

Vorrichtung und Verfahren zum Beschichten eines Substrats

B e s c h r e i b u n g

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Beschichten einer Oberfläche eines Substrats gemäß Patentanspruch 1 sowie ein korrespondierendes Verfahren gemäß Patentanspruch 8.

Beim Beschichten von Wafern in Sprühbelackungsanlagen besteht das Problem der homogenen Aufbringung der Beschichtung, insbesondere des Lacks, auf die mittlerweile sehr großflächigen, beispielsweise mit einem Durchmesser von 300mm, Wafer. Als besonders problematisch erweist sich die gleichmäßig Beschichtung von strukturierten Substraten.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Beschichten von Substraten anzugeben, bei welchen eine homogenere Beschichtung erfolgt.

- 2 -

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 8 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei von in der Beschreibung, den Ansprüchen und/oder den Figuren angegebenen Merkmalen. Bei angegebenen Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

Die Erfindung beschreibt eine Anlage und ein Verfahren mit deren Hilfe möglichst homogene, sprühbelackte Schichten an strukturierten Oberflächen abgeschieden werden können. Die Homogenität bezieht sich im Allgemeinen auf sämtlichen Parameter, daher Schichtdicke, chemische Zusammensetzung, etc. Im weiteren Verlauf bezieht sich die Homogenität vor allem auf die Schichtdicke. Eine erfindungsgemäße Erkenntnis liegt insbesondere darin, dass eine Beschichtungskomponente, insbesondere Lack, mit Lösungsmittel verdünnt werden muss und daher relativ „beweglich“ ist. Das Lösungsmittel dient zur Verdünnung der zähflüssigen Beschichtungskomponente. Spätestens beim Verdampfen des Lösungsmittels kann dies zu einer mehr oder weniger rauen Oberfläche führen. Die Erfindung macht sich diese Erkenntnis zu eigen, indem die Phasenübergänge des Beschichtungsmaterials zur Erzeugung einer möglichst homogenen Oberfläche bei der Sprühbelackung, insbesondere durch Druck- und/oder Temperatursteuerung, gezielt angewendet werden.

Die verwendeten Lösungsmittel sind im Allgemeinen von Lack zu Lack unterschiedlich. Im Allgemeinen handelt es sich um organische Lösungsmittel. Erfindungsgemäß bevorzugte Lösungsmittel sind:

- PGMEA
- Diethylether
- Isopropanol

- 3 -

- Hexafluoroethane
- Mesitylene
- Ethanol
- Propanol
- Aceton
- Wasser

Die Vorteile der Erfindung bestehen darin, dass eine einfache, schonende, kostengünstige und effiziente Methode aufgezeigt wird, wie man durch eine Sprühbelackung eine homogene und mit Vorzug glatte Oberfläche erzeugen kann.

Unter einer Phase versteht man einen in sich homogenen Bereich weitgehend gleicher chemischer und physikalischer Eigenschaften, der durch eine Phasengrenze von einer anderen Phase abgetrennt ist.

Unter einer Komponente versteht man eine während der thermodynamischen Betrachtung physikalisch und chemisch nicht mehr teilbare Einheit. Beispiele für Komponenten wären die Elemente des Periodensystems, Moleküle wie Wasser, Ethan, Propan, Butan, Diethlyether oder sogar Makromoleküle wie Proteine. Die im Weiteren betrachteten Lösungsmittel und die in ihnen gelösten Stoffe, erfindungsgemäß vor allem Lacke, sind daher als Komponenten anzusehen.

Unter einem Phasendiagramm verstehen wir eine Darstellung der Existenzbereiche von Phasen als Funktion unterschiedlicher, insbesondere thermodynamischer Parameter, insbesondere als Funktion von Druck und Temperatur.

Die Existenzbereiche der Phasen eines Einkomponentensystems werden in einem Druck-Temperaturdiagramm dargestellt. Fig. 1 zeigt ein symbolisches

- 4 -

Druck-Temperatur Phasendiagramm eines Einkomponentensystems eines beliebigen erfindungsgemäßen Lösungsmittels bei moderaten Temperaturen und Drücken.

Das Verhalten der im weiteren betrachteten Systeme, daher der Lösungsmittel und ihrer gelösten Stoffe, bei extrem tiefen und extrem hohen Temperaturen, sowie bei extrem hohen Drücken ist für die Erfindung nicht von Interesse.

Daher wird das Druck-Temperatur Phasendiagramm vor allem um den Tripelpunkt T herum dargestellt. Die drei Phasenbereiche der festen (s, engl.: solid), der flüssigen (l, engl.: liquid) und der gasförmigen (g, engl.: gaseous) werden durch charakteristische Druck-Temperatur Kurven voneinander getrennt. Die Kurve 1 ist die sogenannte Sublimations- bzw.

Resublimationskurve, welche den Phasenexistenzbereich der festen Phase vom Phasenexistenzbereich der gasförmigen Phase trennt. Die Kurve 2 ist die Verdampfungs- bzw. Kondensationskurve, welche die Menge aller Druck-Temperatur Kombinationen repräsentiert, an denen sich flüssige und gasförmige Phase miteinander im Gleichgewicht befinden. Die Kurve 3 ist die Schmelz- bzw. Erstarrungskurve. Entlang der Kurven befinden sich immer zwei Phasen miteinander im thermodynamischen Gleichgewicht.

Es werden folgende typischen Temperatur- und Druckwerte für die Tripelpunkte einiger Substanzen offenbart:

- Diethylether, (156.93K)
- Aceton, (178.86K)
- Isopropanol, (184.96K)
- Hexafluoroethane (173.08K, 26,60 kPa)
- Wasser (273.16K, 0,6117 kPa),

Der erfindungsgemäß bevorzugte Temperaturbereich zumindest an einer Aufnahme­fläche einer Aufnahmeeinrichtung zur Aufnahme des zu

- 5 -

beschichtenden Substrats liegt daher zwischen 300K und 0K, mit Vorzug zwischen 275K und 0K, mit größerem Vorzug zwischen 250K und 0 K, mit noch größerem Vorzug zwischen 200K und 0K, mit größtem Vorzug zwischen 150K und 0K. Die Kühlung kann beispielsweise elektrisch über Peltierelemente oder über Kühlmittel, im Besonderen Kühlflüssigkeiten und/oder Kühlgasen, erfolgen. Sollte eine Heizung der Aufnahmeeinrichtung nötig sein, erfolgt diese mit Vorzug elektrisch.

Der bevorzugte Druckarbeitsbereich einer erfindungsgemäßen, mit Druck beaufschlagbaren (Sprühbelackungs-)kammer der Vorrichtung liegt zwischen 10^5 Pa und 1 Pa, mit Vorzug zwischen 10^4 Pa und 1Pa, mit größerem Vorzug zwischen 10^3 Pa und 1Pa, mit größtem Vorzug zwischen 10^2 Pa und 1Pa.

Für ein Einkomponentensystem gibt es genau einen Punkt im Druck-Temperatur Phasendiagramm, daher eine Druck-Temperatur Kombination, in welcher sich alle drei Phasen miteinander im thermodynamischen Gleichgewicht befinden. Dieser Punkt wird Tripelpunkt T genannt.

Im Weiteren wird ein Zweikomponentensystem in vereinfachter Form betrachtet. Das Zweikomponentensystem besteht aus einem Lösungsmittel, der ersten Komponente, die im Exzess, also im Überschuss, vorliegt. Die zweite Komponente ist eine Beschichtungskomponente, der im Lösungsmittel gelöste Stoff, erfindungsgemäß mit Vorzug ein Lack. Es ist offensichtlich, dass durch die Einführung einer zweiten Komponente die vollständige und korrekte Darstellung eines thermodynamischen Systems nur in einem Druck-Temperatur-Konzentrationsdiagramm erfolgen kann. Auf Grund der Tatsache, dass wir uns allerdings nur für die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Lösungsmittels interessieren, reicht für die Beschreibung der Erfindung das veränderte Druck-Temperatur Phasendiagramm nach der Lösung des gelösten Stoffs aus (Fig. 2).

- 6 -

Wird einem Lösungsmittel ein gelöster Stoff hinzugegeben, ändern sich die Phasengleichgewichtsgrenzen des Lösungsmittels, welcher nun ein Zweikomponentensystem, ein binäres System ist (Fig. 2). Die Erhöhung des Siedepunktes bei einem gewissen Druck bezeichnet man als die Siedepunkterhöhung. Da diese Siedepunkterhöhung im Allgemeinen für den gesamten Druckbereich entlang der Siedekurve 2 gilt, verschiebt sich die Siedelinie des reinen Lösungsmittels bei Zugabe eines gelösten Stoffes nach rechts. Entsprechend existiert entlang der Erstarrungskurve 3 eine Gefrierpunktserniedrigung, d.h. durch Lösen eines Stoffes verschiebt sich bei konstantem Druck der Gefrierpunkt des Lösungsmittels zu kleineren Temperaturen.

Man bezeichnet die Erniedrigung des Dampfdrucks bei einer gewissen Temperatur als Dampfdruckerniedrigung. Die Dampfdruckerniedrigung und die Siedepunkterhöhung bzw. Gefrierpunktserniedrigung sind meist direkt proportional zueinander. Die Siedepunkterhöhung, die Gefrierpunktserniedrigung und die Dampfdruckerniedrigung hängen ausschließlich von der Konzentration und nicht der Art der gelösten Stoffe ab. Die Fähigkeit eines Stoffes, die physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften eines zweiten Stoffes unabhängig von seiner Chemie, sondern nur durch seiner Menge zu verändern, bezeichnet man als kolligative Eigenschaft.

Das durch die kolligativen Eigenschaften des gelösten Stoffes festgelegte, Druck-Temperatur Phasendiagramm wird als Grundlage für das erfindungsgemäße (Sprühbelackungs-)verfahren herangezogen.

In der Industrie werden bis heute ausschließlich Sprühbelackungsanlagen betrieben, welche die Lösung aus Lösungsmittel und Lack im flüssigen Zustand zerstäuben und bei moderaten Temperaturen und Drücken auf dem Substrat aufbringen. Fig. 3 zeigt den Prozessbereich B (Beschichtung,

- 7 -

insbesondere Belackung) heutiger Sprühbelackungsanlagen. Temperaturen und/oder Drücke können und werden sehr wohl verändert. Allerdings befindet sich das Zweikomponentensystem Lösungsmittel-Lack immer im flüssigen Zustand. Dieser flüssige Zustand bewirkt eine entsprechend niedrige Viskosität. Die niedrige Viskosität wird vor allem durch das Lösungsmittel hervorgerufen. Ein nicht unerheblicher Teil des Lösungsmittels verdampft auch schon während des eigentlichen Sprühvorgangs.

Nach dem eigentlichen Sprühbelackungsvorgang im Prozessbereich B wird das Substrat entweder auf einer eigens dafür vorgesehenen Heizplatte oder direkt auf dem beheizbaren Probenhalter wärmebehandelt. Diese Wärmebehandlung 4 dient dazu, die Verdampfung des Lösungsmittels zu beschleunigen. Vorzugsweise besitzt das zu verdampfende Lösungsmittel dabei eine leichtere Flüchtigkeit, also einen höheren Dampfdruck, als der eigentlich interessante, da die Oberfläche bedeckende, Lack. Durch den kontinuierlichen Entzug des Lösungsmittels und der Wärme härtet der Lack teilweise aus. Bei einigen Lackarten kann ein zusätzlicher, bei höheren Temperaturen stattfindender, Wärmebehandlungsschritt stattfinden.

Der gravierende Nachteil bei dieser Art der Sprühbelackung besteht darin, dass vor und möglicherweise auch während der Verdampfung des Lösungsmittels der Lack an seiner Oberfläche wegen der erhöhten Mobilität des flüssigen Lösungsmittels eine raue Oberfläche bildet.

Der erfindungsgemäße Gedanke beruht darauf, den im Lösungsmittel gelösten Lack nicht im flüssigen Zustand auf die Oberfläche eines, insbesondere strukturierten Substrats, vorzugsweise Wafers, aufzubringen, sondern den Lack bereits während der Beschichtung, insbesondere Sprühbelackung, bzw. während des Auftreffens des Beschichtungsmaterials auf der Oberfläche des Substrats, insbesondere schockartig, einzufrieren (Fig. 4).

- 8 -

Die erfindungsgemäße Ausführung erfolgt dabei in einer speziellen Kammer, in welcher ein Probenhalter vorgesehen ist, der das Substrat aufnehmen und insbesondere gleichzeitig kühlen kann. Des Weiteren ist die Sprühkammer optional als Vakuumkammer ausgelegt, in der der Druck zumindest innerhalb der für die erfindungsgemäßen Phasenübergänge relevanten Druckbereiche reguliert werden kann, insbesondere mittels einer erfindungsgemäßen Steuerungseinrichtung.

Der erfindungsgemäße Prozessfluss wird im Druck-Temperatur Phasendiagramm gemäß Fig. 4 wieder gegeben. Ausgehend von einem Beschichtungsbereich B', an dem das Beschichtungsmaterial noch flüssig ist, erfolgt beim Auftreffen des Beschichtungsmaterials auf den gekühlten Probenhalteroberfläche ein schockartiges Einfrieren (5). Durch das schockartige Einfrieren (5) wird es dem Lack, der im Lösungsmittel gelöst ist, erfindungsgemäß unmöglich gemacht, durch thermische Bewegungen eine raue Oberfläche zu erzeugen.

In einem erfindungsgemäßen weiteren Schritt (6) erfolgt der schonende und bei niedrigen Temperaturen stattfindende Sublimationsübergang des im Beschichtungsmaterial enthaltenen Lösungsmittels in den gasförmigen Zustand, insbesondere ohne die Beschichtungskomponente zu verdampfen. Mit Vorzug ist unter diesen Prozessparametern der Dampfdruck des Lösungsmittels mindestens 1,001 mal so groß, mit Vorzug mindestens 2 mal so groß, mit größerem Vorzug mindestens 10 mal so groß, mit noch größerem Vorzug mindestens 100 mal so groß, mit allergrößtem Vorzug mindestens 1000 mal so groß wie der Dampfdruck der im Lösungsmittel gelösten Beschichtungskomponente. Durch das schonende Sublimieren des Lösungsmittels und die geringen Temperaturen, konzentriert sich das Beschichtungsmaterial immer mehr mit der Beschichtungskomponente auf, da das Lösungsmittel allmählich verdampft. Der Lack setzt sich immer mehr ab, bis ab einem gewissen Punkt das gesamte Lösungsmittel verdampft ist.

Erfindungsgemäß besteht eine entsprechende (Sprühbelackungs-)kammer aus einem, insbesondere kühlbaren (Kühlmittel), Probenhalter und einem vakuumdichten Gehäuse der Kammer, welches evakuiert werden kann. Das erreichbare Vakuum ist insbesondere kleiner als 10^{-1} mbar, mit Vorzug kleiner als 10^{-3} mbar, mit größerem Vorzug kleiner als 10^{-5} mbar, mit noch größerem Vorzug kleiner als 10^{-7} mbar, mit größtem Vorzug kleiner als 10^{-9} mbar.

Bei dem Probenhalter kann es sich insbesondere um einen der folgenden Probenhaltertypen handeln

- Vakuumprobenhalter
- Elektrostatischer Probenhalter
- Magnetischer Probenhalter
- Probenhalter mit mechanischer Klemmung
- Probenhalter mit adhäsiven Oberflächen

In einer besonderen, insbesondere mit der vorbeschriebenen kombinierbaren, Ausführungsform kann die Oberfläche des Wafers über eine Kühldüse (Kühlmittel) auch durch kalte Gase gekühlt werden, kurz bevor und/oder während der Beschichtung. Dies hätte den Vorteil, dass nicht das gesamte Substrat durchgekühlt werden muss, sondern dass die Oberfläche des Substrats kurzzeitig und sehr lokal gekühlt wird, bevor der Lack aufgesprüht wird. Mit Vorzug werden dafür verdampfter, flüssiger Stickstoff oder Helium verwendet. Der gesamte Vorgang wird durch die externe, insbesondere softwaregestützte, Steuerungseinrichtung gesteuert und optimiert. Alle dem Fachmann bekannten grundlegenden Fähigkeiten einer Beschichtungsvorrichtung (insbesondere Sprühbelackungsanlage) werden durch die erfindungsgemäße Verwendung des Prozesses nicht beeinflusst. Die Art und Weise wie die Sprühdüse den gelösten Lack aufbringt, also mit welcher Geschwindigkeit, Bewegung können unverändert bleiben.

In der erfindungsgemäßen (Sprühbelackungs-)kammer befindet sich insbesondere eine zumindest an der Aufnahme­fläche temperaturregulierbare Aufnahmeeinrichtung. Der regulierbare Temperaturbereich der Aufnahmeeinrichtung liegt vorzugsweise zwischen -200°C und 400°C , mit Vorzug zwischen -200°C und 200°C , mit größerem Vorzug zwischen -200°C und 0°C .

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnung. Diese zeigt in:

- Figur 1 ein p-T Phasendiagramm eines Einkomponentensystems,
- Figur 2 ein p-T Phasendiagramm eines erfindungsgemäßen Zweikomponentensystems,
- Figur 3 ein p-T Phasendiagramm eines erfindungsgemäßen Zweikomponentensystems mit einem Verfahren nach dem Stand der Technik,
- Figur 4 ein p-T Phasendiagramm eines erfindungsgemäßen Zweikomponentensystems mit einem erfindungsgemäßen Verfahrensablauf und
- Figur 5 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Die Figuren 1 bis 4 wurden oben zum allgemeinen Teil der Erfindung beschrieben.

- 11 -

Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung einer evakuierbaren Kammer 7 mit einer temperaturregulierbaren, vor allem kühlbaren, Aufnahmeeinrichtung 8, auf deren Aufnahme­fläche 12 sich ein Substrat 9 (insbesondere ein Wafer) befindet. Oberhalb der Aufnahmeeinrichtung 8 sind eine Sprühdüse 11 sowie eine (optionale) Käl­tedüse 10 an einer Halterung 13 angebracht. Die Sprühdüse 11 und die Käl­tedüse 10 sind mit Vorzug unabhängig voneinander durch eine nicht dargestellte Steuerungseinrichtung regelbar/steuerbar und können die gesamte zu beschichtende Oberfläche 9a des Substrats 9 erreichen.

Vorrichtung und Verfahren zum Beschichten eines Substrats

B e z u g s z e i c h e n l i s t e

1	Sublimations- bzw. Resublimationskurve
2	Verdampfungs- bzw. Kondensationskurve
3	Schmelz- bzw. Erstarrungskurve
4	Wärmebehandlung
5	Einfrieren
6	Sublimationsübergang
7	Kammer
8	Aufnahmeeinrichtung
9	Substrat
9o	Oberfläche
10	Kälte­düse
11	Sprühdüse
12	Aufnahme­fläche
13	Halte­rung
s	Feste Phase
l	Flüssige Phase
g	Gasförmige Phase
B	Beschichtung
B'	Beschichtung

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Vorrichtung zum Beschichten einer Oberfläche (9o) eines Substrats (9) mit einem mindestens eine Beschichtungskomponente und mindestens ein Lösungsmittel aufweisenden Beschichtungsmaterial, mit folgenden Merkmalen:

- einer mit einem, insbesondere geringer als die Umgebung einstellbaren, Druck beaufschlagbaren Kammer (7),
- einer Aufnahmeeinrichtung (8) zur Aufnahme des Substrats (9) auf einer Aufnahmefläche (12) und
- einer Sprühdüse (11) zur Beschichtung des Substrats (9), dadurch gekennzeichnet, dass

die Vorrichtung Kühlmittel zur Kühlung zumindest der Oberfläche (9o) des auf der Aufnahmefläche (12) der Aufnahmeeinrichtung (8) aufgenommenen Substrats (9) aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlmittel mindestens eine Kühldüse (10) und/oder eine zumindest an der Aufnahme­fläche (12) kühlbare Aufnahmeeinrichtung (8) umfassen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühldüse (10) oberhalb der Aufnahme­fläche (12) anordenbar oder angeordnet ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine, insbesondere softwaregestützte, Steuerungseinrichtung umfasst, mit der die Sprühdüse (11) und die Kühlmittel, insbesondere separat, ansteuerbar sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlmittel durch die Steuerungseinrichtung derart gesteuert sind, dass das Substrat (9) beim Beschichten zumindest an seiner Oberfläche (9o) eine Temperatur unterhalb der Phasenübergangstemperatur des Beschichtungsmaterials von flüssig zu fest hat.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Steuerungseinrichtung gesteuerte Druckbeaufschlagungsmittel nach dem Beschichten derart gesteuert werden, dass, insbesondere bei annähernd gleichbleibender Temperatur, eine Senkung des Drucks in der Kammer (7) über eine Phasengrenze des Lösungsmittels von fest zu gasförmig erfolgt, während die Phasengrenze der Beschichtungskomponente von fest zu gasförmig nicht überschritten wird.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Messmittel zur Messung der Temperatur an der Substratoberfläche (9o) und/oder an der Aufnahme­fläche (12) und/oder zur Messung des Drucks in der Kammer (7) aufweist.
8. Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche (9o) eines Substrats (9) mit einem mindestens eine Beschichtungskomponente und mindestens ein Lösungsmittel aufweisenden Beschichtungsmaterial, wobei zumindest die Oberfläche (9o) des Substrats (9) während der Beschichtung gekühlt ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem während der Beschichtung der Druck und die Temperatur an der Oberfläche (9o) von einer Steuerungseinrichtung gesteuert werden.
10. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Substrat (9) beim Beschichten zumindest an seiner Oberfläche (9o) eine Temperatur unterhalb der Phasenübergangstemperatur des Beschichtungsmaterials von flüssig zu fest hat.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, wobei nach dem Beschichten, insbesondere bei annähernd gleichbleibender Temperatur an der Oberfläche (9o), durch die Steuerungseinrichtung eine Erhöhung des Drucks über eine Phasengrenze des Lösungsmittels von fest zu gasförmig bewirkt wird, während die Phasengrenze der Beschichtungskomponente von fest zu gasförmig nicht überschritten wird.