallpositionen in der höchstrangigen Gruppe können rekursiv angesteuert werden, bis ihre Strahlparameter sich im Wesentlichen auf das gleiche Niveau wie die nächsthöchste Gruppe verschlechtert haben, in welchem Fall sie zusammengefasst werden können, um eine größere Gruppe zu bilden. Dieser Prozess kann fortgesetzt werden, bis die Bedingung erreicht ist, wo alle Positionen zu einer einzigen

Gruppe zusammengefasst sind, in welchem Fall alle Kristallpositionen nun im Wesentlichen ähnliche Strahlparameter haben, und die gleiche Technik wie oben beschrieben angewendet werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ausgleich der Laserkristallalterung, umfassend:
Festlegen einer Vielzahl von Positionen auf einem frequenzwandelnden Kristall;
Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl der Positionen assoziierten Alterungsrate;
Bestimmen einer Zeitdauer T, während der eine Position innerhalb einer tolerierten Schwankung wenigstens eines Strahlparameters durchgehend verwendbar ist, wobei die Zeitdauer T auf Grundlage der tolerierten Schwankung des wenigstens einen Strahlparameters und der Alterungsrate bestimmt wird;
Bestimmen einer Zeitdauer t, wobei t ein Bruchteil von T ist; und
iteratives Verschieben zwischen der Vielzahl der Positionen, wobei bei jeder Iteration jede der Vielzahl der Positionen für eine Zeitspanne t durchgehend genutzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei T die Zeitdauer darstellt, während der eine Position durchgehend verwendbar ist, ohne eine erforderliche Optimierung zum Ausgleich der Alterung zu veranlassen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für jede der Vielzahl der Positionen die gleiche Alterungsrate verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Alterungsrate auf Grundlage der Beobachtung zumindest eines im Wesentlichen identischen Kristalls vorausbestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend:
Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingung; und
Erstellen einer Rangfolge für das iterative Verschieben der Vielzahl der Positionen.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Rangfolge auf Grundlage der mit jeder der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingung in entweder einer absteigenden oder einer aufsteigenden Reihenfolge erstellt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend:
Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingung;
Aufstellen einer Vielzahl von Gruppen auf Grundlage der mit der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingungen;
Erstellen einer Rangfolge für die Vielzahl von Gruppen;
iteratives Verschieben zwischen den Positionen, welche zu einer höchstrangigen Gruppe gehören, bis die Betriebsbedingungen, die mit den Positionen, welche zu der höchstrangigen Gruppe gehören, assoziiert sind, im Wesentlichen identisch mit den Betriebsbedingungen sind, welche mit den Positionen, welche zu einer Gruppe mit dem nächsthöchsten Rang gehören, assoziiert sind;
Zusammenfassen der Positionen, die zu der höchstrangigen Gruppe gehören, mit den Positionen, die zu der Gruppe mit dem nächsthöchsten Rang gehören; und
iteratives Verschieben zwischen den Positionen, die zu der zusammengefassten Gruppe gehören.

8. Verfahren nach Anspruch 7, ferner umfassend:
rekursives Zusammenfassen mit dem Rest der Vielzahl von Gruppen, bis alle Gruppen zu einer einzigen Gruppe zusammengefasst sind.

9. Verfahren zum Ausgleich der Laserkristallalterung umfassend:
Festlegen einer Vielzahl von Positionen auf einem frequenzwandelnden Kristall;
Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingung;
Erstellen einer Rangfolge auf Grundlage der mit jeder der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingung;
Bestimmen einer mit jeder der Vielzahl der Positionen assoziierten Alterungsrate;
Bestimmen einer Zeitdauer T, während der eine Position innerhalb einer tolerierten Schwankung wenigstens eines Strahlparameters durchgehend verwendbar ist, wobei die Zeitdauer T auf Grundlage der tolerierten Schwankung des wenigstens einen Strahlparameters und der Alterungsrate bestimmt wird;
Bestimmen einer Zeitdauer t, wobei t ein Bruchteil von T ist; und
iteratives Verschieben zwischen der Vielzahl der Positionen gemäß der erstellten Rangfolge, wobei bei jeder Iteration jede der Vielzahl der Positionen für eine Zeitspanne t durchgehend genutzt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei T die Zeitdauer darstellt, während der eine Position durchgehend verwendbar ist, ohne eine erforderliche Optimierung zum Ausgleich der Alterung zu veranlassen.

11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei für jede der Vielzahl der Positionen die gleiche Alterungsrate verwendet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Alterungsrate auf Grundlage der Beobachtung zumindest eines im Wesentlichen identischen Kristalls vorausbestimmt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Rangfolge auf Grundlage der mit jeder der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingung in entweder einer absteigenden oder einer aufsteigenden Reihenfolge erstellt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 9, ferner umfassend:
Aufstellen einer Vielzahl von Gruppen auf Grundlage der mit der Vielzahl von Positionen assoziierten anfänglichen Betriebsbedingungen;
Erstellen einer Rangfolge für die Vielzahl von Gruppen;
iteratives Verschieben zwischen den Positionen, welche zu einer höchstrangigen Gruppe gehören, bis die Betriebsbedingungen, die mit den Positionen, welche zu der höchstrangigen Gruppe gehören, assoziiert sind, im Wesentlichen identisch mit den Betriebsbedingungen sind, welche mit den Positionen, welche zu einer Gruppe mit dem nächsthöchsten Rang gehören, assoziiert sind;
Zusammenfassen der Positionen, die zu der höchstrangigen Gruppe gehören, mit den Positionen, die zu der Gruppe mit dem nächsthöchsten Rang gehören; und
iteratives Verschieben zwischen den Positionen, die zu der zusammengefassten Gruppe gehören.

15. Verfahren nach Anspruch 14, ferner umfassend:
rekursives Zusammenfassen mit dem Rest der Vielzahl von Gruppen, bis alle Gruppen zu einer einzigen Gruppe zusammengefasst sind.

16. Eine Beleuchtungsvorrichtung, umfassend:
eine Laserquelle; und
einen Kristall, welcher dazu ausgebildet ist, einen Laser von der Laserquelle zu empfangen und einen frequenzgewandelten Strahl als Ausgabe bereitzustellen,
wobei die Beleuchtungsvorrichtung dazu ausgebildet ist, ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 auszuführen.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

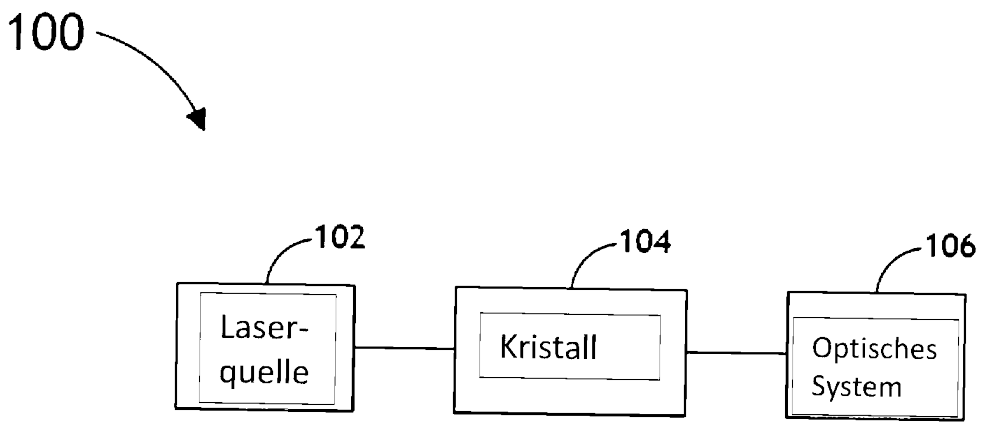


FIG. 1

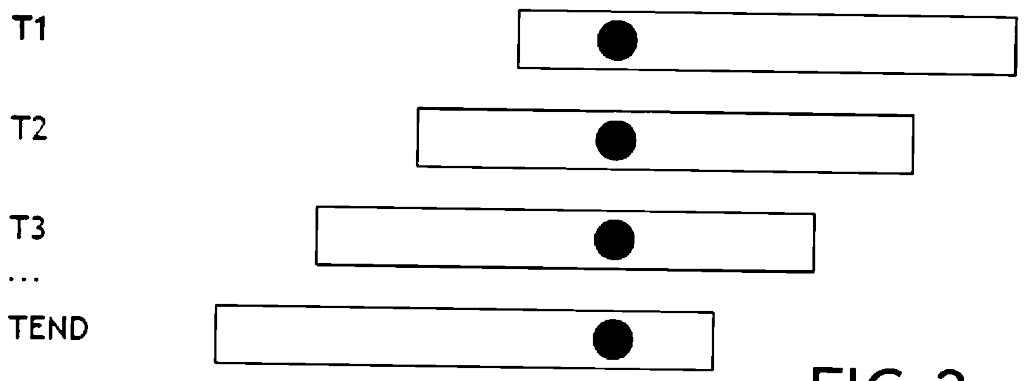


FIG. 2

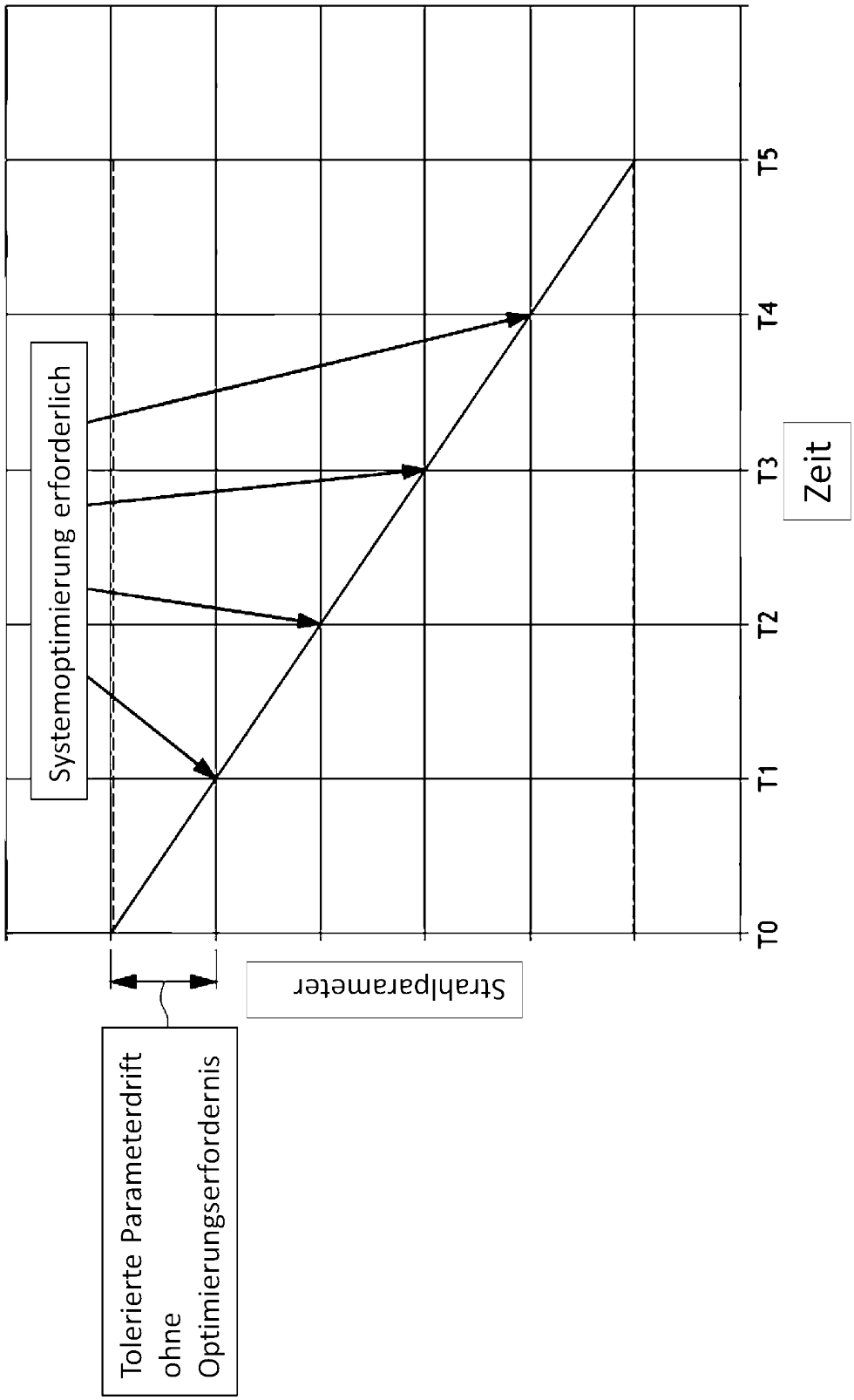

Systemoptimierung erforderlich
Tolerierte Parameterdrift ohne Optimierungserfordernis
Strahlparameter
T0
T1
T2
T3
T4
T5
Zeit

FIG. 3

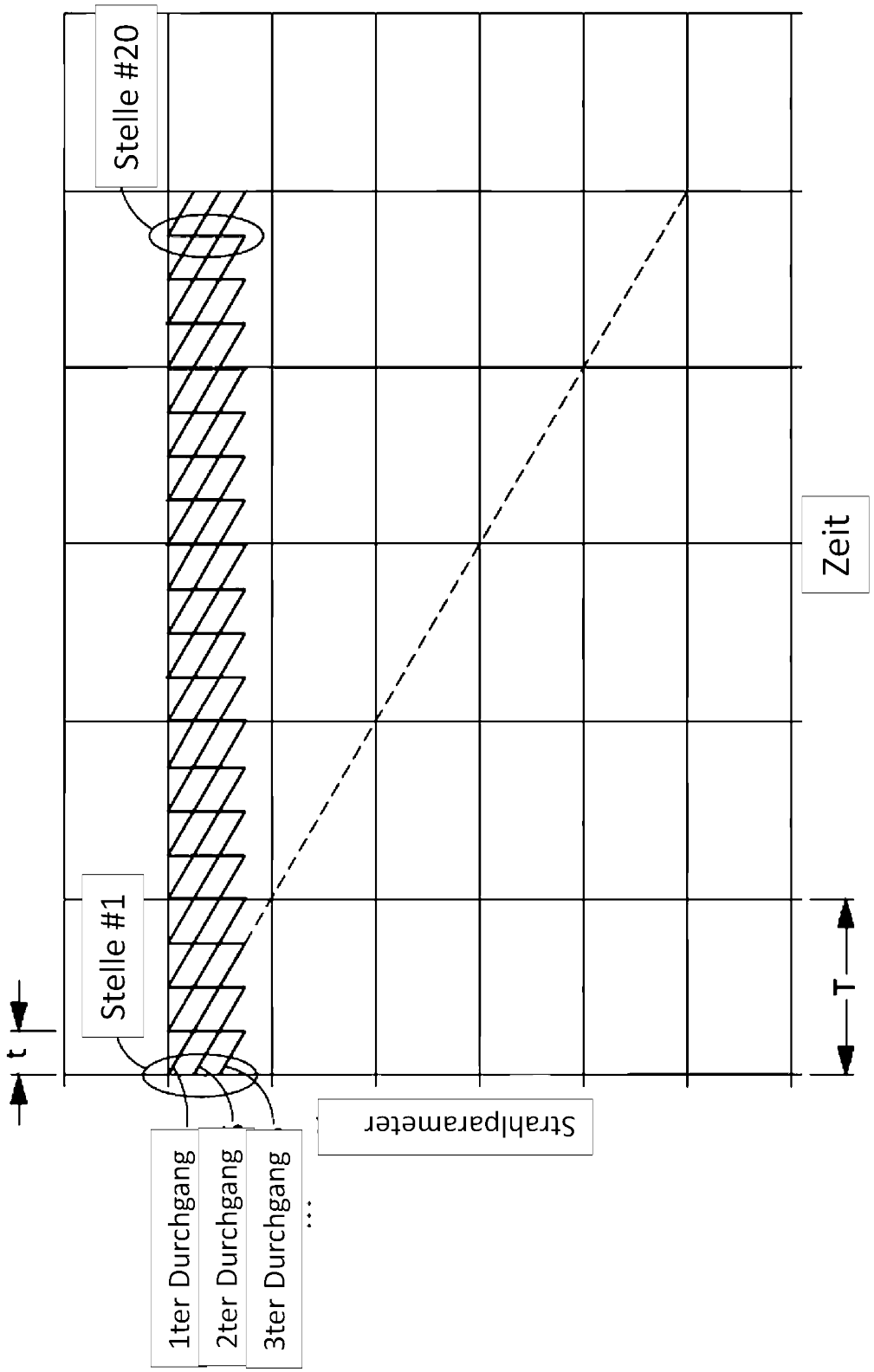

Stelle #20
Stelle #1
t
1ter Durchgang
2ter Durchgang
3ter Durchgang
...
Strahlparameter
Zeit
T

FIG. 4

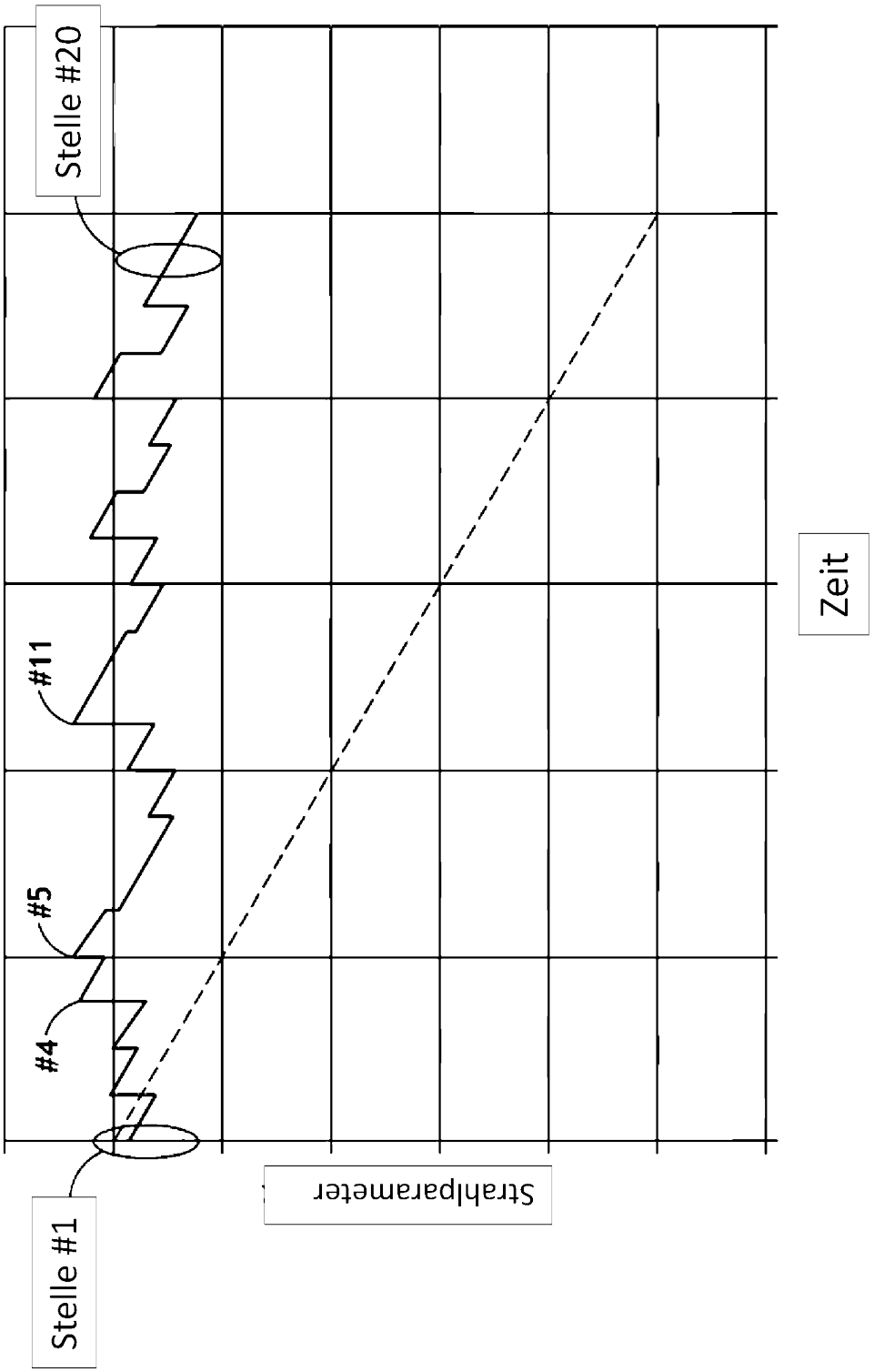


FIG. 5

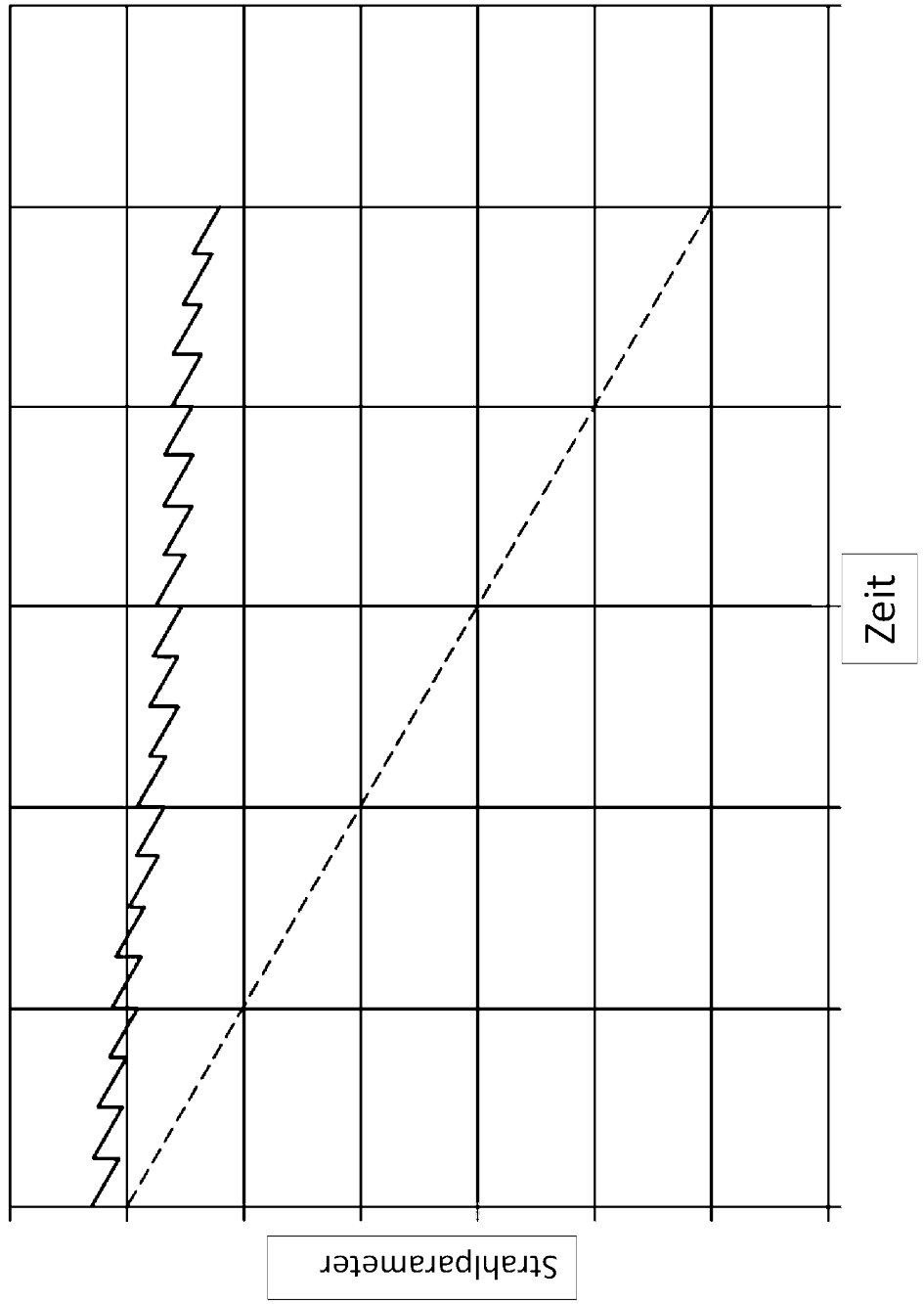


FIG.6

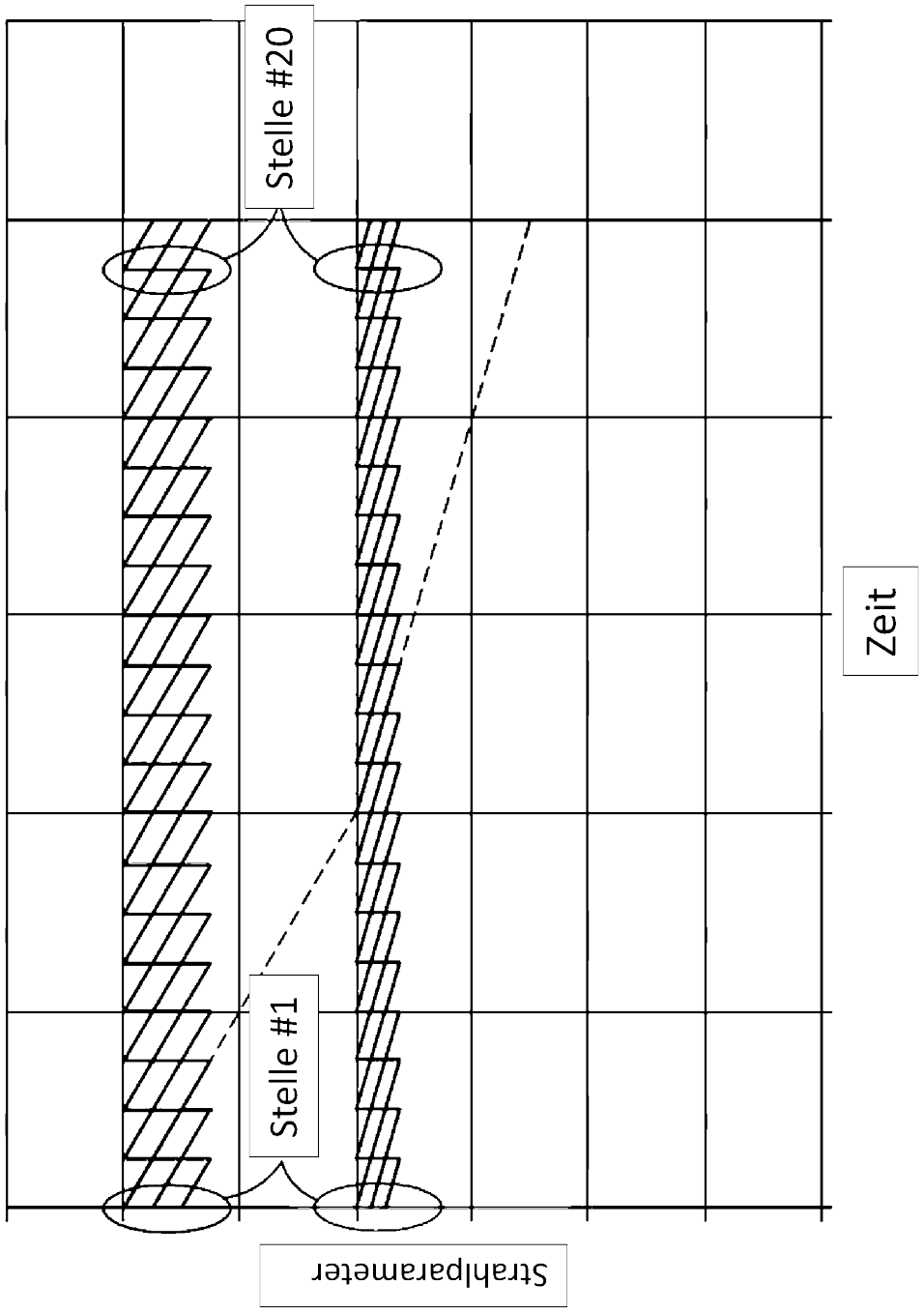


FIG. 7

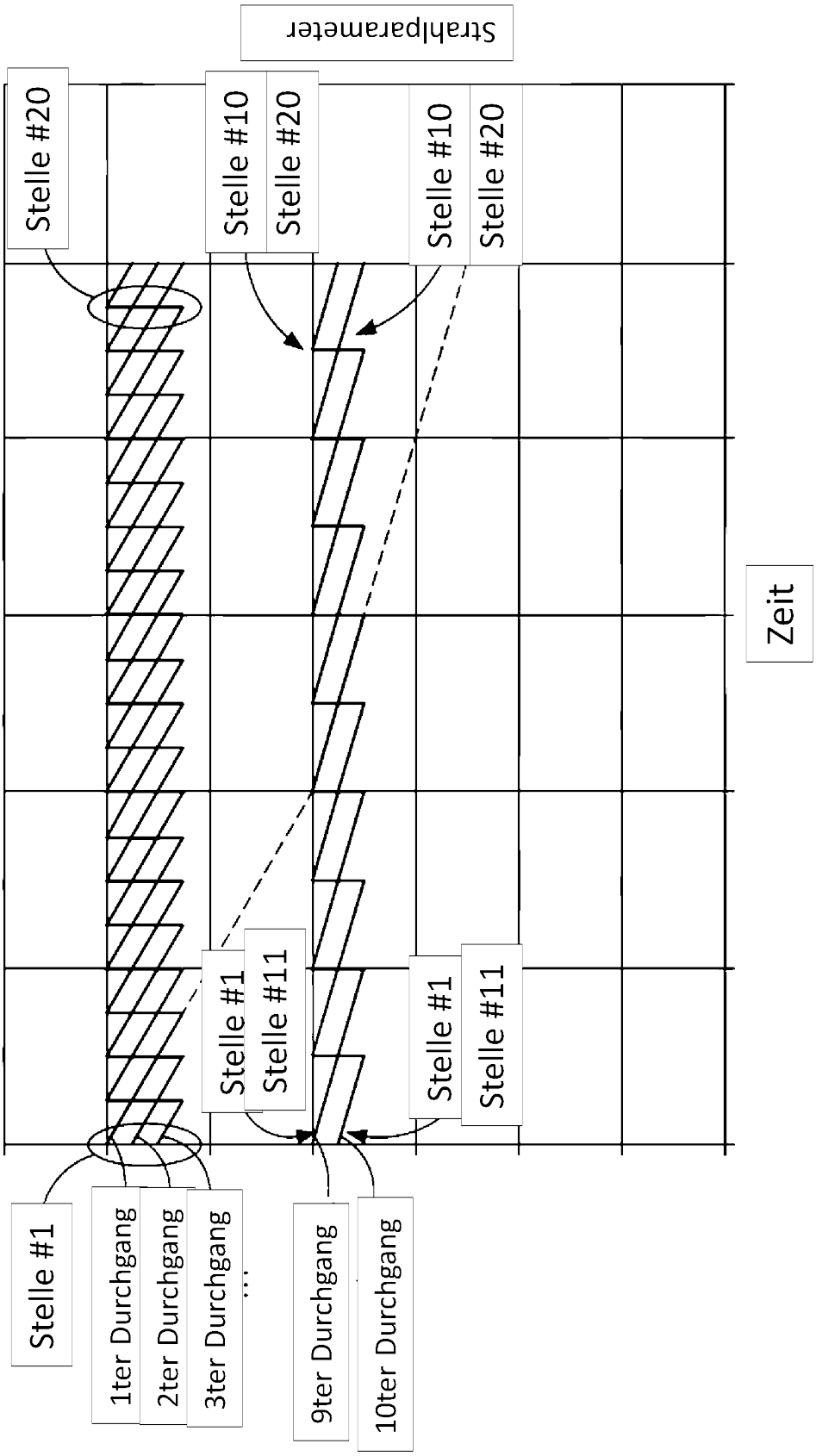

Stelle #20
Stelle #10
Stelle #20
Stelle #10
Stelle #20
Strahlparameter
Zeit
Stelle #1
Stelle #11
Stelle #1
Stelle #11
Stelle #1
1ter Durchgang
2ter Durchgang
3ter Durchgang
...
9ter Durchgang
10ter Durchgang

FIG.8

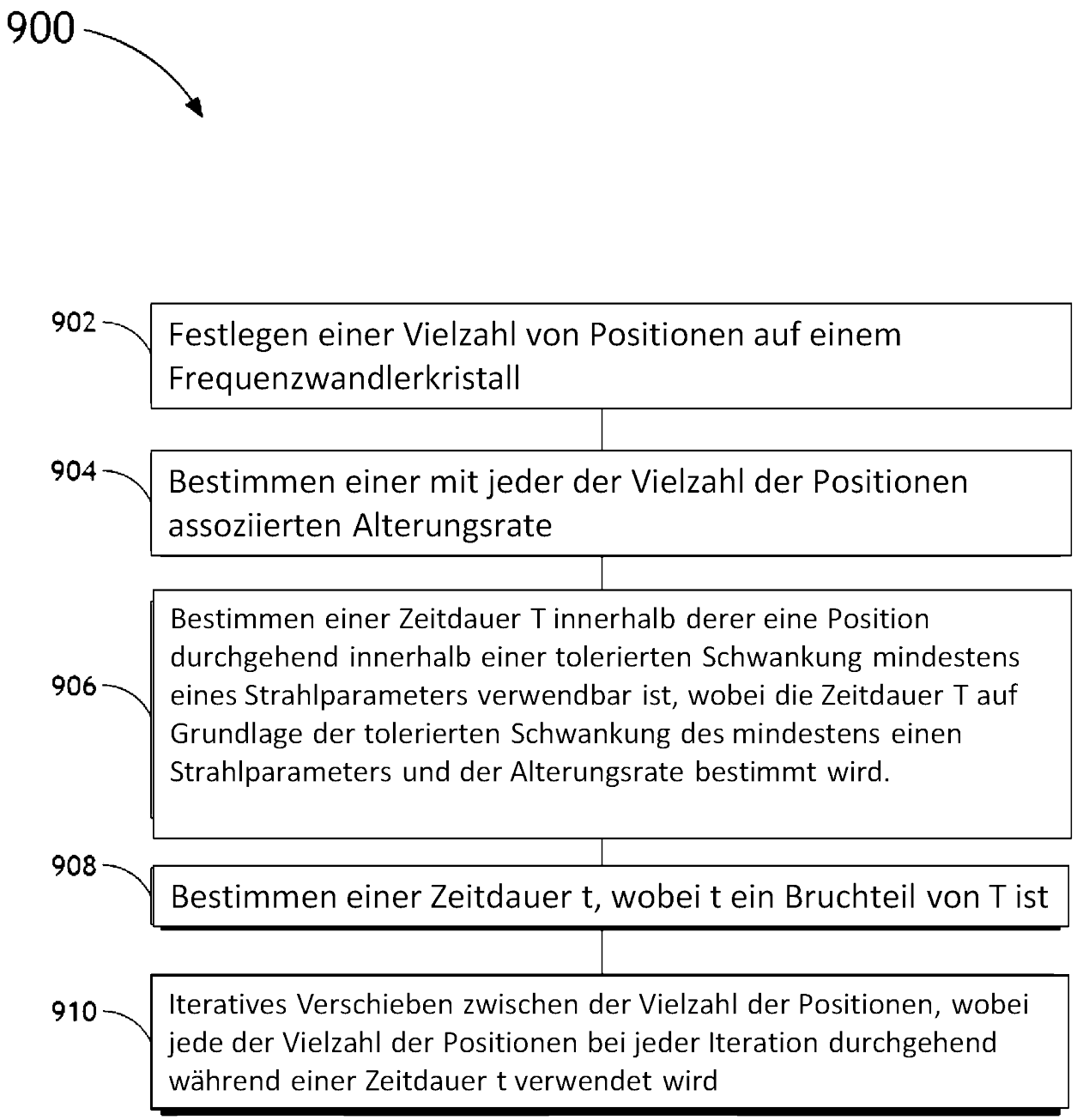


FIG.9

Das Dokument wurde durch die Firma Jouve hergestellt.