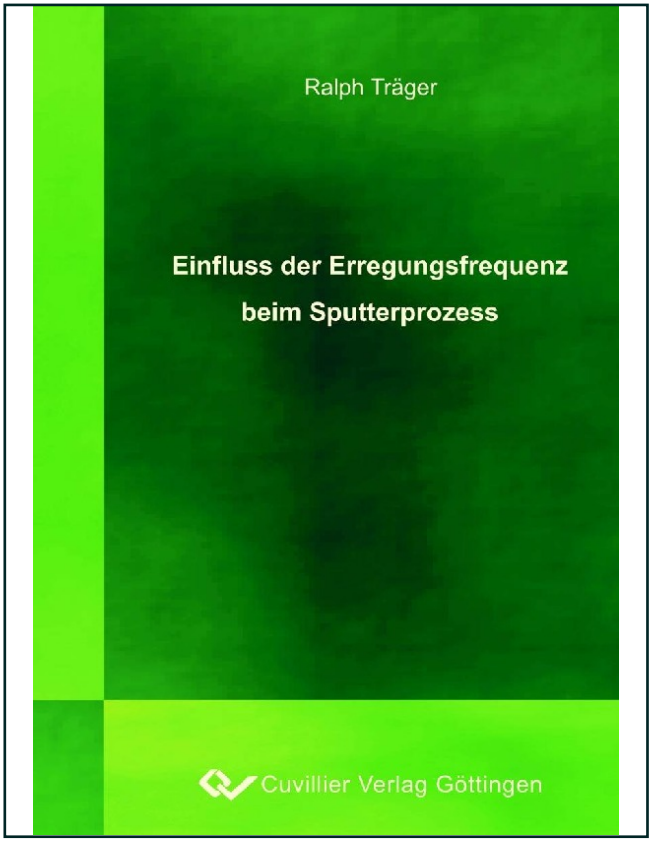
Ralph Träger (Autor)

Einfluss der Erregungsfrequenz beim Sputterprozess



https://cuvillier.de/de/shop/publications/2433

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

1 Einleitung

Die Dünnfilmherstellung mittels Sputterdeposition ist ein schon lange bekannter und heute in der Industrie zur Dünnschichtherstellung, neben der PECVD, dem Aufdampfverfahren und der Laserablation, der am häufigsten verwendete Prozess. In der Halbleiterbranche ist die Sputterdeposition aus keinem Bereich mehr wegzudenken. Seit der ersten Nutzung dieses Verfahrens (1877 von Wright zur Spiegelherstellung) sind die Anforderungen an die Prozesstechnik allerdings enorm gestiegen. Heutzutage müssen reproduzierbar Dünnschichten in der Größenordnung von einigen zehn Nanometern mit möglichst hoher Schichtgüte, z.B. geringer Oberflächenrauhigkeit, aufgebracht werden können. Andere Verfahren verlangen sehr hohe Depositionsraten für maximalen Beschichtungsdurchsatz ohne nennenswerte Erwärmung der Substrates usw. Die optimale Konfiguration der jeweiligen Prozesse zu erreichen gestaltet sich dabei aber schwierig, denn durch eine Vielzahl von Quereinflüssen ist das Schichtergebnis nur schlecht vorhersehbar. Bei der Entwicklung neuer Depositionsprozesse ist man dabei auf viel Erfahrung und empirische Verfahren angewiesen. Die Prozessparameter werden dabei zyklisch verändert, bis sich die gewünschten Schichteigenschaften einstellen. Dabei kommt es aber auch vor, dass ein langjährig benutzter bislang zuverlässiger Prozess ohne erkennbaren Grund seine Eigenschaften verändert und die erzeugten Schichten nicht mehr den Anforderungen entsprechen. Der Hauptgrund dafür ist darin zu suchen, dass die Einflüsse der einzelnen Prozessparameter auf die Schichten nicht erfassbar oder nicht ausreichend erforscht sind.

Einer dieser Parameter beim plasmagestützten Hochfrequenz-Sputterprozess ist die Anregungsfrequenz. Bislang wird in der Industrie hauptsächlich die von der "Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post" (RegTP) freigegebene Frequenz von $13,56\,\mathrm{MHz}$, seltener auch deren erste Oberwelle $27,12\,\mathrm{MHz}$ eingesetzt, weitere Frequenzen werden nur sehr vereinzelt genutzt. In der jüngsten Zeit

ist allerdings auch hauptsächlich in der Architekturglasbeschichtung die Einrichtung von Anlagen mit einer Frequenz von 100 kHz - 500 kHz zu beobachten. Der Einfluss der Anregungsfrequenz auf den Prozess und die Eigenschaften der erzeugten Dünnschichten ist dennoch bislang weitestgehend ungeklärt. Die Wahl der Betriebsfrequenz stammt auch hier aus empirischen Untersuchungen oder langjähriger Erfahrung. Im Bereich der PECVD-Prozesse liegen zwar eine Reihe von Untersuchungen vor, die beispielsweise auf eine Erhöhung der Wachstumsrate und erhöhte Schichtqualität ([Fin94], [How92]) und andere positive Eigenschaften hindeuten ([GA93], [Pla98], [Nov03]), diese Ergebnisse sind allerdings ob der enormen Unterschiede und der schlechten Übertragbarkeit zwischen den Prozessen nur sehr begrenzt auf die Sputterdeposition anwendbar.

Speziell in Hinsicht auf den Sputterprozess an sich und die erzeugten Dünnschichten gibt es bis dato keine wegweisenden Untersuchungen die Anregungsfrequenz betreffend. Die Motivation dieser Arbeit ist es nun, den Einfluss der Anregungsfrequenz auf den Sputterprozess zu klären und so möglicherweise Wege zur Verbesserung bestehender Prozesse über eine Frequenzänderung aufzuzeigen. Dazu wurden Plasma- und Schichtuntersuchungen bei den Frequenzen 150 kHz und 300 kHz, bzw. $13,56$ MHz, $27,12$ MHz und $35,2$ MHz durchgeführt.

Um den Prozess möglichst gut charakterisieren zu können, wurde ein auf einem elektrischen Modell der Entladung basierendes Verfahren nach der von *Keller und Pennebaker* [Kel79a] vorgestellten Methode zur Abschätzung des Plasmapotentials zur Bestimmung relevanter Potentiale eingesetzt (Kapitel 2.3.2). Dadurch kann aus den elektrischen Eigenschaften direkt auf wichtige Größen wie z.B. die Ionenenergie geschlossen werden. Außerdem wurde eine weitergehende Untersuchung des Plasmas mittels Langmuirsondenmessungen (Kapitel 6.3) unternommen.

Als zu deponierendes Material wurde eine ternäre Legierung, NiCrAl, ein Material für die Herstellung von Dünnschichtwiderständen, gewählt (Kapitel 5), da dessen physikalische Eigenschaften besonders empfindlich auf Veränderungen der Prozessparameter reagieren und eine relativ einfache Schichtdiagnose ermöglichen. Zur Schichtcharakterisierung wurden zum einen die elektrischen Eigenschaften

wie Spezifischer Widerstand und Temperaturkoeffizient bestimmt, zum anderen weitergehende Untersuchungen mittels XRD, EDX und AFM unternommen.

In Bezug auf die Plasmaerzeugung musste auf diskrete Frequenzen bzw. HF-Generatoren zurückgegriffen werden (Kapitel 6.1.2), da zum einen kontinuierliche Quellen mit hoher Leistung für diesen Frequenzbereich nicht zur Verfügung standen und zum anderen für jede untersuchte Frequenz eine separate Kalibrierung für das Messsystem notwendig ist. Für den Bereich unterhalb der Plasmaionenfrequenz ω_{pi} (Kapitel 2.3.1) wurde für die Frequenzen 150 kHz und 300 kHz ein durchstimmbarer Generator, oberhalb ω_{pi} für die Frequenzen $13,56$ MHz und $27,12$ MHz jeweils ein separates kommerzielles System verwandt. Für eine weitere Frequenz, $35,2$ MHz, wurde ein entsprechender Hochfrequenzsender und ein Verstärker aus dem 27 MHz Bereich entsprechend umgebaut.

Da die Ergebnisse, wie im Beschichtungsprozess häufig zu beobachten, stark streuen, wurde zur Auswertung der Daten auf eine in der Industrie häufig verwandte statistische Methode, die "Versuchsplanung" oder "Design of Experiments" (Kapitel 4), zurückgegriffen, bei der nach Aufstellung und Abarbeitung eines Versuchsplans und nach Auswertung mittels multipler Regression und Varianzanalyse die Ergebnisse als so genannte "Wirkungsflächen" vorliegen. Dabei können zum einen die Effekte der einzelnen Prozessparameter isoliert werden, zum anderen ergibt sich dadurch ein mathematischer Zusammenhang zwischen den Eingangsparametern und der untersuchten Größe.