



TU Berlin Fakultät IV  
Fachgebiet Halbleiterbauelemente  
Praktikum Technologie und Bauelemente der Halbleitertechnik

# **Praktikum Technologie und Bauelemente der Halbleitertechnik**

Dirk Barbendererde (321 836)

Thomas Kapa ()

Alona Siebert ()

zg Dogan (326 048)

10. September 2012

Gruppe 1

Betreuer:

Clemens Helfmeier

Philipp Scholz

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Herstellung eines pn-Übergangs</b>	<b>1</b>
2.1	Herstellungsschritte	1
2.1.1	Wafer vorbereiten	1
2.2	Tagesgliederung	4
2.2.1	1. Tag	4
2.2.2	2. Tag	9

### 1 Einleitung

Die fortschreitende Miniaturisierung mikroelektronischer Bauteile hat uns den Übergang zur planartechnologischen Herstellung von Transistoren und Integrierten Schaltungen ermöglicht. Der Grundbaustein der Planartechnologie ist ein pn-Übergang.

Innerhalb dieses Praktikums wird eine pn-Diode (die einfachste Form eines pn-Übergangs) im Reinraum hergestellt und es werden ihre Eigenschaften untersucht und gemessen.

Die Herstellung einer Diode erfolgt in einem mehrstufigen Prozess. Als erstes wird ein Wafer (s. Abb. 1) aus dem Silizium hergestellt und als Ausgangsmaterial für weitere Prozessschritte benutzt. Danach werden dünne Schichten aus Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften schichtweise auf diesem Siliciumsubstrat (Wafer) aufgebaut und durch verschiedene Verfahren wie Lithographie und Ätzen bearbeitet.

## 2 Herstellung eines pn-Übergangs

### 2.1 Herstellungsschritte

#### 2.1.1 Wafer vorbereiten

Vorbereitung der Wafer und Nummerierung:

Einige Schritte der Waferherstellung waren bereits schon vor unserem Praktikum durch die betreuenden Labormitarbeiter durchgeführt.

Die an sich runden Wafer haben zwei Flats: großes tieferes Flat gibt die Kristallrichtung des monokristallinen Wafers an und das kleinere Flat gibt den Dotierstoff an. Die für unser Praktikum verwendeten Wafer haben p-Type Substrat und wurden mit Bor vordotiert.

Danach wurde jeder Wafer auf der Rückseite nummeriert (s. 1). Die Nummern waren 120501, 120502 und 120503.

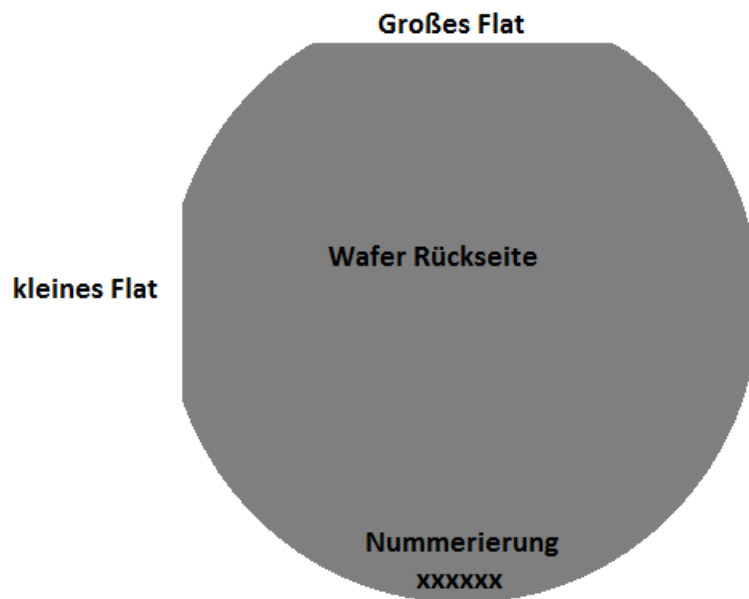


Abb. 1: Schema für die Beschriftung

### Reinigung:

Die Wafer wurden nun vor dem Herstellungsprozess gereinigt. Diesen Schritt braucht man, um diverse kleine Partikel aus der umgebenden Luft, die sich auf der Oberfläche des Wafers ablagern, zu entfernen. Außerdem können metallische Rückstände bei der Nummerierung der Wafer auftreten.

Es wurde ein RCA-Reinigungsprozess verwendet, der aus zwei Schritten besteht: Standard-Clean 1 und Standard-Clean 2 (SC1 SC2).

SC1 wird zum Entfernen von organischen Resten verwendet: Wafer wird 10 Minuten lang in einer Lösung, bestehend aus dem deionisierten Wasser  $H_2O$ , Ammoniak  $NH_4+OH$  und Wasserstoffperoxid  $H_2O_2$  im Verhältnis 5 : 1 : 1, gespült.

Außerdem wurde ein HF-Dip mit 1 SC2 zum Entfernen von metallischen Resten benutzt. Dafür wird der Wafer mit einer wässrigen Lösung aus Salzsäure und Wasserstoffperoxid im Verhältnis 6 : 1 : 1 behandelt.

Dabei soll man unbedingt die Warnhinweise beachten. Da bei der Reinigung verwendete Lösungen sehr gefährlich (sehr giftig und stark ätzend) sein können, muss man unbedingt bei der Arbeit mit diesen Lösungen geeignete Schutzbekleidung und geeignete Schutzhandschuhe tragen. Beim Kontakt mit diesen Lösungen soll man sofort gründlich mit Wasser abspülen und den Arzt konsultieren.

### Oxidieren:

Nach der Reinigung waren die Wafer mit einer dünnen chemischen Oxidschicht ( $SiO_2$ ) bedeckt. Da diese Schicht zu dünn ist, wird ein RTP-Prozess

(Rapid Thermal Processing) benötigt. Der Wafer wurde auf ca. 1200 °C erhitzt. Die umgebende Luft reagiert mit den Si-Atomen auf der Oberfläche und es bildet sich dabei eine ca. 60 nm -dicke Siliziumoxid-Schicht. Danach wurde ein PECVD Prozess (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) benutzt: Es scheidet sich die Oxidschicht auf der Oberfläche ab, die 250nm dick ist.

Bei der PECVD erfolgt die Abscheidung von dünnen Schichten durch eine chemische Aktivierung des Reaktionsprozesses, die durch ein Plasma unterstützt wird.

Für die Schichtbildung werden die Ausgangsstoffe als Gasgemisch in einen Rezipienten eingelassen. Durch erhitztes Plasma werden die Bindungen des Reaktionsgases aufgebrochen und in Radikale zersetzt, die sich auf dem Substrat niederschlagen und dort die chemische Abscheidereaktion bewirken.

Der PECVD-Prozess lief unter 400°C ab.

Die Oxiddickenmessung danach ergab ca. 400nm.

Nach dem PECVD- Prozess wurde noch mal RTP-Tempnern benötigt, um das Oxid in das Gitter einzufügen und damit das Oxid an der Oberfläche des Substrats gut haften kann. Bei RTP wurde der Wafer 120 Sekunden lang auf 1000°C erhitzt.

Die Oxiddickenmessung mit dem Photometer danach ergab ca. 420nm.

Lithographie:

Bei dem lithographischen Prozess wurden die Strukturen für die Diffusion der n-Wannen vorbereitet.

Als erstes werden die Wafer von den möglichen Wasser- und Flüssigkeitsresten befreit. Dafür wird der Wafer 30 min. lang bei 200°C auf einer Heizplatte erhitzt.

HMDS:

Außerdem hilft es ein Haftmittel HMDS (Hexamethyldisilazan) auf den Wafer aufzutragen:

die Wafer werden in eine Vakuumblocke gelegt, es muss 30 Sekunden lang abgepumpt werden, um das Vakuum zu erzeugen.

HMDS lagert sich an der Oberfläche des Wafers ab (die Dauer beträgt 5 min).

Anschließend werden die Wafer eine Minute lang auf der Heizplatte getrocknet.

Belackern Softbake:

Die Wafer werden auf einen Schleuderapparat gelegt und mit dem AZ 5214 Lack beschichtet. Mit dem Schleuderprogramm werden die Wafer auf 4000 U/min beschleunigt.

Nach der 20-minütigen Pause werden die Wafer bei 90°C zwei min. lang getrocknet, damit der Lack fest wird.

Belichten:

Nun werden die Wafer mit der Active Area Mask (AA-Maske) abgedeckt und vier Sek. belichtet.

Entwickeln Hardbake:

Nach der Belichtung wurde der Lack in einer Rohm Haas - Lösung 70 Sekunden lang entwickelt.

Danach wurden alle Wafer auf einer Heizplatte unter 120°C 5 min. lang erhitzt, damit der restlicher Lack gegen Ätzmittel noch resistenter wird.

Die Inspektion mit dem Fotometer ergab die Dicke des Photolackes ca. 1.9 µm.

Nass-chemisches Ätzen:

Mit dem Nass-chemischen Ätzen werden die Fenster zum Substrat weggeätzt.

Die Wafer wurden in der BHF-Lösung (mit Ammoniumfluorid gepufferte Flusssäure) ca. 6.5 min. gehalten.

Fotolack entfernen:

Der Lack wurde mit Caro's Etch - Lösung entfernt, indem die Wafer für 10 min. lang in diese Lösung eingetaucht wurden.

Die Abbildung 2 zeigt die Struktur, wie wir unsere Wafer als Ausgangsmaterial für unseres Praktikum erhalten haben:



Abb. 2: Ausgangsstruktur

## 2.2 Tagesgliederung

### 2.2.1 1. Tag

Verhaltensregeln in dem Reinraum:

Als erstes, vor dem Eintritt in Reinraum, erhielten alle Teilnehmer eine Sicherheits-einweisung vom Herrn Bruhns, dem Laborleiter. Die Vorschrift ist: Schutzoveralls, spezielle Schuhe, die eine Erdung zum Boden enthalten, und Handschuhe zu tragen. Bei der Arbeit mit Chemikalien müssen die Augen zusätzlich geschützt werden. Dazu kann man entweder die Gesichtsschutzmaske oder die Brille tragen. Essen und Trinken im Reinraum sind streng verboten. Außerdem sollte das Verlassen und Wiederbetreten möglichst vermieden werden, da bei jedem Betreten die Partikeln eingeschleppt werden können, die die Reinheit des Labors vermindern.

Weil mit den toxischen Substanzen gearbeitet wird, dürfen die Schwangeren das Praktikum nicht durchführen.



Abb. 3: Teilnehmer

### 1. Dotierlösung aufbringen:

Als erstes haben wir unsere drei Wafer unter dem Lichtmikroskop untersucht, um die Struktur der Wafer zu sehen. Da die Oxide das Licht reflektieren, daher ist auch die grüne Farbe im Mikroskop zu sehen (s. Abb. 4) Es wurden keine großen Schäden gefunden.

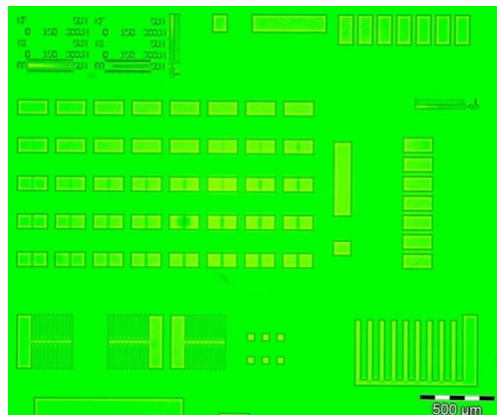


Abb. 4: Mikroskopaufnahme

Nun wird der Dotierstoff Phosphorus p 509 aufgetragen.

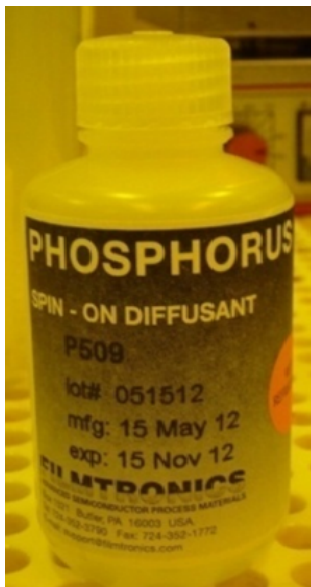


Abb. 5: Phosphor



Abb. 6: Auftragen des Dotierstoffes

Um gleichmäßige Verteilung des Dotierstoffes zu bekommen, wurde die Auftragung der Phosphorlösung mit einem Lackschleuderbeschichtungsapparat (s. Abb.) durchgeführt.

Auf einem Drehtisch wird der Wafer zentral justiert und mittels Vakuum fixiert, damit der Wafer bei der Drehung am Teller gut haftet. Mit Hilfe von Dispenser (die zwei Mal gedrückt wurde) wird der Dotierstoff auf den Wafer getropft. Danach muss der Wafer sofort in Rotation gebracht werden, um eine ebenmäßige Dotierstoffschicht zu bekommen. Bei der Rotation wird die überflüssige Stoffmenge von der Scheibe weggeschleudert.



## 2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

---

Es bleibt nur eine sehr dünne Phosphorschicht auf dem Wafer.

Bedingungen beim Aufschleudern der Phosphorlösung:

Programm 4

2500 U/min (Anzeige 250)

2 ml Lösung

Bemerkung: der Wafer 120503 wurde doppelt mit dem Dotierstoff beschichtet (ca. 4 ml).

Anschließend wurden alle drei Wafer auf der Heizplatte 15 Minuten lang bei 200 °C gebacken. Bei diesem Prozessschritt bildet sich ein Phosphorglas (Silikat). Dabei wurde eine Dampfwolke beobachtet.

Das Ergebnis nach diesem Vorgang ist in der Abbildung 7 zu sehen.

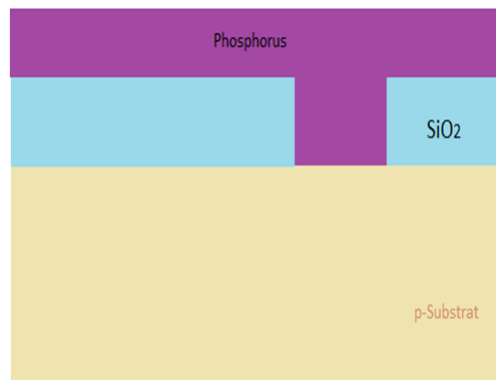


Abb. 7: Wafer bedeckt mit Phosphorglas

Eine Sichtkontrolle mit dem Lichtmikroskop hat uns folgendes ausgegeben:

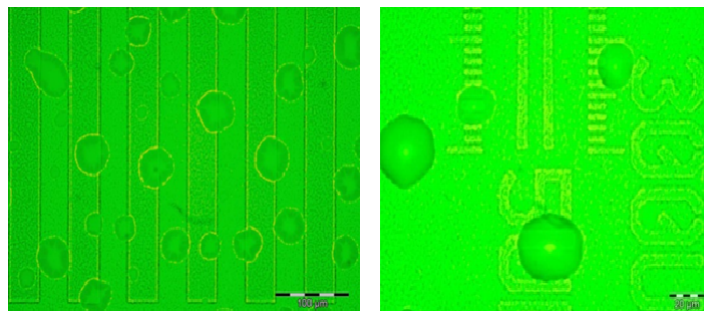


Abb. 8: Bläschen Wafer 01

Zu beobachten war:

Bei dem Wafer 02 waren Bläschen stärker, der Wafer 03 hatte fast gar keine

## 2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

---

Bläschen, die Struktur war ebenmäßiger und er enthielt so viel Dotierstoff, dass die Fenster kaum zu sehen waren. Der Wafer 01 hatte große Bläschen, die ständig ihre Form verändert haben.

2 Diffusionsofen:

Jetzt kommen die Wafer in den Diffusionsofen.

Als erstes wurden die Wafer so in dem Quarzschiffchen einsortiert, dass sich die Vorderseiten der Wafer 01 und 02 gegenüber stehen. Wafer 03 wurde einsam auf der anderen Seite des Quarzschiffchens platziert.

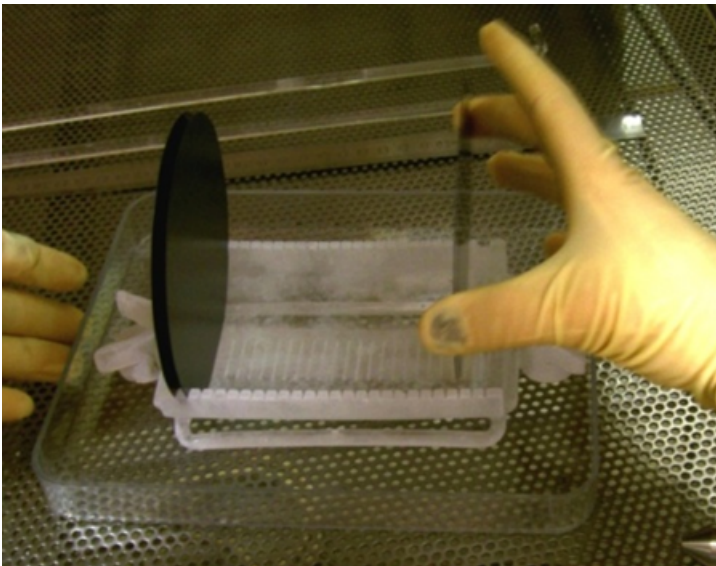


Abb. 9: Quarzschiffchen



Abb. 10: Einbringen in den Diffusionsofen

Dann wird das Schlitten 65 cm tief im Ofen platziert, damit die Wafer sich möglichst in der Ofenmitte befinden. Zum Abschluss wurde anschließend noch ein Quarzhohlzylinder in den Ofen geschoben, um die Temperaturhaltung zu verbessern. Der Prozess der Diffusion findet unter dem Durchströmen des Diffusionsofens mit dem Prozessgas für zehn min. bei der Temperatur von 1000 °C.



Abb. 11: Diffusionssofen

Nach dem Diffusionsprozess verblieben die Wafer noch zum langsamen Auskühlen über die Nacht im Ofen.

Nach der Diffusion sieht unsere Struktur so aus wie in Abb. 12:

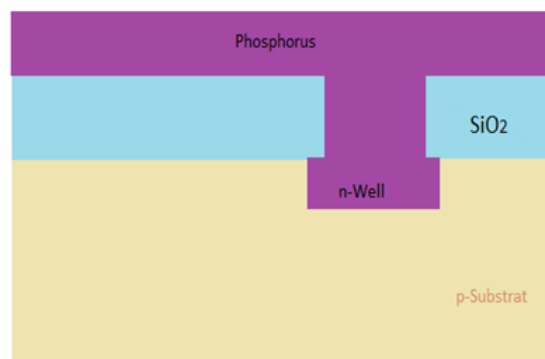


Abb. 12: Struktur nach Diffusionssofen

### 2.2.2 2. Tag

Am zweiten Tag haben wir unsere Wafer aus dem Ofen genommen. Dabei haben wir beobachtet, dass der Wafer 03 glänzend und der Wafer 01 und 02 matt waren. Danach wurden alle Wafer einer Sichtkontrolle unter dem Mikroskop unterzogen und mit dem Photometer wurde die Schichtdicke gemessen.

Photometer: Das Photometer Ergolux besteht aus einem Mikroskop mit einem Aufsatz, der Licht bestimmter Wellenlängen (zwischen 400 nm und 800 nm ) auf den Wafer strahlt und über die Reflexion der Lichtquanten der unterschiedlichen Wellenlängen den Aufschluss über die Schichtdicke gibt.

## 2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

---

Zur Kalibrierung muss das Photometer mit einer Musterprobe justiert werden (mit dem Flat nach unten): die Musterprobe (ein nicht beschichteter Siliziumwafer) soll auf den Objekthalter so platziert werden, damit man die Bildschärfe einstellen kann. Dann startet man das Programm Justage. Danach wird es ohne Musterprobe auf dem Objekthalter noch mal gestartet.

Nur dann können wir unsere Wafer messen.

Die Messergebnisse für unsere drei Wafer sind in der Tabelle unten zusammengefasst.

Wafer	oben	mittig	unten	links	rechts
120501	82.3	78.1	86.8	85.4	73.2
120503	770.1	784.8	765.3	764.8	776.2

Tab. 1: gemessene Phosphorglasdicke in nm