

Charakterisierung von CVD/ALD Schichten mit Impedanzsensorik

Konrad Hasche, Michael Hintz, Stefan Völlmeke, Arndt Steinke und Ingo Tobehn

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, Konrad-Zuse-Straße 14,
99099 Erfurt, Deutschland

Zusammenfassung

Am CiS entwickeln wir eine zerstörungsfreie und letztendlich auch berührungsfreie Methode, CVD und ALD Schichten, wie sie z.B. im Herstellungsprozessen der Halbleiterindustrie etabliert sind, im Herstellungsprozess zu monitoren und sie bezüglich ihrer Dicken bzw. relativen Permittivitäten zu scannen. Hierzu verwenden wir modifizierte Interdigitalstrukturen mit wenigen μm Abstand, deren Herstellung das CiS schon lange beherrscht – z.B. zur Produktion von Feuchtesensoren.

1 Grundprinzip der Messungen

Für die Messungen wird *keine* Anordnung verwendet die die Struktur eines Plattenkondensators besitzt, in den man das zu messende Medium zwischen die Platten (Elektroden) einbringen muss *sondern* eine planare Interdigitalstruktur in Mikrosystemtechnik. Diese planare Elektrodenstruktur kann parallel zur Oberfläche des zu messenden Mediums positioniert werden, so dass das elektrische Feld dieses mit erfasst. Dazu wird die Frequenz des angelegten Feldes von ca. 1 kHz bis hinauf zu einigen MHz gesweept und entsprechende aussagefähige Messgrößen wie die Kapazität, der Phasenwinkel oder der komplexe Widerstand in einem Impedanzspektrum dargestellt. In diesem Kontext ist beabsichtigt, die Anordnung dahingehend zu modifizieren, dass auch Messungen bei höheren Frequenzen möglich sind.

Je nach Dicke der aufgetragenen Schicht wird von dem elektrischen Feld auch noch ein Bereich des Trägermaterials erfasst, das sich hinsichtlich seiner stofflichen Eigenschaften wie z.B. der relativen Permittivität ϵ_r unterscheidet. Dies hat zur Folge, dass die vom Sensor erfasste Messgröße sich aus beiden Bestandteilen zusammensetzt. Wenn die Beschichtung vollkommen fehlt wird z.B. ein Messsignal generiert, das nur durch die relative Permittivität des Trägermaterials beeinflusst wird; ist die Schichtdicke im anderen Extremfall sehr hoch kann der Anteil des Trägermaterials vernachlässigt werden, so dass nur die Beschichtung zum Messsignal beiträgt.

In diesem Zusammenhang wurden mit dem Programm Ansys® zahlreiche Simulationen durchgeführt, wobei die Eigenschaften des Trägermaterials, die Beschichtungen und auch die Geometrie der Interdigitalstrukturen variiert wurden. Generell muss es sich bei den funktionalen Abhängigkeiten wie z.B. Kapazität(Schichtdicke) um stetige Funktionen handeln, so dass man anhand einer ausreichenden Anzahl von Stützpunkten geschlossene analytische Ausdrücke angeben kann, die numerisch ermittelt werden können. In dem **Bild 1** und **Bild 2** wurden zur Simulation jeweils als Trägermaterial Siliziumdioxid mit $\epsilon_r = 4.0$ angenommen und eine Beschichtung mit $\epsilon_r = 80$, was z.B. TiO_2 entspricht. Zunächst wurde davon ausgegangen, dass der Sensor direkt auf dem zu messenden Wafer aufliegt. Die Tatsache, dass in der Praxis immer zusätzlich ein kleiner Luftspalt vorhanden ist erscheint für die Praxis letztendlich nicht relevant, da das Verfahren ohnehin nur durch Differenzmessungen praktikabel ist. In nachfolgenden Sensoraufbauten soll ohnehin durch einen zusätzlichen integrierten optischen Sensor gewährleistet werden, dass das Verfahren kontaktlos arbeitet, der Messkopf also immer einen geringfügigen Abstand zum Messobjekt besitzt. Zurzeit wird mit Hilfe eines integrierten Drucksensors, der in diesem Falle als Berührungssensor fungiert, gewährleistet, dass der Sensor auf der Oberfläche aufliegt.

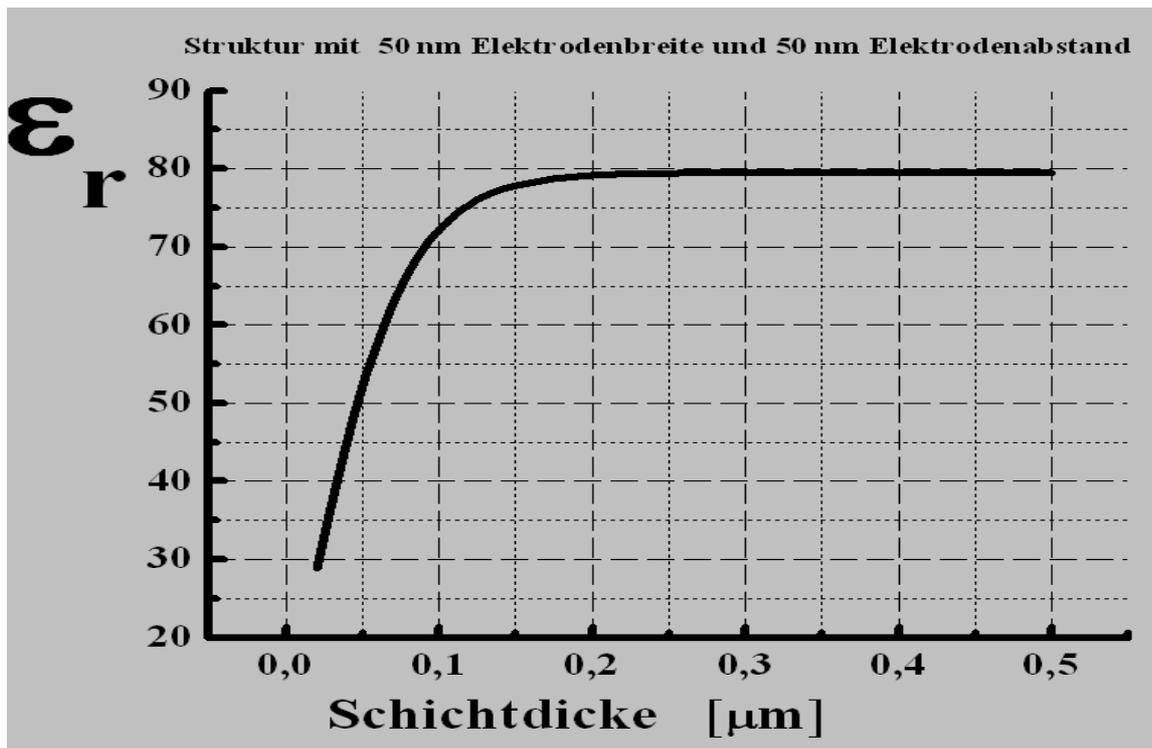


Bild 1 Relative Permittivität ϵ_r als Funktion der Schichtdicke mit einer Interdigitalstruktur von 50 nm Elektrodenbreite und 50 nm Elektrodenabstand

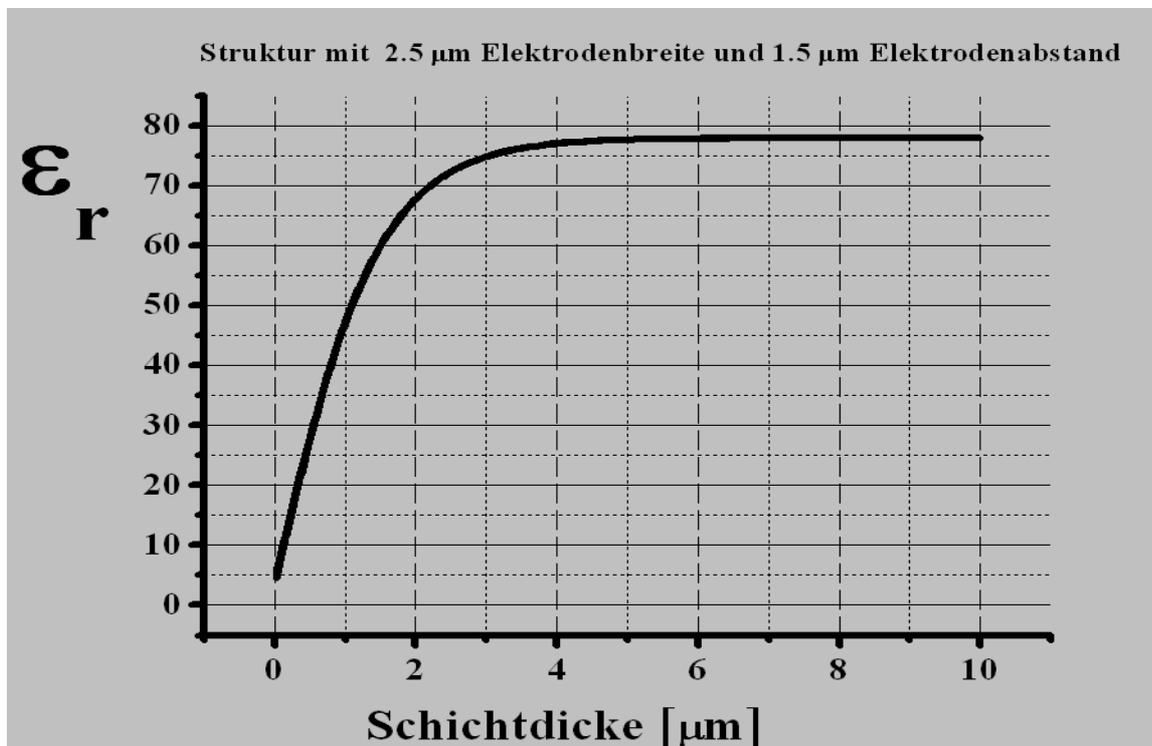


Bild 2 Relative Permittivität ϵ_r als Funktion der Schichtdicke mit einer Interdigitalstruktur von 2.5 μm Elektrodenbreite und 1.5 μm Elektrodenabstand

2 Experimenteller Aufbau

Als grundlegendes Element wurde eine neuartige Mesa – Struktur verwendet, bei der die Interdigitalstruktur sich auf einem Plateau befindet, das ca. 200 μm über dem restlichen Chip erhaben ist wie aus **Bild 3** ersichtlich [1]. Damit ist gewährleistet, dass die sensitive Ebene des Sensors auch wirklich auf dem Prüfling aufliegen kann. Die Metallisierung (2 μm bis 20 μm Leiterbahnabstand je nach Sensor) besteht aus MoSi_2 und wird durch eine planarisierte Passivierung aus SiO_2 und Si_xN_y bedeckt.

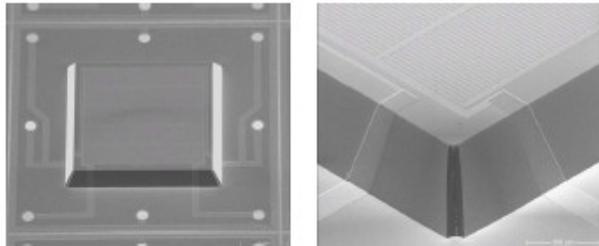


Bild 3 Planare Mesa Interdigitalstruktur [1]

Die wesentlichen Komponenten des Aufbaus sind in **Bild 4** ersichtlich. Der Sensorträger ist an der z-Achse eines CNC Tisches befestigt und kann auf den zu messenden Wafer abgesenkt werden. In dem Sensorträger befindet sich außer der Interdigitalstruktur ein modifizierter Drucksensor aus CiS Produktion (CDW 02) [2] als Steuerkomponente, der mit elastischem Material vergossen wurde und in Zukunft auch den CNC – Tisch steuern soll. Auf diese Weise soll der Wafer durchgescannt werden zur Erreichung einer besseren statistischen Relevanz. Der Chuck zur Aufnahme der 4'' Wafer ist aus PEEK (Polyetheretherketon) gefertigt. Die verwendeten Wafer besitzen Beschichtungen aus Al_2O_3 , YSZ, TiO_2 oder SrTiO_3 mit Dicken von 50, 100, 200 und 500 nm und relativen Permittivitäten ϵ_r zwischen 10 und 150. Die Beschichtungen fanden durch das Fraunhofer IKTS in Dresden statt [3].

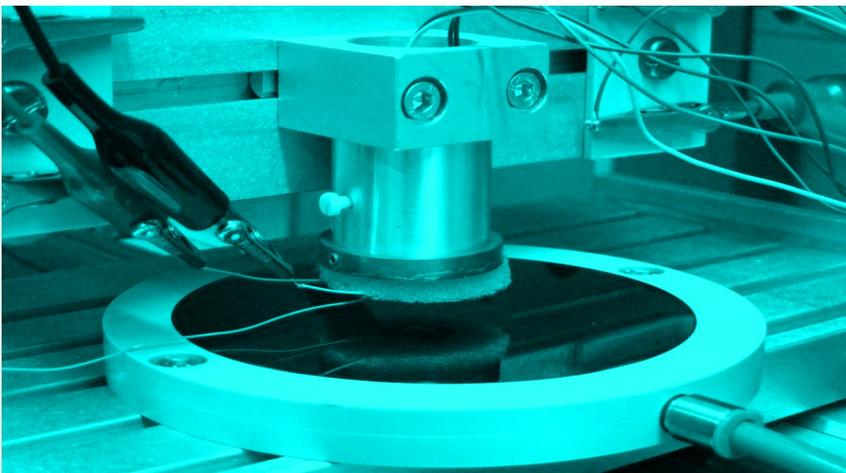


Bild 4 Experimenteller Aufbau; Beschreibung der Komponenten siehe Text

3 Vorläufige Resultate

In **Bild 5** sind Messungen dargestellt, die mit einer Interdigitalstruktur mit $10\ \mu\text{m}$ Elektrodenabstand und einer Elektrodenbreite von $7\ \mu\text{m}$ durchgeführt wurden. Zur Aufnahme der unteren Kurve befand sich der Sensorkopf ca. $3\ \text{cm}$ über dem Wafer, womit das wirksame Dielektrikum in diesem Fall nur Luft war. Für die Aufnahme der oberen Kurve wurde der Sensor direkt auf dem Siliziumwafer platziert, der in diesem Fall mit $47\ \text{nm}$ SrTiO_3 beschichtet war.

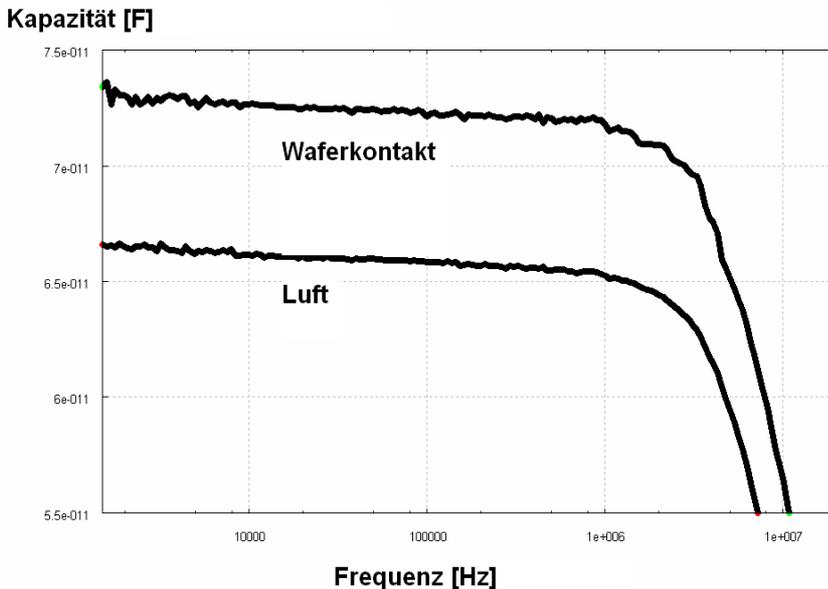


Bild 5 Kapazität C_p als Funktion der Frequenz ohne Wafer (unten) und mit beschichtetem Wafer ($47\ \text{nm}$ SrTiO_3 mit $\epsilon_r \sim 150$)

Zur Optimierung und besseren Herausarbeitung des Messeffektes in Abhängigkeit von der Dicke der Beschichtung und dessen Permittivität sind noch weitere Modifikationen am Messaufbau und Simulationen notwendig.

Literatur

- [1] S.Völlmeke, K.D.Preuß, A.Steinke: Technologiekompatible 3D- Strukturierung zur Herstellung integrierter Mikrosysteme, Technologien und Werkstoffe der Mikrosystem- und Nanotechnik: 2. GMM Workshop, 10./11. Mai 2010, Darmstadt, S.19
- [2] CiS Forschungsintitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, Konrad-Zuse-Straße 14, D-99099 Erfurt, Germany: http://www.cismst.org/fileadmin/user_upload/publikationen/mems_info.pdf,2011
- [3] Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems, Winterbergstraße 28, D-01277 Dresden: <http://www.ikts.fraunhofer.de/forschungsfelder/intelligentematerialiensysteme/funktionsschichten/mikroelektronik/nanoskaligealddsolgel/index.jsp>,2011