



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2016 006 185.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2016/013199**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/119911**
(86) PCT-Anmeldetag: **13.01.2016**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **13.07.2017**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **20.09.2018**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **19.10.2023**

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

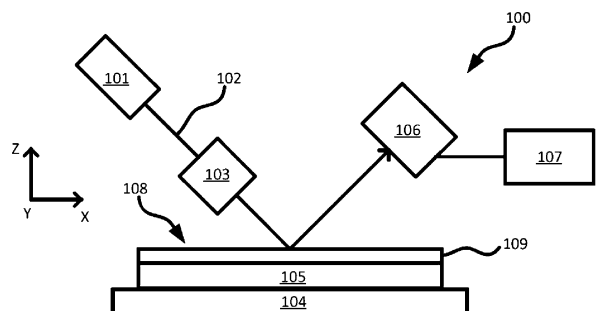
Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität: 14/990,233 07.01.2016 US	(72) Erfinder: Li, Shifang, Pleasanton, CA, US; Wen, Youxian, Fremont, CA, US
(73) Patentinhaber: KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US	(56) Ermittelte Stand der Technik: US 7 295 300 B1 US 8 178 784 B1
(74) Vertreter: Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte, 93049 Regensburg, DE	

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Inspektion und Metrologie von Halbleiterwafern**

(57) Hauptanspruch: Ein System (100) umfasst:
einen Tisch (104) zur Aufnahme eines Wafers (105);
eine Lichtquelle (101), die konfiguriert ist, um einen Strahl (102) auf eine Oberfläche (108) des auf dem Tisch (104) befindlichen Wafers (105) zu lenken;
einen Sensor (106), der konfiguriert ist, um den von der Oberfläche (108) reflektierten Strahl (102) zu empfangen, wobei der Sensor (106) sechs Polarisationskanäle bereitstellt, von denen jeder ein Signal bereitstellt; wobei der Sensor (106) umfasst:
einen ersten Strahlteiler (200);
einen zweiten Strahlteiler (201), der derart ausgestaltet ist, dass er Licht vom ersten Strahlteiler (200) empfängt;
einen ersten polarisierenden Strahlteiler (203), der derart ausgestaltet ist, dass er Licht vom ersten Strahlteiler (200) empfängt, wobei der erste polarisierende Strahlteiler (203) derart ausgestaltet ist, dass er zwei der sechs Polarisationskanäle erzeugt;
einen zweiten polarisierenden Strahlteiler (204), der derart ausgestaltet ist, dass er Licht vom zweiten Strahlteiler (201) empfängt, wobei der zweite polarisierende Strahlteiler (204) derart ausgestaltet ist, dass er zwei der sechs Polarisationskanäle erzeugt;
einen dritten polarisierenden Strahlteiler (205), der derart ausgestaltet ist, dass er Licht vom zweiten Strahlteiler (201) empfängt, wobei der dritte polarisierende Strahlteiler (205) derart ausgestaltet ist, dass er zwei der sechs Polarisationskanäle erzeugt, und

einen Controller (107), der elektrisch kommunikativ mit dem Sensor (106) verbunden ist, wobei der Controller (107) ausgestaltet ist:
das Signal von jedem der Polarisationskanäle zu empfangen;
Differenzen zwischen Paaren von Signalen zu normieren, um drei normierte Ergebnisse zu erhalten; und
einen Wert einer Schicht (109) auf dem Wafer (105) zu bestimmen, der auf den drei normierten Ergebnissen und Gesamtintensitäten der Paare der Signale basiert, wobei der Wert eine Dicke, eine Oberflächenrauigkeit, eine Materialkonzentration oder eine kritische Dimension sein kann.



Beschreibung**ZUSAMMENFASSUNG DER OFFENBARTEN
ERFINDUNG****GEBIET DER OFFENBARUNG**

[0001] Diese Offenbarung bezieht sich auf die Wafer-Inspektion und Wafer-Metrologie.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Halbleiterhersteller drucken die Dies so nahe wie möglich an den Waferrand, um die Anzahl der Elemente pro Wafer zu maximieren. Jedoch zeigen die Dies in der Nähe des Waferrandes typischerweise die geringste Ausbeute. Um die Probleme bei der Ausbeute in der Nähe der Kante zu adressieren, müssen die Halbleiterhersteller wissen, wo der Rand von jeder Schicht sich befindet, wie z.B. auf der ebenen Vorderseite des Wafers oder in der schrägen Fase, die sich nach der ebenen Fläche befindet. Halbleiterhersteller müssen auch den Umfang jeder Schicht im Vergleich mit denen treffen, die vor und nach ihr während der Herstellungsverfahren des Elements aufgebracht wurden.

[0003] US 7 295 300 B1 betrifft die Detektion von Pits in einer Oberfläche eines Wafers. Die Oberfläche wird beleuchtet, davon reflektiertes Licht wird erfasst und in Kanäle unterschiedlicher Polarisation aufgeteilt, die separat detektiert werden.

[0004] Gegenwärtige Inspektions- und Metrologiewerkzeuge werden zur Prozesssteuerung genutzt, wie z.B. zum Inspizieren von epitaktischen Wafern, zum Inspizieren und Vermessen von der Randentlackung von Fotolack (EBR), oder zum Inspizieren der z-Schnitthöhe einer Schicht an einem Waferrand. Diese gegenwärtigen Inspektions- und Metrologiewerkzeuge erfassen ein Signal und erzeugen ein Phasenbild einer Probe. Für diese Signale gibt es jedoch pro Hardware- und Ausrichtungsverfahren keinen eindeutigen physikalischen Mittelwert. Es kann problematisch sein, das Signal zu interpretieren oder es mit Parametern der Probe in Verbindung zu bringen, die eine beschränkte Entwicklungsmöglichkeit besitzen. Darüber hinaus kann die Sammeleffizienz der Optik von Wafer zu Wafer an einem Waferrand variieren und aus einem Anforderungsgesichtspunkt der Metrologie kann aus den Rohsignalen nur eine Größe abgeleitet werden, die die aus den Signalen extrahierbare Informationsmenge begrenzt.

[0005] Deshalb wird ein neues System und ein neues Verfahren für die Inspektion und Metrologie von Wafern benötigt.

[0006] In einer ersten Ausführungsform wird ein System zur Verfügung gestellt. Das System umfasst: einen Tisch, der konfiguriert ist, einen Wafer zu halten; eine Lichtquelle, die konfiguriert ist, einen Strahl auf den auf den Tisch befindlichen Wafer zu lenken; einen Sensor, der konfiguriert ist, um den Strahl zu empfangen, der von der Oberfläche reflektiert ist, und sechs Polarisationskanäle bereitzustellen; und einen Controller, der in elektronischer Kommunikation mit dem Sensor ist. Jeder der Polarisationskanäle liefert ein Signal. Der Controller ist konfiguriert, um: das Signal von jedem der Polarisationskanäle zu empfangen; eine Differenz zwischen Paaren der Signale zu normieren, um drei normierte Ergebnisse zu erzeugen; und einen Wert von einer Schicht des Wafers zu bestimmen, der auf den normierten Ergebnissen und Gesamtintensitäten der Paare der Signale basiert. Der Wert kann eine Dicke, eine Oberflächenrauigkeit, eine Materialkonzentration oder eine kritische Dimension sein. Jeder der Polarisationskanäle kann durch einen polarisierenden Strahlteiler erzeugt werden. Der Sensor ist ein für Polarisation sensitiver Detektor.

[0007] Der Sensor so konfiguriert, dass er sechs der Polarisationskanäle bereitstellt. Der Sensor enthält: einen ersten Strahlteiler; einen zweiten Strahlteiler, der konfiguriert ist vom ersten Strahlteiler Licht zu empfangen; einen ersten polarisierenden Strahlteiler, der konfiguriert ist, von dem ersten Strahlteiler Licht zu empfangen; einen zweiten polarisierenden Strahlteiler, der konfiguriert ist, aus dem zweiten Strahlteiler Licht zu empfangen; und einen dritten polarisierenden Strahlteiler, der konfiguriert ist, Licht von dem zweiten Strahlteiler zu empfangen. Der erste polarisierende Strahlteiler ist konfiguriert, um zwei der sechs Polarisationskanäle zu erzeugen. Der zweite polarisierende Strahlteiler ist konfiguriert, um zwei der sechs Polarisationskanäle zu erzeugen. Der dritte polarisierende Strahlteiler ist so konfiguriert, dass zwei der sechs Polarisationskanäle erzeugt werden. Der erste Strahlteiler kann ein 30/70 Strahlteiler sein. Der zweite Strahlteiler kann ein 50/50 Strahlteiler sein. Der zweite Polarisationsstrahlteiler kann bei 45° und der dritte polarisierende Strahlteiler kann bei 0° in Bezug auf eine Einfallsebene eingestellt sein. Eine Viertelwellenplatte kann zwischen dem ersten Strahlteiler und dem ersten polarisierenden Strahlteiler angeordnet sein.

[0008] Der Controller kann konfiguriert werden, um den Unterschied zwischen einem Paar der Signale unter Verwendung der Formel $V = (Pq - Sq) / (Pq + Sq)$ zu normieren, wobei Pq und Sq das Paar der Signale, V das normierte Ergebnis und $Sp = Pq + Sq$ die Gesamtintensität ist.

[0009] Die Lichtquelle kann so konfiguriert werden, um den Strahl mit einer Vielzahl von Wellenlängen zu richten. Die Lichtquelle kann ein durchstimmbarer Laser oder ein Multiplex von Wellenlängen aus mehreren Lasern sein, wobei die Laser bei unterschiedlichen Wellenlängen arbeiten.

[0010] Der Controller kann so konfiguriert werden, um den Wert der Schicht zu bestimmen, wobei das Paar der Signale oder das normierte Ergebnis mit einem nichtlinearen Optimierungsalgorithmus der kleinsten Quadrate gefittet wird.

[0011] In einer zweiten Ausführungsform wird ein Verfahren zur Verfügung gestellt. Das Verfahren beinhaltet: dass ein Strahl von einer Lichtquelle auf eine Oberfläche eines Wafers gerichtet wird; dass ein von der Oberfläche reflektierter Strahl mit einem Sensor empfangen wird; dass der Strahl in dem Sensor in sechs Polarisationskanäle unter Verwendung von drei polarisierenden Strahlteilern aufgespalten wird; dass ein Signal von jedem der Polarisationskanäle erzeugt wird; dass eine Differenz zwischen Paaren der Signale normiert wird, um drei normierte Ergebnisse zu erzeugen; und dass ein Wert einer Schicht auf dem Wafer auf Basis der normierten Ergebnisse und von Gesamtintensitäten der Paare der Signale erzeugt wird. Der Wert kann eine Dicke, eine Oberflächenrauigkeit, eine Materialkonzentration oder eine kritische Dimension sein.

[0012] Die Normierung kann die Formel $V = (P_q - S_q) / (P_q + S_q)$ verwenden, wobei P_q und S_q das Paar der Signale, V das normierte Ergebnis und $S_p = P_q + S_q$ die Gesamtintensität ist.

[0013] Das Verfahren kann ferner umfassen, dass ein Modell unter Verwendung der gemessenen Signale zur Bestimmung des Werts einer Schicht auf dem Wafer genutzt wird.

[0014] Der Strahl kann eine Vielzahl von Wellenlängen umfassen. Die Vielzahl von Wellenlängen kann durch einen abstimmbaren Laser oder durch ein Multiplex von Wellenlängen aus einer Vielzahl von Lasern erzeugt werden, die bei verschiedenen Wellenlängen arbeiten.

[0015] Die Bestimmung kann ein Fitten des Paares der Signale oder das normierte Ergebnis mit einem nichtlinearen Optimierungsalgorithmus der kleinsten Quadrate umfassen.

BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0016] Für ein besseres Verständnis der Natur und Aufgaben der Offenbarung der Beschreibung, soll auf die folgende detaillierte Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen Bezug genommen werden, in denen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Systems in Übereinstimmung mit der vorliegenden Offenbarung ist;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Sensors aus **Fig. 1** in Übereinstimmung mit der vorliegenden Offenbarung ist;

Fig. 3 ein Graph der das Signal mit der Dicke unter Verwendung des Sensors aus **Fig. 2** vergleicht;

Fig. 4 - Fig. 6 graphische Darstellungen, die das Signal mit einer epitaktischen Schichtdicke für epitaktische $Si_{1-x}Ge_x$ Schichten mit unterschiedlichen Anteilen an Germanium darstellen, zeigen;

Fig. 7 ein Graph ist, der das Signal mit der Dicke für P_q und S_q vergleicht;

Fig. 8 ein Graph ist; der die Phase mit der Dicke für P_q und S_q aus **Fig. 7** vergleicht und

Fig. 9 ein Graph ist, der einen Messwert der Reflexion von einer Oberfläche vergleicht, die aus den normierten Ergebnissen für die sechs Signale der **Fig. 3** abgeleitet werden kann.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER OFFENBARUNG

[0017] Obwohl der beanspruchte Gegenstand in Bezug auf bestimmte Ausführungsformen beschrieben wird, können andere Ausführungsformen, einschließlich der Ausführungsformen, die nicht alle der nachstehenden Vorteile und Merkmale umfassen, ebenfalls im Rahmen dieser Offenbarung liegen. Verschiedene strukturelle, logische, Prozessschritte und elektronische Änderungen können gemacht werden, ohne vom Umfang der Offenbarung abzuweichen.

[0018] Ausführungsformen der hierin offenbarten Systeme und Verfahren ermöglichen eine quantitative Überwachung der Probenparameter und bieten verbesserte Inspektionsmöglichkeiten. Das System erzeugt zuverlässige und messbare Mengen pro Punkt auf dem Wafer pro Wellenlänge. Dies erhöht die Einsatzmöglichkeiten und verbessert die Ergebnisse. Das Extrahieren von Probenparametern mit einem Inspektionswerkzeug kann bei der Erfassung der Drift von Prozessparametern von Hilfe sein. Dies ermöglicht den Halbleiterherstellern präventive oder korrigierende Maßnahmen zu ergreifen.

[0019] **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Systems 100. Eine Lichtquelle 101 erzeugt einen Strahl 102, der auf eine Oberfläche 108 eines Wafers 105 auf einem Tisch 104 gerichtet wird. Der Strahl 102 passiert eine Polarisationssteuerung und einen Fokusmecha-

nismus 103 bevor er in Richtung auf die Oberfläche 108 des Wafers 105 austritt. Die Lichtquelle 101 kann ein Laser, wie z.B. in einer Ausführungsform ein Halbleiterlaser mit blauer Wellenlänge, sein. In einer anderen Ausführungsform wird die Lichtquelle 101 aus mehreren Halbleiterlasern verschiedener Wellenlängen mit einer Wellenlängen-Multiplextechnik zu einem einzigen Strahl 102 kombiniert. In noch einer anderen Ausführungsform kann die Lichtquelle 101 ein hinsichtlich der Wellenlängen durchstimmbarer Laser sein, der eine Wellenlänge aufweist, die basierend auf einem Rezeptur-Parameter für eine bestimmte Anwendung eingestellt wird. Der ausgehende Strahl 102 wird typischerweise polarisiert und weist eine Ausgangsleistung im Bereich von einigen Wenigen bis zu Hunderten von mW auf. Die Lichtquelle 101 kann temperaturkontrolliert sein, um die Stabilität zu verbessern.

[0020] Der Tisch 104 kann derart gestaltet sein, dass der Wafer 105 relativ zum Strahl abgetastet wird. Diese Abtastung durch den Tisch 104 kann zum Beispiel in der X/Y-Ebene erfolgen. Die Lichtquelle 101 kann auch derart gestaltet sein, dass der Strahl 102 über die Oberfläche 108 gescannt wird. Die Lichtquelle 101 kann den Strahl 102 getrennt oder in Verbindung mit dem Tisch 104 scannen. Der Tisch 104 kann den Wafer 105 elektrostatisch, mechanisch oder mittels Vakuum halten.

[0021] Der Wafer 105 kann zum Beispiel ein Halbleiterwafer sein. Der Halbleiterwafer kann ein Siliziumwafer mit einem Durchmesser von 150 mm, 200 mm, 300 mm oder 450 mm sein. Der Wafer 105 kann auch andere Arten von Wafern umfassen, wie z.B. einen Wafer, verwendet zur Herstellung von Leuchtdioden (LEDs) oder Solarzellen. Der Wafer 105 weist eine Schicht 109 auf. Diese Schicht 109 kann beispielsweise eine Schicht sein, die epitaktisch aufgewachsen oder abgeschieden worden ist. In einem Beispiel ist die Schicht 109 eine $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ epitaktische Schicht, die durch eine obere Siliziumdeckschicht geschützt ist. Die Schicht 109 kann, abgesehen von der $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ epitaktischen Schicht, auch aus anderen Arten von Schichten bestehen.

[0022] Der Strahl 102 kann eine Polarisationssteuerung und einen Fokusmechanismus 103 durchlaufen, bevor er von der Oberfläche 108 des Wafers 105 reflektiert wird. Gemäß einer Ausführungsform sind die Polarisationssteuerung und der Fokusmechanismus 103 ein Polarisator bei 45° , bezogen auf eine Einfallsebene. In einer anderen Ausführungsform umfassen die Polarisationssteuerung und der Fokusmechanismus 103 eine Viertelwellenplatte, die einem Polarisator nachgeschaltet ist, wobei deren optische Achse um etwa 45° versetzt ist. Die Polarisationssteuerung und der Fokusmechanismus 103 können auch eine Fokusoptik umfassen, die die

auf dem Wafer 105 projizierte Größe des Strahlflecks steuert.

[0023] Der Sensor 106 empfängt den von der Oberfläche 108 des Wafers 105 reflektierten Strahl 102 und stellt drei Paare von Polarisationskanälen zur Verfügung. Jedes Paar der Polarisationskanäle hat zwei als Detektoren ausgebildete Photodioden (PD), die das Paar von Polarisationszuständen des Paares empfangen. Jedes Paar der PD-Detektoren liefert zwei Intensitätssignale, die den zwei orthogonalen Polarisationszuständen entsprechen. Gemäß einer Ausführungsform kann der Sensor 106 ein polarisationsempfindlicher Detektor sein. Der Sensor 106 kann sechs oder mehr Polarisationskanäle umfassen, die durch drei oder mehr gepaarte Polarisationsdetektoren gebildet werden. Der Sensor 106 kann einen Fokusmechanismus umfassen, um das von der Oberfläche 108 kommende Licht zu kollimieren. Der Fokusmechanismus kann die Genauigkeit der Polarisationssteuerung und die Effizienz der Lichtsammlung des Sensors 106 verbessern.

[0024] Der Sensor 106 ist in elektronischer Kommunikation mit einem Controller 107. Der Controller 107 kann einen Prozessor, eine elektronische Speichereinrichtung in elektronischer Kommunikation mit dem Prozessor, und einen Kommunikationsanschluss in elektronischer Kommunikation mit dem Prozessor umfassen. Der Prozessor kann Signale von dem Sensor empfangen, wie z.B. durch eine elektronische Kommunikation. Gemäß einer Ausführungsform ist der Controller 107 derart konfiguriert, dass er das Signal für jeden der Polarisationskanäle empfängt. Der Controller 107 normiert dann für jedes Paar der Signale eine Differenz zwischen dem Paar der Signale, um jeweils ein normiertes Ergebnis zu erzeugen. Basierend auf den normierten Ergebnissen bestimmt der Controller 107 einen Wert einer Schicht auf dem Wafer 105, wie z.B. der Schicht 109. Der Wert kann beispielsweise eine Dicke, eine Oberflächenrauigkeit, eine Materialkonzentration (z.B. Ge Prozentsatz, x , a $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ Schicht) und / oder eine kritische Dimension sein.

[0025] Obwohl eine 45° -Orientierung in **Fig. 1** für die Polarisationssteuerung und den Fokusmechanismus 103 dargestellt ist, können die Polarisationsrichtung und die Orientierung des Polarisators gedreht werden, um eine Übereinstimmung der Richtung des Polarisators und die Systemleistung zum Steuern oder Gesamtintensität des von der Oberfläche 108 zurückkommenden austretenden Strahls 102 zu erzielen. Die Orientierung des Polarisators in der Polarisationssteuerung und dem Fokusmechanismus 103 kann ein Winkel größer oder kleiner als 45° sein, um das Interferenzsignal zwischen den reflektierten s- und p-Polarisationszuständen zu maximieren. Jedoch befinden sich die Polarisationsrichtung und die Orientierung des Polarisators nicht

typischerweise bei 0° oder 90° in Bezug auf eine Einfallsebene, wo es keine Interferenz durch eine isotrope Oberfläche 108 gibt. In einem Fall umfassen die Polarisationssteuerung und der Fokusmechanismus 103 eine Viertelwellenplatte nach dem Polarisator. Die optische Achse der Viertelwellenplatte und der Polarisator sind auf 45° eingestellt, um zirkular polarisiertes Licht zu erzeugen, das von der Oberfläche 108 zurückkommt. Eine Viertelwellenplatte zusammen mit der Polarisationssteuerung und dem Fokusmechanismus 103 ist optional und nicht Bestandteil anderer Ausführungsformen.

[0026] Fig. 2 ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Sensors 106, der sechs Polarisationskanäle umfasst. Der Sensor 106 weist einen ersten Strahlteiler 200 und einen zweiten Strahlteiler 201 auf, wobei der zweite Strahlteiler 201 derart konfiguriert ist, um Licht von dem ersten Strahlteiler 200 zu empfangen. Ein erster Polarisationsstrahlteiler 203 ist zum Empfangen von Licht von dem ersten Strahlteiler 200 konfiguriert und erzeugt zwei der sechs Polarisationskanäle (D1, D2). Ein zweiter Polarisationsstrahlteiler 204 ist zum Empfangen von Licht von dem zweiten Strahlteiler 201 konfiguriert und erzeugt zwei der sechs Polarisationskanäle (D3, D4). Ein dritter Polarisationsstrahlteiler 205 ist zum Empfangen von Licht von dem zweiten Strahlteiler 201 konfiguriert und erzeugt zwei der sechs Polarisationskanäle (D5, D6).

[0027] Jedes Paar der drei Polarisationskanäle in Fig. 2 kann aufgrund der Konfigurationen der Strahlteiler und Polarisationsstrahlteiler ein oder mehrere verschiedene optische Eigenschaften messen. Auf diese Weise kann jedes Paar der Polarisationskanäle einzigartige Eigenschaften aufweisen. Gemäß einer Ausführungsform ist der erste Strahlteiler 200 ein 30/70 Strahlteiler, der zweite Strahlteiler 201 ist ein 50/50 Strahlteiler, wobei der zweite polarisierende Strahlteiler 204 bei 45°, und der dritte polarisierende Strahlteiler 205 bei 0° mit Bezug auf eine Einfallsebene orientiert ist. Der Sensor 106 weist zwischen dem ersten Strahlteiler 200 und dem ersten polarisierenden Strahlteiler 203 eine Viertelwellenplatte 206 auf. Die optische Achse der Viertelwellenplatte 206 und des ersten polarisierenden Strahlteilers 203 sind um etwa 45° voneinander verschieden.

[0028] Fig. 3 ist ein Graph, der unter Verwendung des Sensors 106 der Fig. 2 das Signal mit der Dicke vergleicht. Die sechs Signale D1 - D6 von jedem Polarisationskanal sind aufgetragen. Die Signale von einem Paar der Polarisationskanäle, wie z.B. D1 und D2, können verwendet werden, um einen Wert eines Wafers zu bestimmen. Diese beiden Signale können als Pq und Sq bezeichnet werden. Pq und Sq können weiter analysiert werden, um ein Phasenbild des Waferrands zu erzeugen. Ein

normiertes Ergebnis aus einem Paar der Polarisationskanäle kann auch eine verbesserte Genauigkeit oder Präzision bereitstellen, wenn der Wert, wie z.B. die Dicke für einen Wafer, bestimmt wird.

[0029] Gemäß einer Ausführungsform werden Signale von dem Paar von Polarisationskanälen unter Verwendung von Gleichung 1 normiert.

$$V = (Pq - Sq) / (Pq + Sq) \quad (\text{Gleichung 1})$$

[0030] Pq - Sq können als Ph bezeichnet werden und Pq + Sq können als Sp bezeichnet werden. Pq und Sq ist das Paar der Signale, V ist das normierte Ergebnis, und Sp ist die Gesamtintensität des Paares. V kann auch als Sichtbarkeit bezeichnet werden. In einer Ausführungsform sind Pq und Sq photonische Signale, die reale Zahlen sind.

[0031] Die Fig. 4-6 sind graphische Darstellungen, die das Signal mit der epitaktischen Schichtdicke für Si_{1-x}Ge_x Epitaxieschichten mit unterschiedlichen Mengen an Germanium (x) vergleichen. Jede der Fig. 4-6 plottet Pq, Sq und das resultierende V, welcher unter Verwendung der Gleichung 1 berechnet wurde. V reagiert auf die epitaktische Schichtdicke und die Konzentration an Germanium. Wie aus den Fig. 5 und Fig. 6 zu erkennen ist, besitzt V eine höhere Empfindlichkeit für epitaktische Schichtdicken mit einer höheren Konzentration an Germanium. V kehrt das Vorzeichen bei dünnen epitaktischen Schichtdicken und Proben mit geringerer Konzentration an Germanium um, wie z.B. in Fig. 4 zu sehen ist.

[0032] Die Germanium-Konzentration wirkt sich aufgrund seiner optischen Eigenschaften potenziell auf V aus. Germanium und Silizium haben unterschiedliche Brechungsindizes und Lichtabsorptionseigenschaften. Wenn sich die Konzentration von Germanium in einer Si_{1-x}Ge_x epitaktischen Schicht ändert, ändert sich das von der Oberfläche des Wafers reflektierte Licht. Andere Mechanismen auf die Wirkung der Germanium-Konzentration in Bezug auf V sind möglich. Die Signaländerung in Verbindung mit der Konzentration des Germaniums bietet die Möglichkeit, dass die Ge-Konzentration mittels der Analyse des Messsignals V und Sp zusätzlich zur Bestimmung der Dicke einer Si_{1-x}Ge_x epitaktischen Schicht erhalten wird.

[0033] Die Verwendung von zusätzlichen qualifizierten Anzahlen pro Punkt aus der Vorrichtung kann die Bestimmungsgenauigkeit des Werts der Schicht auf dem Wafer verbessern. Dies kann mehr Wellenlängen umfassen, wie z.B. mehrere Laser und vorheriges Kombinieren der in Richtung auf den Wafer einfallenden Strahlengänge, wobei eine Technik zum Multiplexen mehrerer Wellenlängen verwendet wird. Dies können z.B. getrennte Wellenlängen in dem

Detektor oder zeitlich multigeplexte Wellenlängen sein, die einen Laser modulieren und die Detektion des Signals von jedem Laser synchronisieren können oder die Verwendung einer Technik zum Demultiplexen einer Wellenlänge sein, um jede Wellenlänge zu einem der mehreren Sätze des Sensors 106 (siehe **Fig. 1**) zu senden. Mehr messbare Signale pro Punkt pro Wellenlänge können verwendet werden, um die Bestimmungsgenauigkeit des Werts der Schicht auf dem Wafer zu verbessern.

[0034] **Fig. 7** ist ein Diagramm für den Vergleich des Signals für P_q und S_q mit der Dicke. **Fig. 8** ist ein graphisches Diagramm für den Vergleich, der Phase für P_q und S_q aus **Fig. 7**. P_q und S_q können beispielsweise D_1 und D_2 , D_3 und D_4 oder D_5 und D_6 entsprechen, wenn auch nur D_1 und D_2 in den **Fig. 7** und **Fig. 8** dargestellt sind. Die sechs Signale von dem Sensor 106 sind in **Fig. 3** für die gleichen Wafer wie in **Fig. 7** dargestellt.

[0035] **Fig. 9** ist ein Diagramm, das eine messbare Reflexion von einer Oberfläche 108 vergleicht, wobei N , S und C aus den normierten Ergebnissen für die sechs Signale ($D_1 - D_6$) der **Fig. 3** abgeleitet werden können. N , S und C werden aus den Polarisationsseigenschaften der Oberfläche 108 definiert, die proportional zu den verschiedenen Signalen eines jeden Paares sind, wenn das System in einer bestimmten Art und Weise konfiguriert ist, und können miteinander linear kombiniert werden. Bei einer Ausführungsform ist jedes N , S , und C proportional zu einem der drei Paare der normierten Differenzsignale (z.B. D_5 und D_6 , D_1 und D_2 , D_3 und D_4). Dies wird dadurch bestätigt, das S eine ähnliche Form wie die für V dargestellten Ergebnisse hat (siehe **Fig. 8**). Die Kombination aus N , S und C liefert mehr Information als nur zum Beispiel S allein. Die Verwendung von N , S und C ist zuverlässiger gegen systematische Fehler, wie z.B. eine Unregelmäßigkeit eines Waferrandes. Beispielsweise, falls die gemischte Reflexion von der Oberfläche 108 und R_s und R_p für s und p polarisiertes Licht beträgt, dann gilt $N = |R_p| - |R_s|$; $S = 2\text{Im}(R_p * \text{conj}(R_s))$; und $C = 2\text{Re}(R_p * \text{conj}(R_s))$.

[0036] Durch die Verwendung von zwei oder mehr normierten Ergebnissen, ist es dem System möglich, Dicken einer Schicht auf dem Wafer im Bereich von 0 nm bis 5 nm zu messen. S allein kann aufgrund Mehrdeutigkeit eines Signalpegels nicht in der Schichtdicke im Bereich von 0 nm bis 5 nm bestimmen, da dieser zwei unterschiedlichen Dicken entspricht. Zum Beispiel können S und N , S und C oder S , N und C ausreichend Information liefern, um die Dicke einer Schicht auf dem Wafer für Dicken im Bereich von 0 nm bis 5 nm zu bestimmen. N , S und C ändern sich mit der Dicke. Um die Dicke zu bestimmen, werden die gemessenen Mengen (Kombinationen von N , S und C) mathematisch im

gewünschten Dickenbereich ermittelt. Zum Beispiel kann die Größe S allein denselben Wert bei zwei unterschiedlichen Dicken im Bereich von 0-3 nm haben (siehe **Fig. 9**) und N allein hat den gleichen Wert bei einer Dicke von 6 nm und 18 nm. Somit kann die Dicke nicht nur mit einer Größe allein bestimmt werden.

[0037] Der Wert der Schicht auf dem Wafer kann auch auf Basis des normierten Ergebnisses und einer Gesamtintensität des Paares der Signale (wie z.B. S_p) bestimmt werden.

[0038] Die zusätzlichen Informationen von S , N und C können weitere Parameter bestimmen. Zum Beispiel kann eine Kombination aus S , N und C verwendet werden, um Konzentration von Ge in einer Schicht auf einem Wafer zusätzlich zu der Dicke der Schicht zu bestimmen. Die zusätzliche Information, die von S , N und C bereitgestellt wird, kann die Systemgenauigkeit und Präzision verbessern. Zum Beispiel kann die Verwendung von S , N und C eine Dicke einer Schicht auf einem Wafer überbestimmen. Die Werte von, wie z.B. der Oberfläche, der Dicke, der Konzentration und / oder der Rauheit werden durch Fitten der gemessenen Signale ($D_1 - D_6$ oder ihrer abgeleiteten Größen N , S , C) mit einem Modell des Systems bestimmt. Beispielsweise erfolgt dies unter Verwendung nicht linearer Optimierungsalgorithmen auf Basis der kleinsten Quadrate.

[0039] Obwohl die normierten Ergebnisse S , N und C offenbart sind, können mehrere oder weniger normierte Ergebnisse verwendet werden, um einen Wert von einer Schicht auf dem Wafer zu bestimmen. Zum Beispiel können für eine einfachere Struktur einer Schicht oder einen kleineren Bereich von zu überwachenden Dicken dann nur S oder S und N verwendet werden. Für eine komplexere Struktur einer Schicht können dann S , N , C , und ein zusätzliches normiertes Ergebnis (S_p) verwendet werden.

[0040] Das System 100 kann vor dem Betrieb kalibriert werden. Die Beziehung zwischen dem Signal oder den Signalen (wie z.B. $D_1 - D_6$) und der optischen Eigenschaften der Probe (wie z.B. N , S , C oder S_p) kann von der Konfiguration des Systems 100 abhängen. Wenn sich beispielsweise der Winkel eines polarisierenden Strahlteilers ändert, ändert sich dann auch die Beziehung zwischen $D_1 - D_6$ und N , S und C . Somit kann das System 100 vor dem Betrieb kalibriert werden. In einem Fall wird ein Satz von Testwafern oder einer Reihe von Teststrukturen auf einem Kalibrierungswafer mit bekannten Eigenschaften gemessen, um eine Beziehung zwischen $D_1 - D_6$ und N , S und C zu erhalten. Nach diesem Kalibrierungsprozess können die optischen Eigenschaften der Probe (N , S und C) aus den gemessenen normierten Ergebnissen ($D_1 - D_6$)

berechnet werden. Somit ist die Beziehung zwischen D1 - D6 und N, S und C bestimmt.

[0041] Eine Ausrichtungsprozedur für die Lichtquelle und die Wellenplatte des Detektors kann vor dem Betrieb des Systems 100 durchgeführt werden. Damit können die Winkel der optischen Achse auf einen vorgesehenen Wert eingestellt werden, um die Systeme beständig zu halten.

[0042] Obwohl eine $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ epitaktische Schicht offenbart ist, kann dieses System für andere Schichten oder anderen Typen von Wafern verwendet werden. Zum Beispiel kann das System die Dicke, die kritische Dimension und / oder andere Werte einer Nitridschicht, eines Silizium-auf-Isolator (SOI)-Wafers, einer beschädigten Schicht auf einem Wafer (wie z.B. einer implantierten Schicht) oder anderer dünner Filme, die unter Verwendung anderer Arten der Abscheidung gebildet wurden, bestimmen. In einem anderen Beispiel kann die Dicke einer Siliziumschicht bei einem SOI-Wafer bestimmt werden. In noch einem weiteren Beispiel kann die Dicke einer Siliziumschicht oder eines implantierten Bereich (wie z.B. ein mit Wasserstoff implantierter Bereich) bei einem Wafer, der in einem Splitting- oder Spaltprozess des Wafers verwendet wird, bestimmt werden. In noch einem weiteren Beispiel kann die Dicke einer Oxidschicht, die auf einem Wafer aufgewachsen ist, bestimmt werden. In noch einem weiteren Beispiel kann die Oberflächenrauheit oder gleitende Verschiebung in einem Kristall der Epitaxieschicht aus Si bestimmt werden. In einem noch weiteren Beispiel kann die Dicke des Photo-lacks vor oder nach dem EBR-Prozess bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Ein System (100) umfasst:
 einen Tisch (104) zur Aufnahme eines Wafers (105);
 eine Lichtquelle (101), die konfiguriert ist, um einen Strahl (102) auf eine Oberfläche (108) des auf dem Tisch (104) befindlichen Wafers (105) zu lenken;
 einen Sensor (106), der konfiguriert ist, um den von der Oberfläche (108) reflektierten Strahl (102) zu empfangen, wobei der Sensor (106) sechs Polarisationskanäle bereitstellt, von denen jeder ein Signal bereitstellt; wobei der Sensor (106) umfasst:
 einen ersten Strahlteiler (200);
 einen zweiten Strahlteiler (201), der derart ausgestaltet ist, dass er Licht vom ersten Strahlteiler (200) empfängt;
 einen ersten polarisierenden Strahlteiler (203), der derart ausgestaltet ist, dass er Licht vom ersten Strahlteiler (200) empfängt, wobei der erste polarisierende Strahlteiler (203) derart ausgestaltet ist, dass er zwei der sechs Polarisationskanäle erzeugt;
 einen zweiten polarisierenden Strahlteiler (204), der derart ausgestaltet ist, dass er Licht vom zweiten

Strahlteiler (201) empfängt, wobei der zweite polarisierende Strahlteiler (204) derart ausgestaltet ist, dass er zwei der sechs Polarisationskanäle erzeugt; und
 einen dritten polarisierenden Strahlteiler (205), der derart ausgestaltet ist, dass er Licht vom zweiten Strahlteiler (201) empfängt, wobei der dritte polarisierende Strahlteiler (205) derart ausgestaltet ist, dass er zwei der sechs Polarisationskanäle erzeugt; und
 einen Controller (107), der elektrisch kommunikativ mit dem Sensor (106) verbunden ist, wobei der Controller (107) ausgestaltet ist:
 das Signal von jedem der Polarisationskanäle zu empfangen;
 Differenzen zwischen Paaren von Signalen zu normieren, um drei normierte Ergebnisse zu erhalten; und
 einen Wert einer Schicht (109) auf dem Wafer (105) zu bestimmen, der auf den drei normierten Ergebnissen und Gesamtintensitäten der Paare der Signale basiert, wobei der Wert eine Dicke, eine Oberflächenrauigkeit, eine Materialkonzentration oder eine kritische Dimension sein kann.

2. System (100) nach Anspruch 1, wobei der Sensor (106) ein für Polarisation sensitiver Detektor ist.

3. System (100) nach Anspruch 1, wobei der erste Strahlteiler (200) ein 30/70 Strahlteiler ist.

4. System (100) nach Anspruch 1, wobei der zweite Strahlteiler (201) ein 50/50 Strahlteiler ist.

5. System (100) nach Anspruch 1, wobei der zweite polarisierende Strahlteiler (204) bei 45° und der dritte polarisierende Strahlteiler (205) bei 0° in Bezug auf eine Einfallsebene eingestellt ist.

6. System (100) nach Anspruch 1, ferner umfassend eine Viertelwellenplatte, die zwischen dem ersten Strahlteiler (200) und dem ersten polarisierenden Strahlteiler (203) angeordnet ist.

7. System (100) nach Anspruch 1, wobei der Controller (107) ferner konfiguriert ist, um die Differenz zwischen dem Paar von Signalen unter der Verwendung der Formel $V=(Pq-Sq)/(Pq+Sq)$ zu normieren, wobei Pq und Sq das Paar der Signale sind, V das normierte Ergebnis ist und $Sp=Pq+Sq$ die Gesamtintensität darstellt.

8. System (100) nach Anspruch 1, wobei jeder der Polarisationskanäle durch einen polarisierenden Strahlteiler (203, 204, 205) erzeugt wird.

9. System (100) nach Anspruch 1, wobei die Lichtquelle (101) konfiguriert ist, um den Strahl (102) mit einer Vielzahl von Wellenlängen zu richten

und wobei die Lichtquelle (101) ein durchstimmbarer Laser oder ein Multiplex von Wellenlängen aus einer Vielzahl von Lasern ist, die bei unterschiedlichen Wellenlängen arbeiten.

10. System (100) nach Anspruch 1, wobei der Controller (107) ferner konfiguriert ist, um den Wert der Schicht (109) zu bestimmen, indem das Paar der Signale oder das normierte Ergebnis mit einem nichtlinearen Optimierungsalgorithmus der kleinsten Quadrate angepasst wird.

11. Ein Verfahren umfassend:
Richten eines Strahls (102) einer Lichtquelle (101) auf eine Oberfläche (108) eines Wafers (105);
Empfangen des von der Oberfläche (108) reflektierten Strahls (102) mit einem Sensor (106);
Aufteilen des Strahls (102) im Sensor (106) in sechs Polarisationskanäle, unter Verwendung von drei polarisierenden Strahlteilern (203, 204, 205); Erzeugen eines Signals von jedem der Polarisationskanäle;
Normieren einer Differenz zwischen Paaren von Signalen, um drei normierte Ergebnisse zu erhalten; und
Bestimmen eines Werts einer Schicht (109) auf dem Wafer (105), basierend auf den normierten Ergebnissen und Gesamtintensitäten der Paare der Signale, wobei der Wert eine Dicke, eine Oberflächenrauigkeit, eine Materialkonzentration oder eine kritische Dimension sein kann.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Normieren die Formel $V=(Pq-Sq)/(Pq+Sq)$ verwendet, wobei Pq und Sq das Paar der Signale sind, V das normierte Ergebnis ist und $Sp=Pq+Sq$ die Gesamtintensität darstellt.

13. Verfahren nach Anspruch 11, wobei ferner ein Modell zur Analyse der gemessenen Signale für die Bestimmung des Werts der Schicht (109) auf dem Wafer (105) verwendet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der Strahl (102) eine Vielzahl von Wellenlängen umfasst, wobei die Vielzahl der Wellenlängen mittels eines durchstimmbaren Lasers oder durch ein Multiplex von Wellenlängen aus einer Vielzahl von Lasern, die bei unterschiedlichen Wellenlängen arbeiten, erzeugt werden.

15. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Bestimmen ein Fitten der Paare von Signalen oder der normierten Ergebnisse mit einem nichtlinearen Optimierungsalgorithmus der kleinsten Quadrate umfasst.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

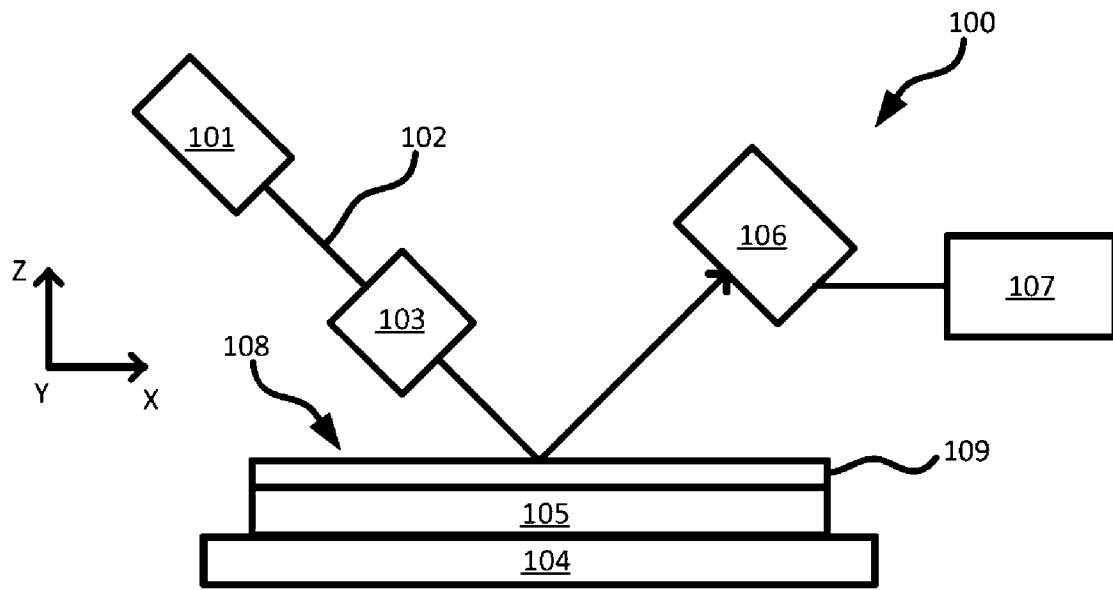


FIG. 1

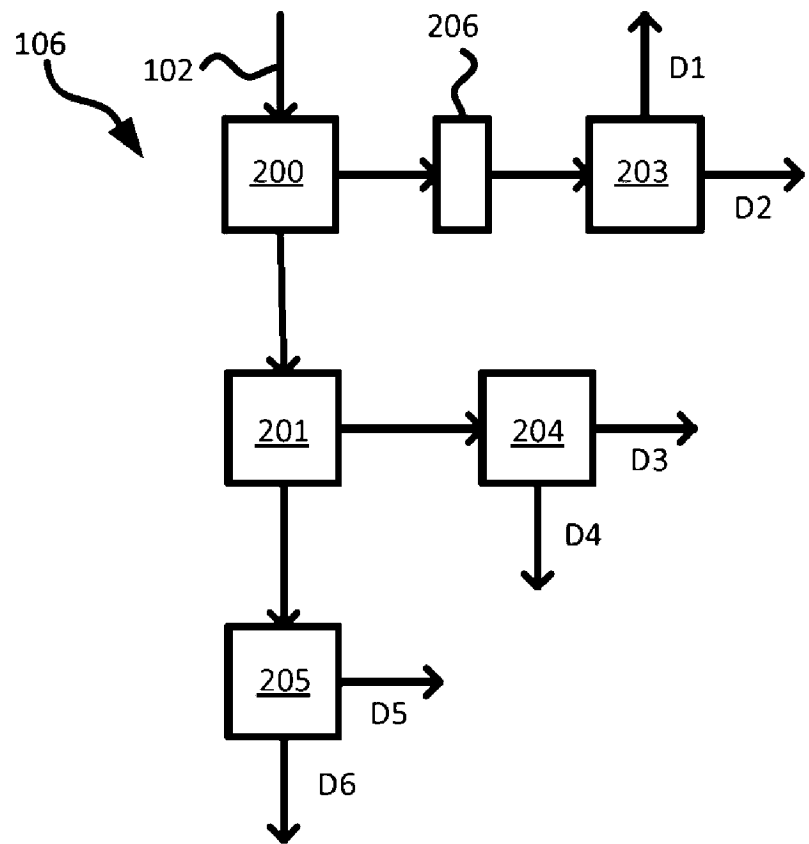


FIG. 2

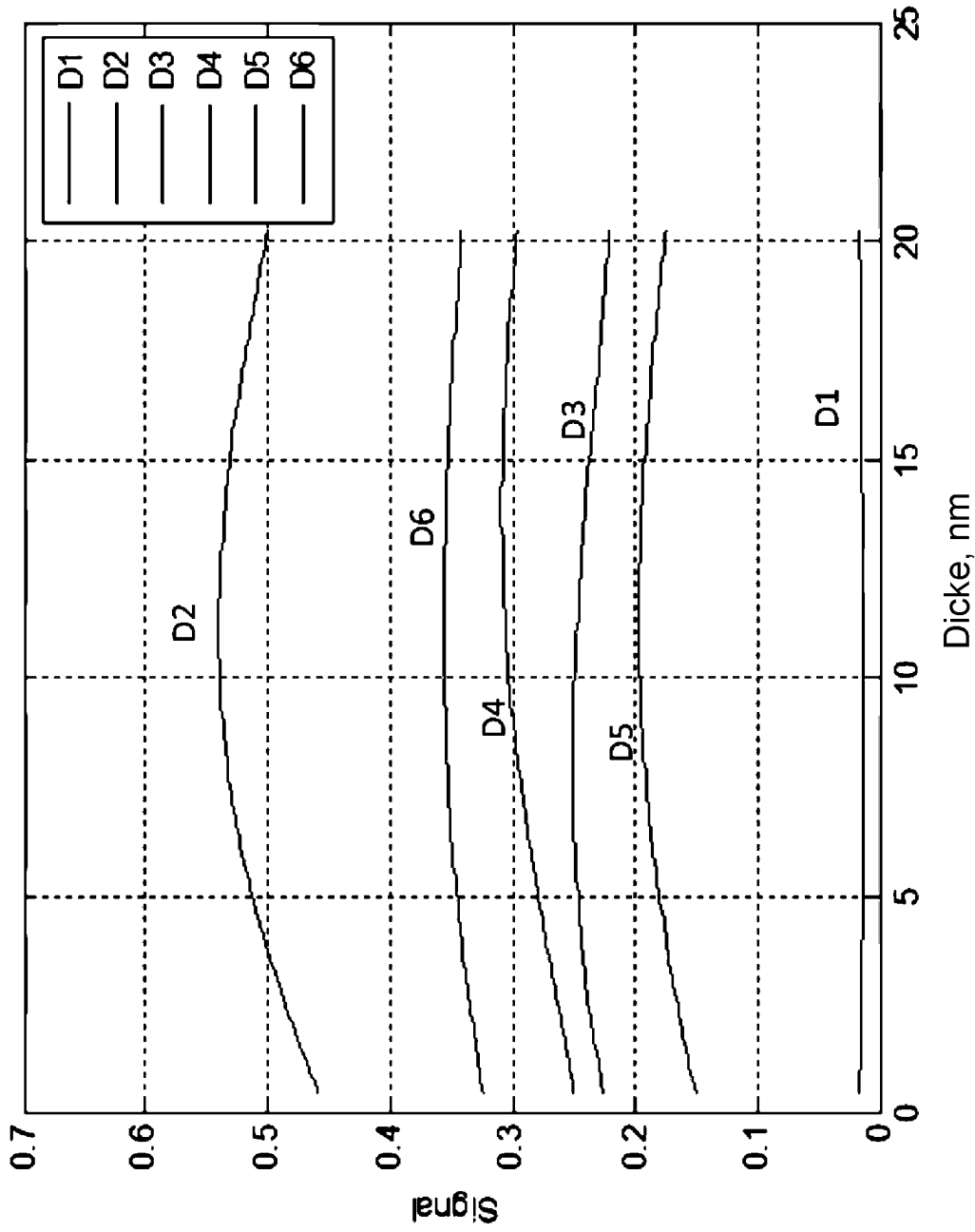


FIG. 3

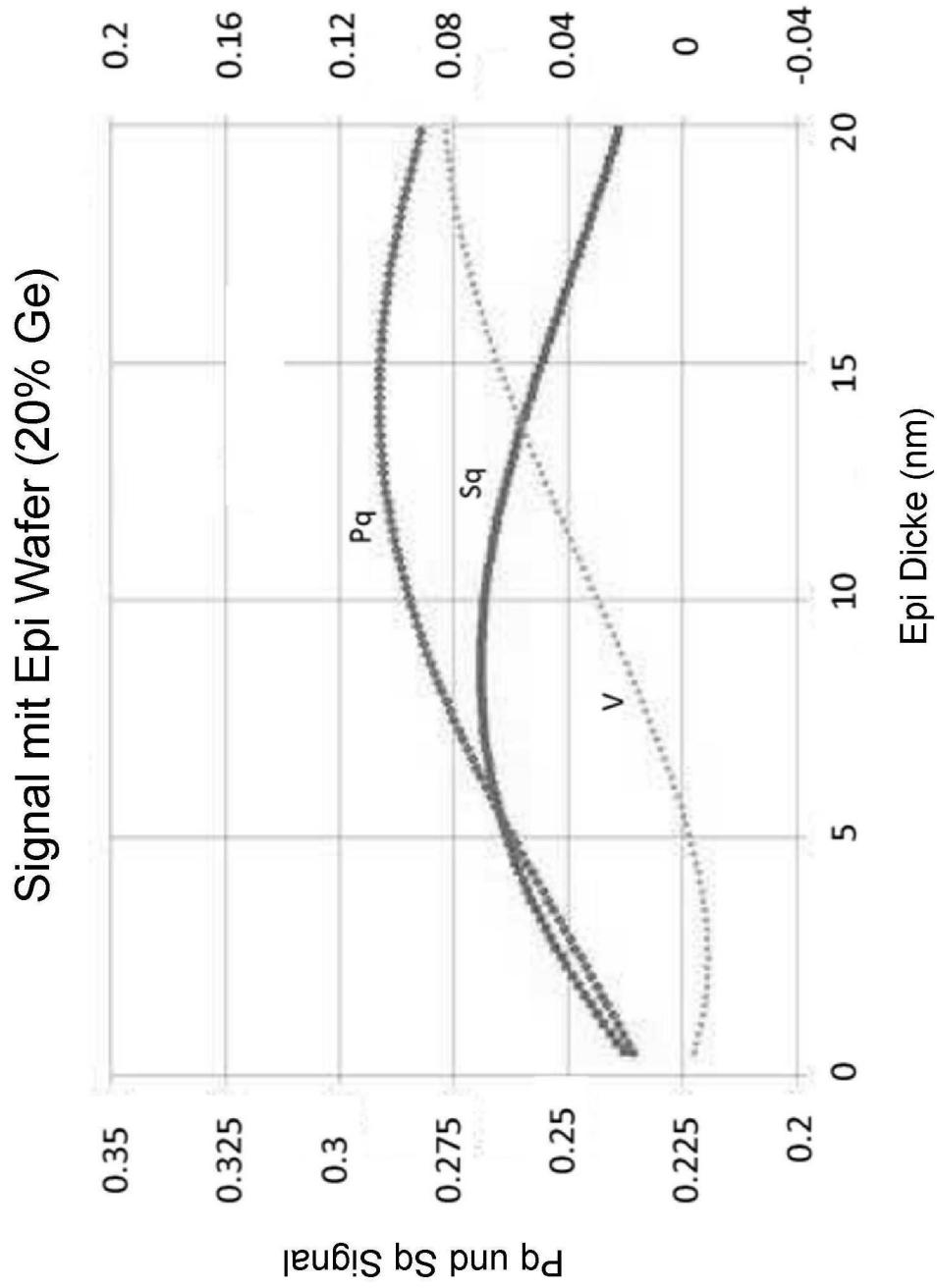


FIG. 4

Signal mit Epi Wafer (50% Ge)

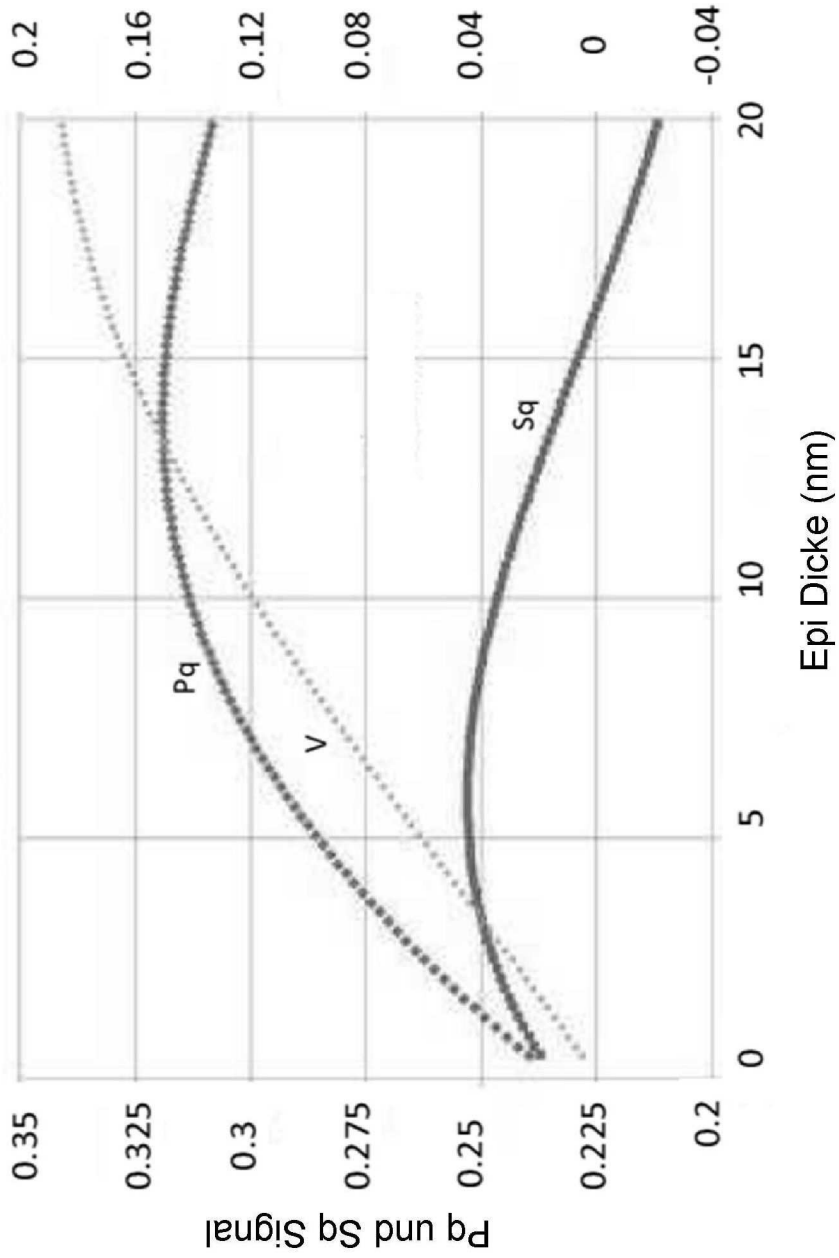


FIG. 5

Signal mit Epi Wafer (75% Ge)

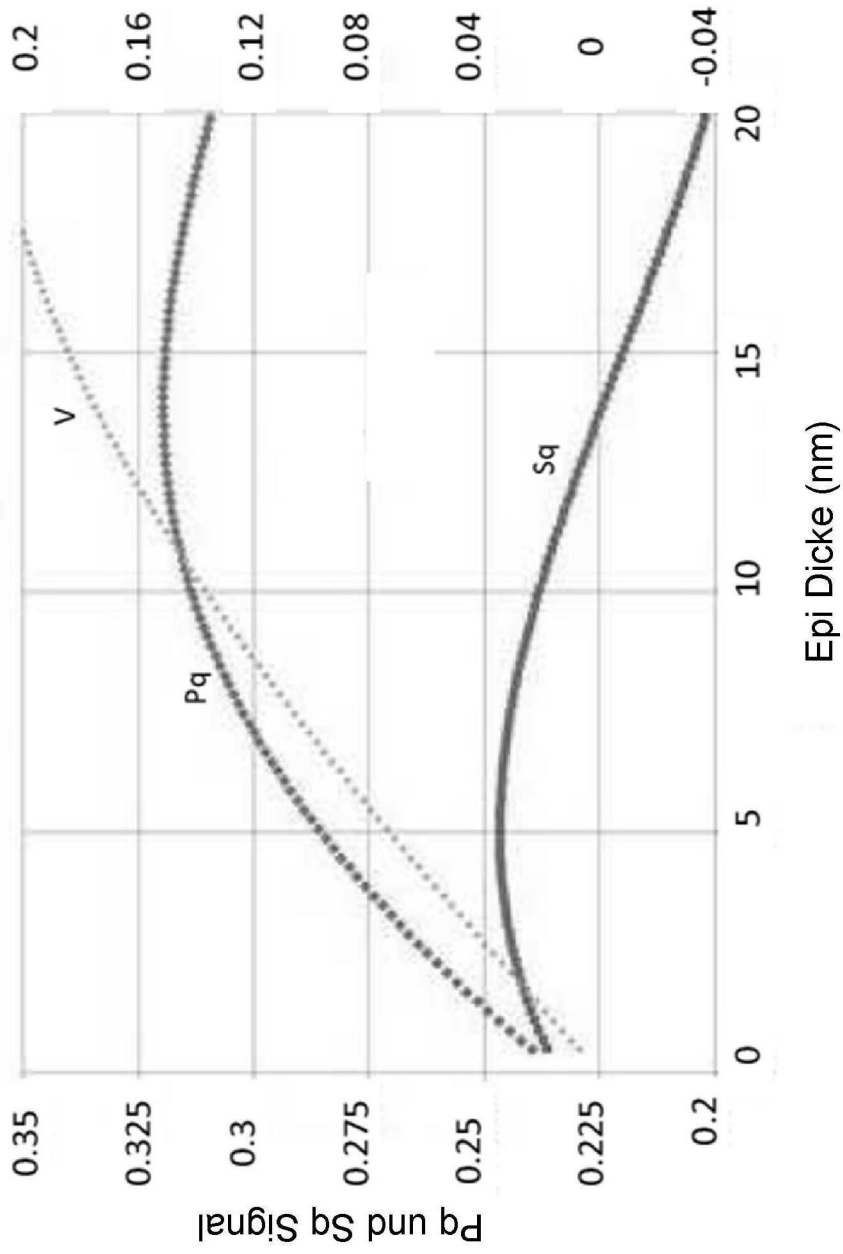


FIG. 6

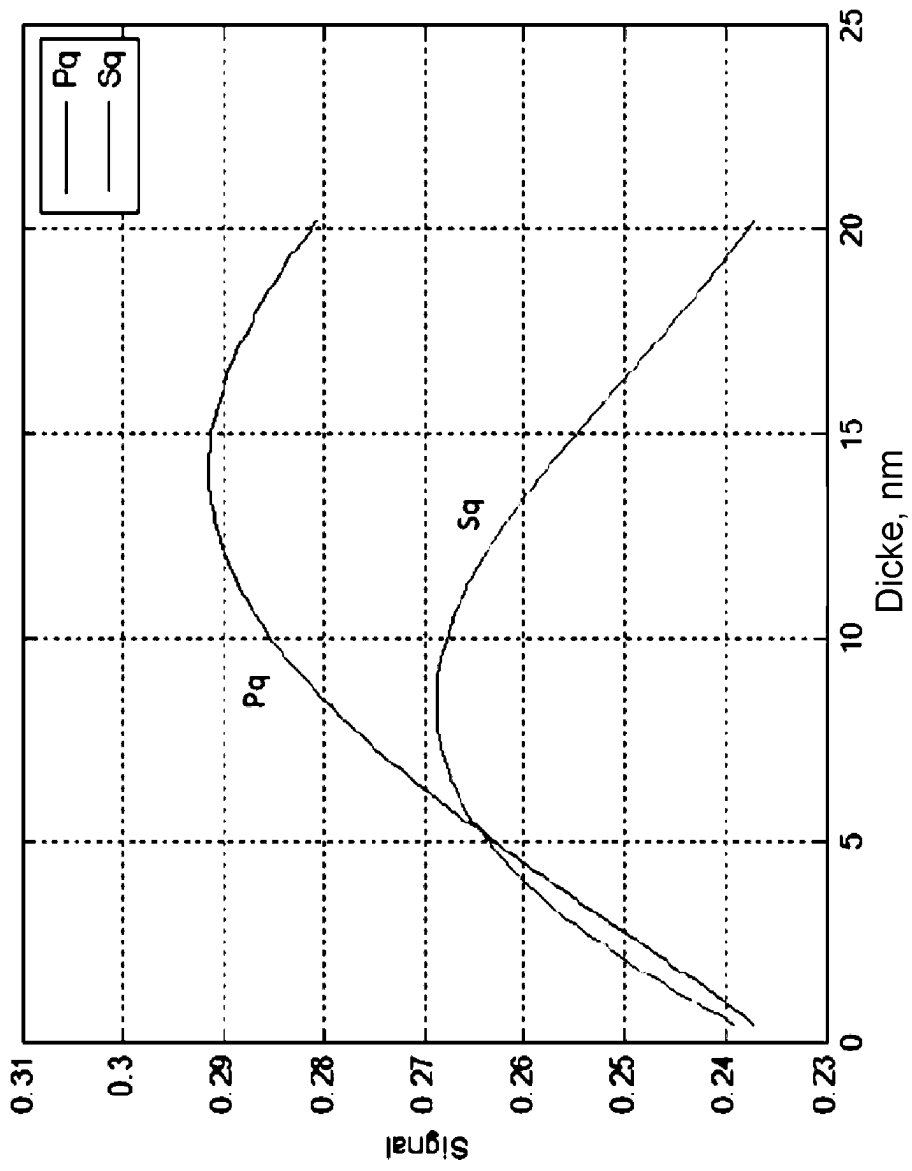


FIG. 7

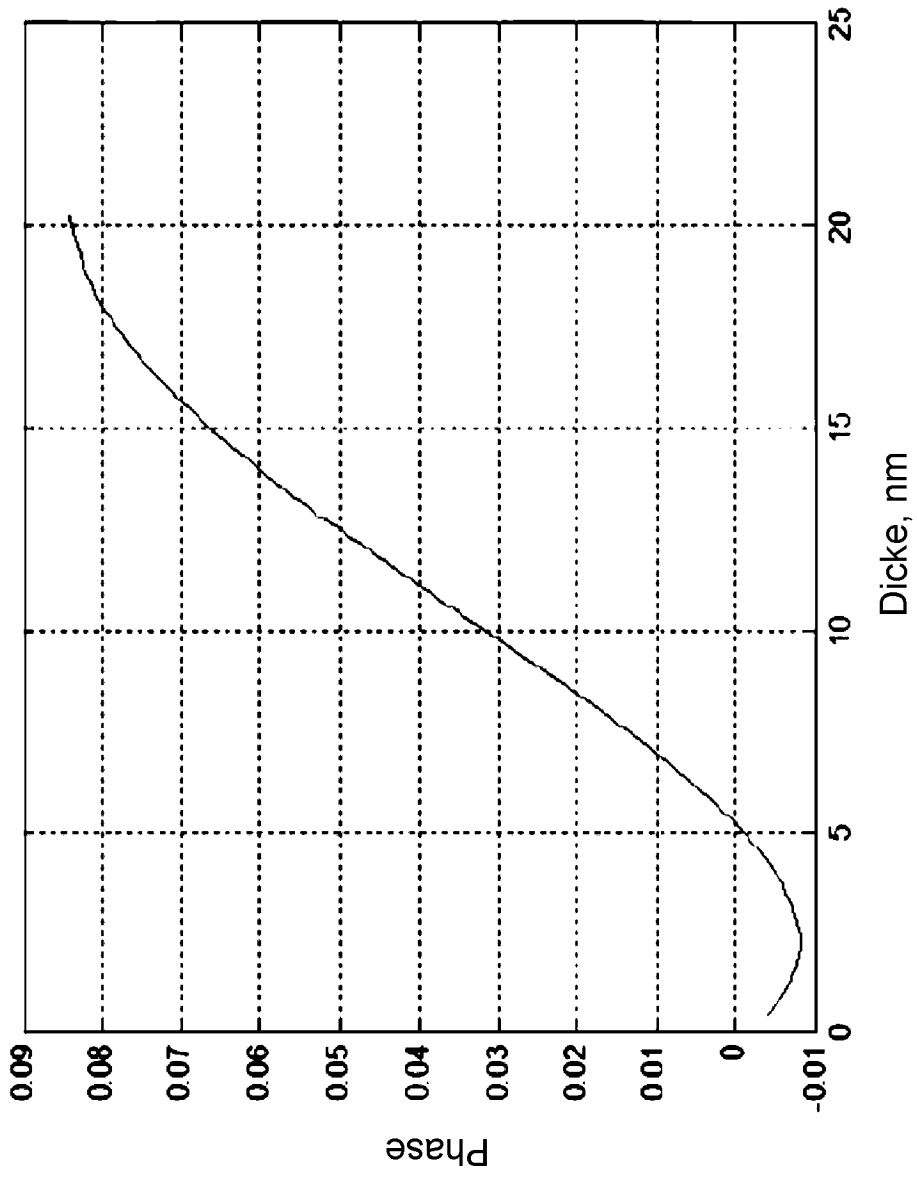


FIG. 8

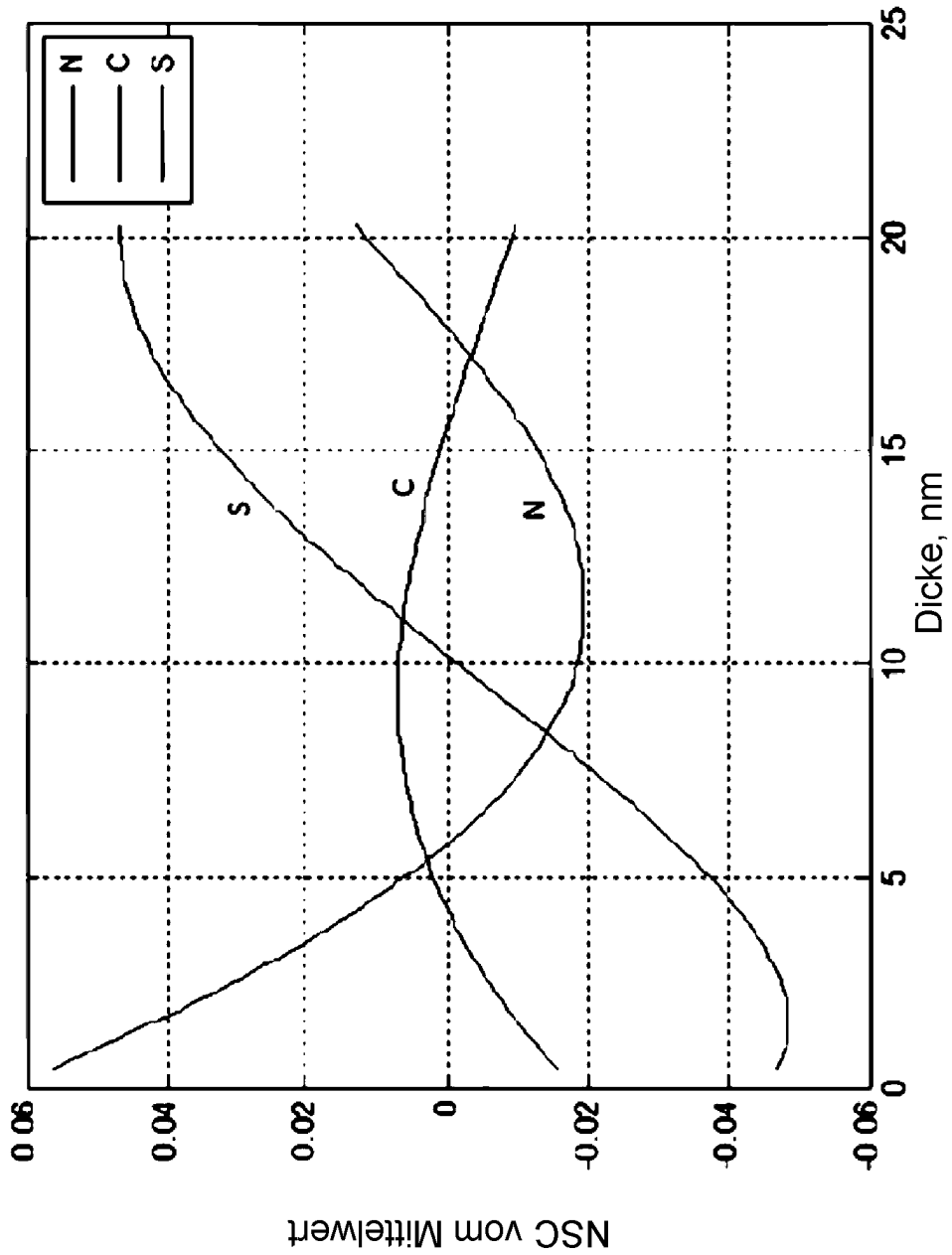


FIG. 9