



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

1 Einleitung	1
2 Herstellung eines pn-Übergangs	1
2.1 Herstellungsschritte	1
2.1.1 Wafer vorbereiten	1
2.1.2 3.Tag	7
2.1.3 4.Tag	15

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

Nachdem die Wafer getrocknet waren, wurden sie mit einem Positivlack AZ 5214 beschichtet (s. Abb. 1). Beim Drehen der Schleuder, wenn sich der Lack ausbreitet, beobachtet man die farbigen Wellen. Es sind die Interferenzwellen von den Lackschichten. Je länger die Schleuderzeit ist, desto gleichmäßiger ist die Lackschicht.

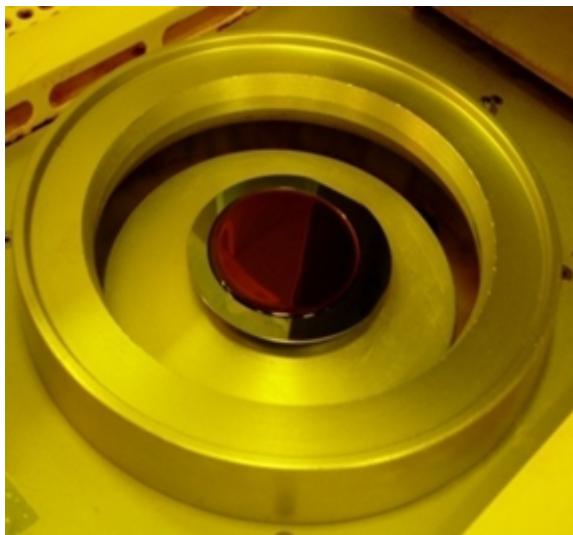


Abb. 1: Beschichtung des Wafers



Abb. 2: Lackflasche

Nach dem Lackieren muss der Wafer 30 Minuten lang in der halboffenen Schachtel ruhen, damit die Gasbläschen rauskommen und der Lack in

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

die kleinsten Rauigkeiten der Oberfläche eindringen kann. Anschließend wurden die Wafer bei 90°C zwei Minuten auf der Heizplatte erhitzt, um den Lack zu fixieren. Sehr wichtig, dass die Wafer sehr langsam abkühlen müssen!

Belichten mit der KF-Maske:

Das Belichten des Wafers erfolgt auf dem Maskenjustierer(s.Abb.): Dieser Lithographie-Apparat hat die Belichtungshaube, darunter ist der Waferhalter und Maskenhalter, Mikroskop mit einer CCD-Kamera und einem Bildschirm. Ganz wichtig ist es, dass die Maske und der Wafer genau übereinander liegen, damit der Wafer an den nötigen Stellen belichtet werden kann.

Als erstes wurde Maskenjustierer angeschaltet und die Lampe vorgewärmt. Auf dem Bildschirm kann man die unten erscheinenden Anleitungen befolgen. Weiter wurde die Maske geladen und mit dem Vakuum festgehalten. Die KF-Maske wurde genau an der AA-Maske justiert (man kann die Justierung in der Abbildung 4 sehen, wo die Kreuze übereinanderliegen).



Abb. 3: Justierung der Maske

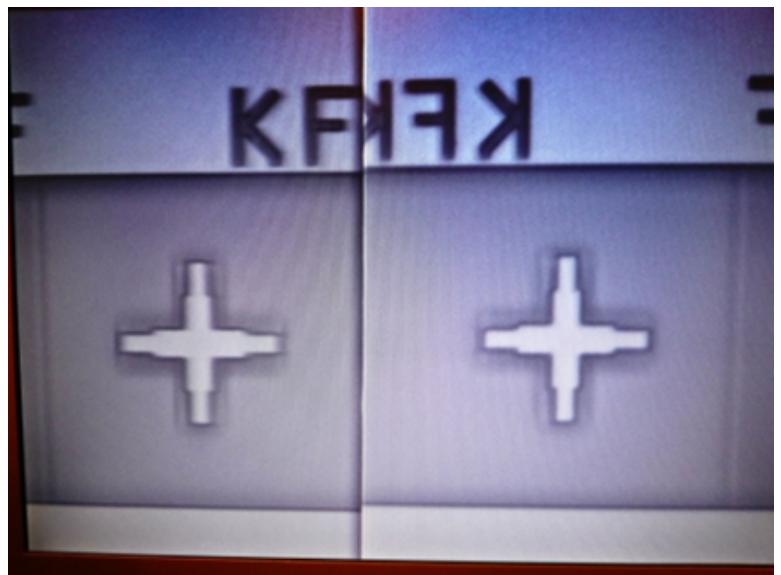


Abb. 4: Justievorgang

Der Wafer wurde ausgerichtet, mit dem Vakuum festgehalten und hineingeschoben. Dann justiert man den Wafer so, dass er genau unter der Maske liegt (s.Abb. 3).

Danach drückt man die Taste Exposition und der Wafer wird durch die Maske belichtet. Das Licht befindet sich im UV-Bereich. Bei dem Belichtungsprogramm gibt es verschiedene Belichtungsarten, wir haben uns für

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

die Soft-Kontakt-Belichtungsart entschieden, weil es die schonendste Methode ist. Der Wafer 02 wurde vier Sekunden lang belichtet. Der Moment der Belichtung ist in der Abbildung 5 zu sehen.

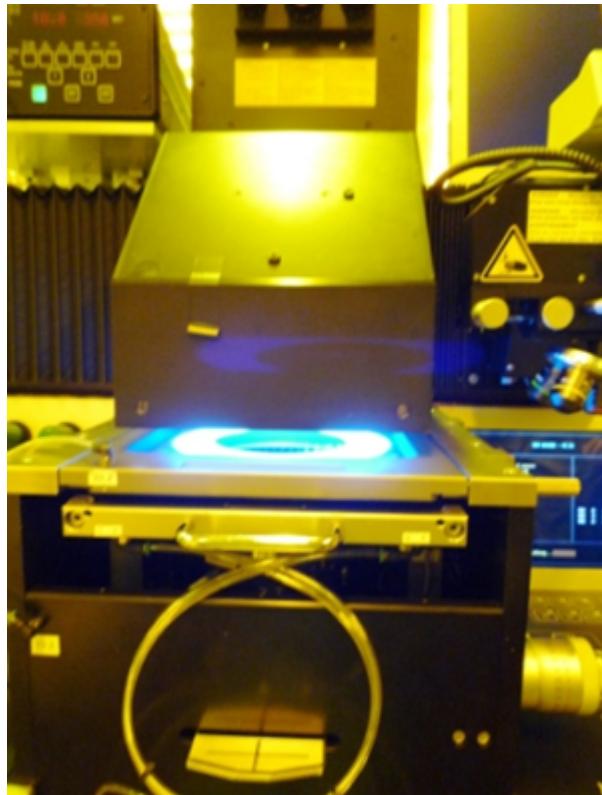


Abb. 5: Belichtungsvorgang

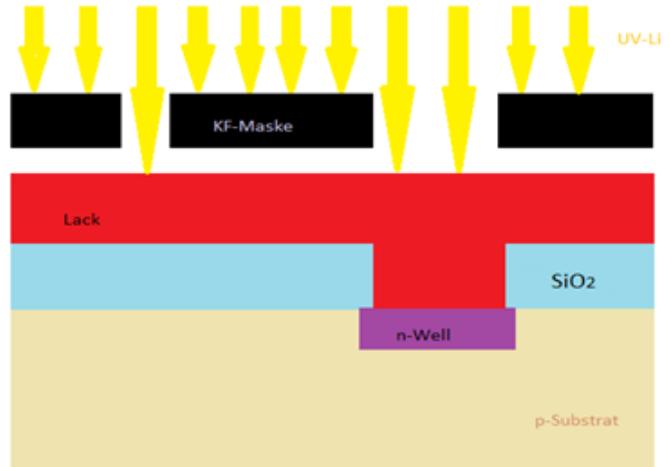


Abb. 6: Belichtung

Die durchsichtigen Bereiche der Maske lassen das Licht durch und der Wafer wird belichtet.

Durch das Belichten wird der Lack härter. An den Stellen, die nicht belichtet wurden, wird der Lack später mit einer Rohm-Haas Lösung abgezogen.

Die Belichtungszeit stimmte für den Wafer02, deswegen wurde der Wafer03 auch mit dieser Zeit belichtet. Leider wurde beim Justieren der Wafer03 ein Stückchen Lack an der Maske angeklebt. Wir haben sofort überlegt, ob es beim Entwickeln zu den Fehlern kommen kann.

Entwickeln und Hardbake:

Nach dem Belichtungsprozess wurde der Lack möglichst schnell mit Hilfe von Entwickler Rohm-Haas entfernt. Die Wafer wurden 60 Sekunden lang in dieser Lösung gespült.

Nach dem Entwicklungsprozess muss der Entwickler ganz schnell weg von der Waferoberfläche und sehr gründlich mit dem Wasser abgespült werden (s. Abb. 7).

Um den restlichen Lack gegen Ätzmittel noch resistenter zu machen: Hardbake fünf Minuten lang, 120 °C .

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

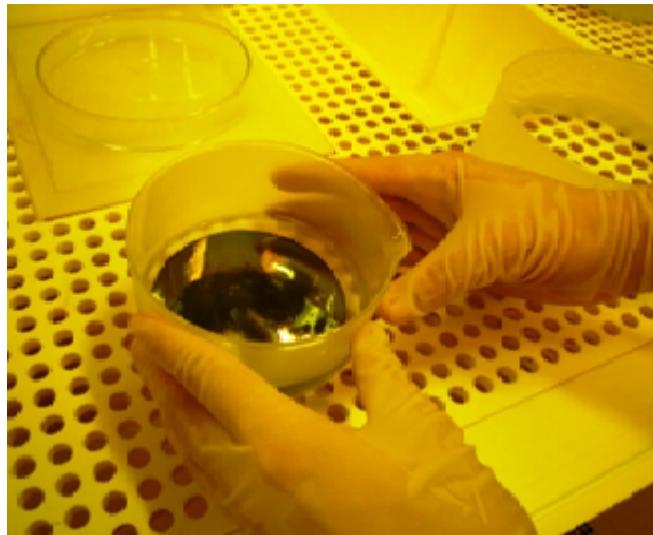


Abb. 7: Entwickeln

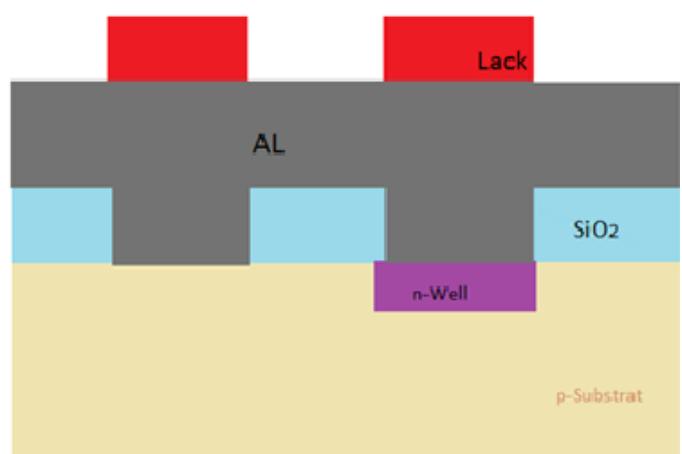


Abb. 8: Nach dem Entwickeln

Sichtkontrolle:

Mit dem Lichtmikroskop: Nun sollen die Wafer mit dem Mikroskop untersucht werden. Wie wir es schon erwartet haben, der angeklebte Lack hat sich bemerkbar gemacht: Die Struktur ist nicht mehr sehr deutlich zu sehen, viele untergeätzte Stellen:

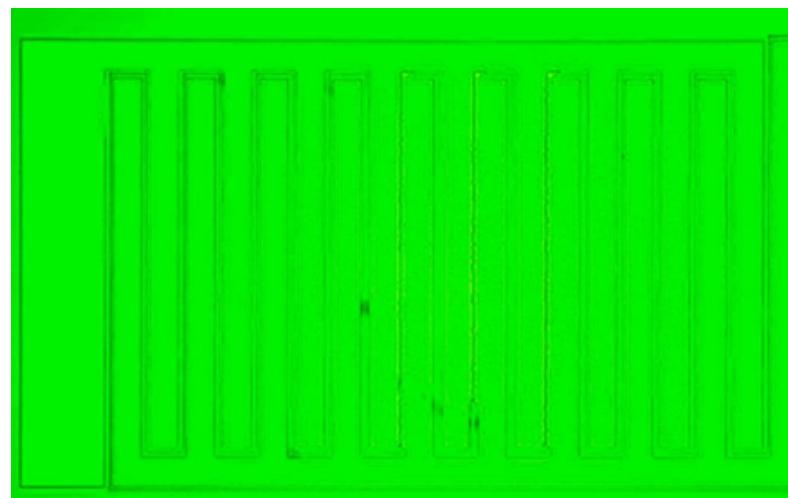


Abb. 9: Nach dem Entwickeln

Dektak-Messung:

Nun wurden die Lackdicken von den Wafern 02 und 03 am Dektak gemessen.

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

Der Dektak ist ein Profilometer mit dem sich die mikroskopische Oberflächenrauigkeit ermitteln lässt.
Ein Mal haben wir über dem p- und das andere Mal über dem n-Pad gemessen:

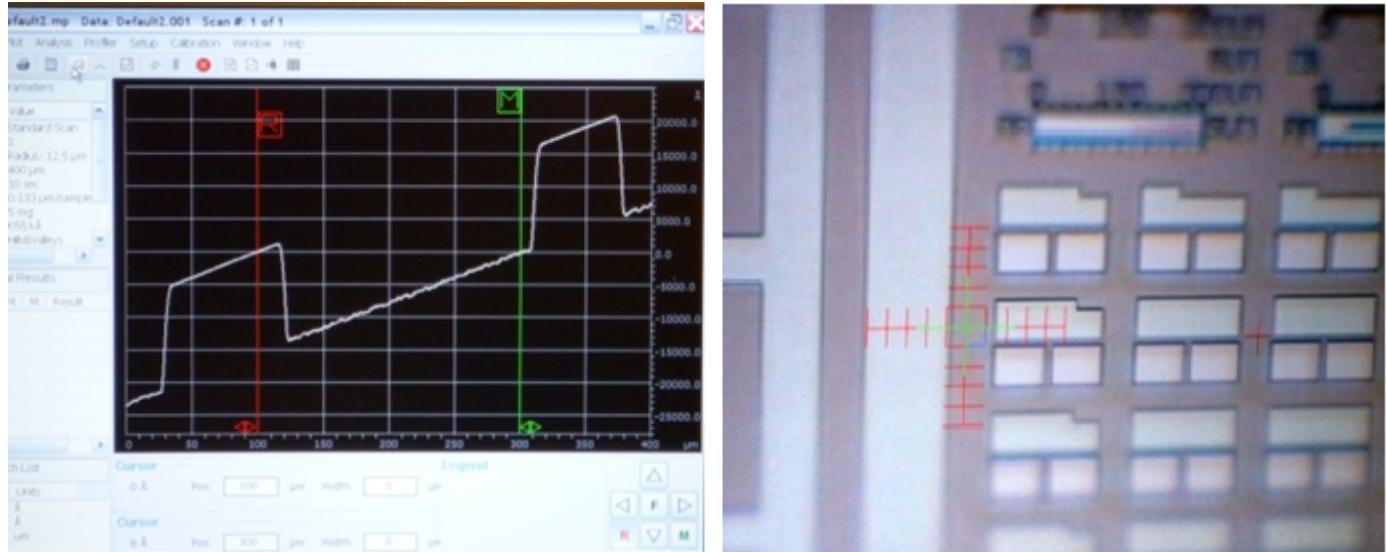


Abb. 10: Messungen am Dektak

Die Tabelle 1 zeigt das Ergebnis:

Wafer	p-Pad	n-Pad
120502	1.5 μm	185 nm
120503	1.55 μm	182 nm

Tab. 1: Lackdickenmessung

Ätzen:

Diesmal wurde das Ätzen vorsichtig mehrmals durchgeführt. Dafür haben wir 1%-ige gepuffte Flusssäure BHF (HF/NH₃F) benutzt. Jeder Wafer wurde in dieser Lösung für ca. eine min. eingetaucht und sofort mit Di-Wasser abgespült.

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

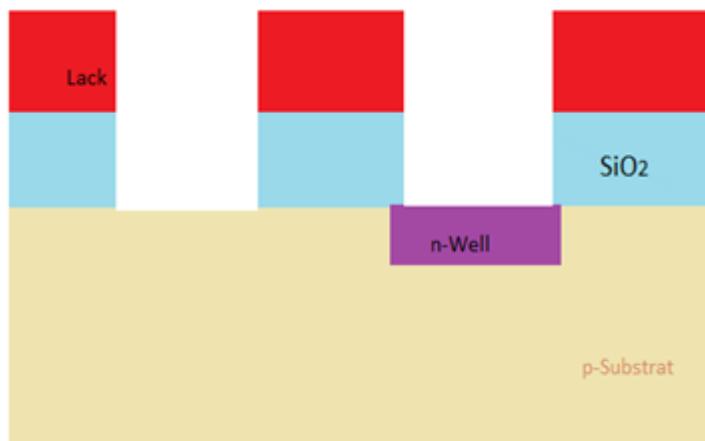


Abb. 11: nach dem erneuten Ätzen

Zwischen den Ätzungen haben wir ständig die Oxiddicke mit Dektak kontrolliert. Die Dektakmessung zeigte uns, dass der Ätzvorgang sehr langsam abläuft. Die Kontrolle am Lichtmikroskop hat aber folgendes gezeigt: Wafer03 wurde total übergeätzt! Starke Dotierung wurde als mögliche Ursache dafür vermutet.

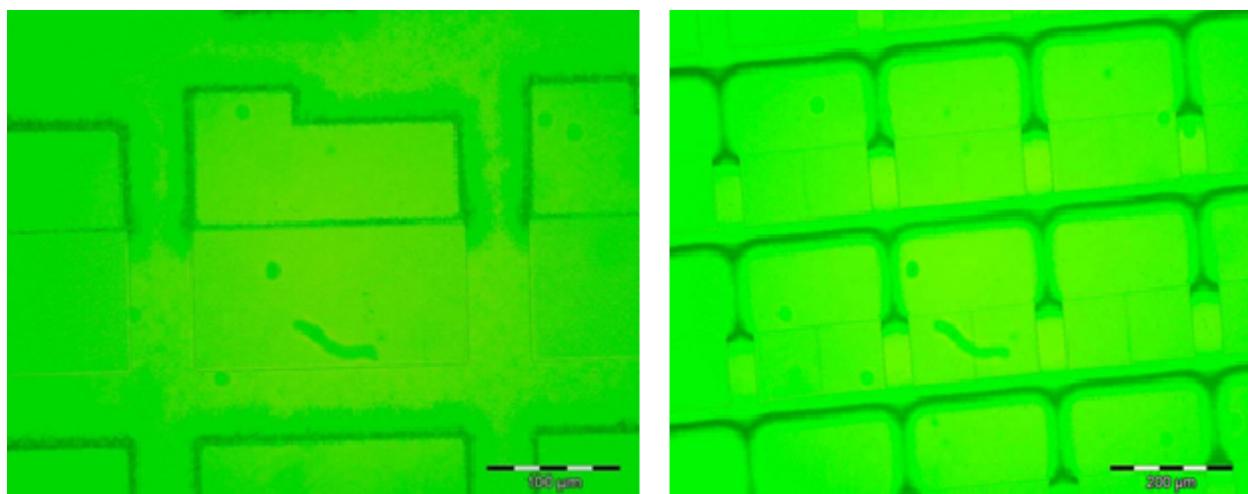


Abb. 12: erneute Aufnahme mit dem Lichtmikroskop

Da der Wafer03 übergeätzt wurde, haben wir entschieden, dass es keine AL-Metallisierung bei ihm durchgeführt wird.

Dagegen Wafer02 war in Ordnung, nur die Kanten waren unscharf(s. Abb. 12)

Lack entfernen:

Als letztes wurde Lack von den Wafern 02 und 03 mit dem Aceton entfernt. Nach dem Lithographie-Schritt sieht unsere Struktur folgendermaßen aus:



Abb. 13: Kontaktfenstermaske geätzt und entfernt

Anschließend wurden von allen drei Wafer die organische Stoffe mit dem Ätzmittel Caro's Etch entfernt.

2.1.2 3.Tag

PVD, Metallisieren:

PVD (physical vapour deposition) ist die physikalische Gasphasenabscheidung, die für die vakuumbasierten Beschichtung mit Aluminium verwendet wird. Die Abbildung — zeigt die schematische Darstellung eines PVD-Verdampfungsverfahrens.

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

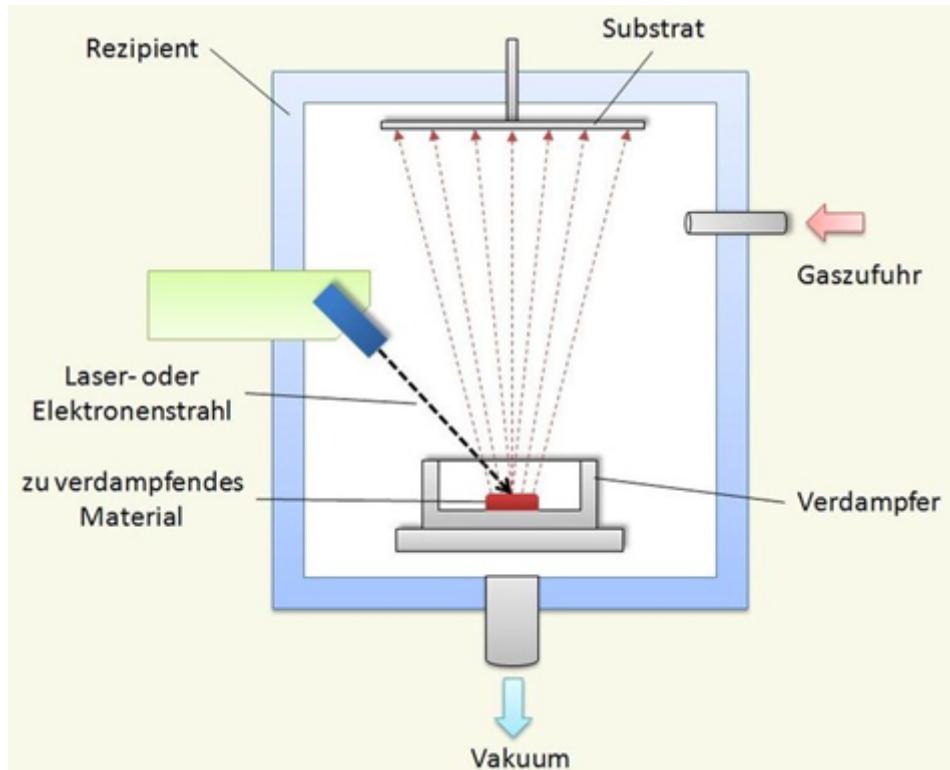


Abb. 14: PVD-Verdampfungsverfahren

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Physikalische_Gasphasenabscheidung

Das abzuscheidende Material (Target) liegt in fester Form vor. Mit dem Laser- oder Elektronenstrahl, der von einer Elektronenquelle geschossen werden, werden die Ionen oder Elektronen durch ein elektromagnetisches System auf das Target umgelenkt und das Material wird verdampft.

Das Material verdampft wegen des sehr niedrigen Druckes und der Energie der Elektronen. Es bildet sich ein Dampf, der durch elektrische Felder durch die Kammer geführt wird. Dabei trifft der Dampf auf die zu beschichtenden Teile und es kommt zu einer Schichtbildung.

Die Elektronenstrahlkanonen setzen ein Vakuum voraus, deswegen wurde das Vakuum in der Bedampfungsanlage (s. Abb. 15) über die Nacht abgepumpt.



Abb. 15: Bedampfungsanlage

Bevor der Wafer in die PVD-Anlage platziert wird, wurde die Waferoberfläche noch Mal mit einer 1%-igen HF-Lösung (HF-Dip) für 15 Sekunden gereinigt. Diese Lösung dient dazu, die neu entstandene Oxidschicht zu entfernen.

Danach wurde unser einziger Wafer02 in den PVD-Apparat mit der Vorderseite nach unten eingelegt. Außer des Einlegens des Wafers wurden alle Schritte mit Hilfe der Steuerungstasten automatisch ausgeführt.

Dann wird das Programm eingestellt und der PVD-Prozess fängt an. Die aufzusputternde AL-Schicht soll 500 nm betragen.

Da der PVD-Prozess 30 Minuten dauerte, wurden inzwischen Wafer 01 und 03 noch Mal mit Phosphorus beschichtet. Anschließend wurden die Wafer 30 Minuten lang mit 200°C gebacken. Diese Improvisation war notwendig, da die beiden Wafer keine Oxidschicht mehr hatten.

Nach PVD wurde Wafer02 mit einer Salpetersäure zehn Minuten lang behandelt.

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

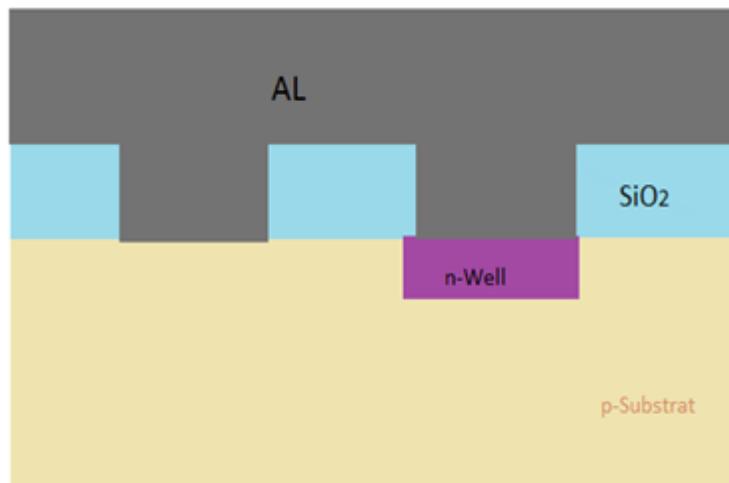


Abb. 16: Metallisierung

Wafer für den Schrägschliff brechen:

Weiter wurden Wafer 01 und 03 für den Schrägschliffwinkel gebrochen.

Die Wafer wurden zuerst in der Mitte angeritzt. Unter den Wafer an dieser angeritzten Stelle haben wir eine alte Probe gelegt und dann durch einen leichten Druck den Wafer zum Brechen gebracht .Es ist leicht durchzuführen, da Silizium entlang der Kristallrichtung bricht. Die entstandenen Proben haben die Abmessungen ca. 5 X 5 mm². Die Proben wurden in den vormarkierten Kästchen gelegt.

Lithographie mit der AL-Maske:

Nun werden die typischen Lithographie-Schritte bei leicht abgeänderten Bedingungen noch Mal durchgeführt.

Prebake, Belacken, Softbake:

Die Flüssigkeitsreste werden entfernt, indem die Wafer 30 min. lang bei 140 °C auf der Heizplatte liegen bleiben.

Danach wird der Wafer 02 mit einem Lack Az 52/4 beschichtet und anschließend zwei Minuten lang bei 95 °C getrocknet. Die Ruhezeit beträgt eine Stunde.

Belichten mit Al-Maske:

Der Wafer02 wird genau so belichtet, wie oben schon beschrieben wurde (s. Lithographie am Tag2),(s. Abb.[17](#)) Bemerkung: Die Al-Maske wurde auch nach AA-Maske justiert, und die Belichtungszeit beträgt jetzt nur 3 ,7 Sekunden, da Aluminium glänzend ist und Licht reflektiert.

Danach wurde der Lack mit der Rohm Haas-Lösung entwickelt (Abb.[18](#)).

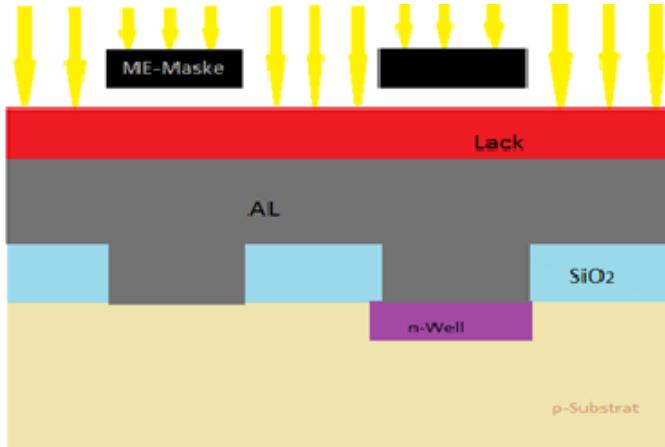


Abb. 17: Belichten

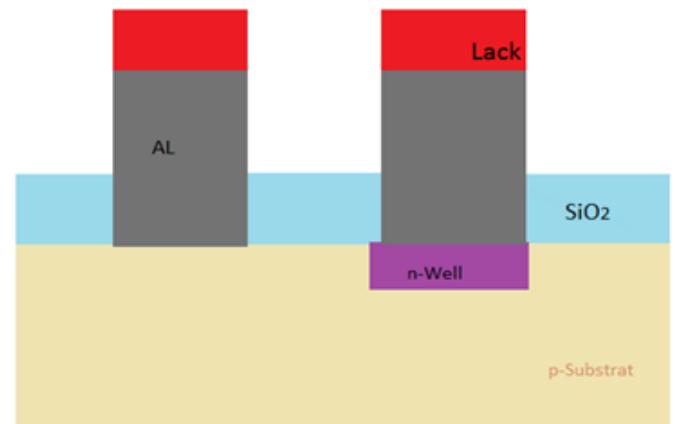


Abb. 18: Struktur nach dem Ätzvorgang

Sichtkontrolle:

Nun soll der Wafer mit dem Lichtmikroskop untersucht werden. Wenn der Lack nicht bis zum Ende entwickelt wurde, kann man die Lichtinterferenz sehen, was wir auch in den kleinen Mengen gesehen haben.

Dektak-Messung ergab, dass die Dicke nur 1,36 µm ist, aber wir brauchen mindestens 1,5 µm. Deswegen wurde entschieden, noch Mal zehn Sekunden lang Nachentwicklung zu machen. Nächste Messung ergab 1,35 µm. Danach wurde der Wafer noch mit dem Photometer untersucht und es sprach nichts dagegen, dass der Lack nicht entwickelt wurde.

Ätzen:

Vor dem Ätzen wird der Wafer noch für fünf Minuten lang auf die Heizplatte bei 140 °C gelegt. Der Ätzvorgang wird diesmal mit einer Ätzmischung aus der Phosphorsäure, Essigsäure, Wasser und der Salpetersäure durchgeführt ($H_3PO_4 + H_2O + HNO_3$). Es wurde mehrmals in der Zehner-Intervall (je zehn Sekunden in der Lösung) geätzt, danach wurde schnell in das Di-Wasser eingetaucht und abgespült. Nach der Sicht wurde beurteilt, ob die Al-Schicht weggeätzt wurde. Beobachtung: viel Bläschen.

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

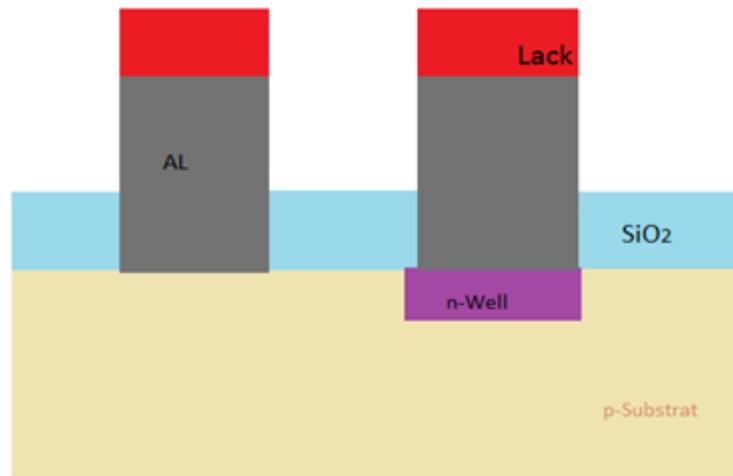


Abb. 19: Struktur nach dem Ätzvorgang

Kontrolle mit dem Lichtmikroskop:

Die Untersuchung mit dem Lichtmikroskop hat uns gute Bilder geliefert: Die Kontakte sehen gut aus, nur ein wenig untergeätz (dunkler Rand, s. Abb 20).

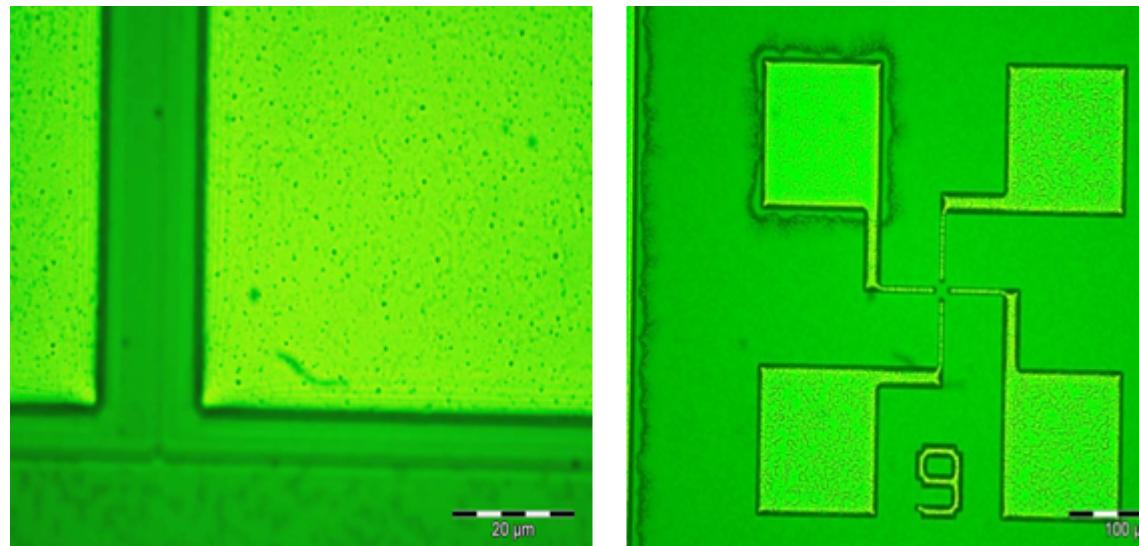


Abb. 20: Darstellung mit dem Lichtmikroskop

Photolack entfernen:

Als letzter Schritt wird der Lack entfernt. Diesmal wird er in das Aceton für drei Minuten eingetaucht, danach sehr schnell mit Wasser gesäubert. Anschließend wurde unser Wafer in einem Ultraschallbad gereinigt(Abb.21).



Abb. 21: Ultraschallbad

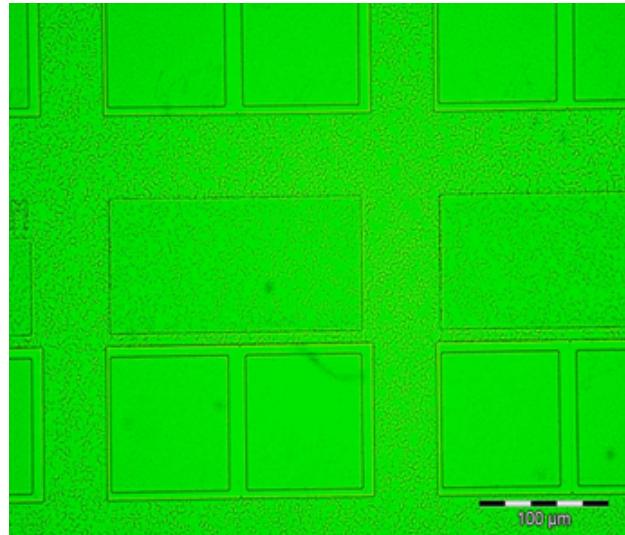


Abb. 22: Lichtmikroskopaufnahme

Am Ende haben wir unseren Wafer noch Mal am Lichtmikroskop untersucht. Die Ergebnisse waren gut: Kanten sind sehr glatt, sehr gute, klare Struktur (s. Abb. 22).

Enddickenmessung:

Die Aluminiumdickenmessung mit dem Profilometer ergab die Werte zwischen 470 nm und 490 nm, was dem theoretisch erwarteten Wert von 500 nm entsprach.

Tempern:

Dieser Temperaturprozess dient der Verbesserung der Kontakte zwischen dem Aluminium und dem Substrat. Dafür wurde der Wafer bei 400 °C für 30 Minuten im Ofen erhitzt.

Unser Endergebnis, also ein pn-Übergang, ist schematisch in der Abbildung 23 dargestellt.

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

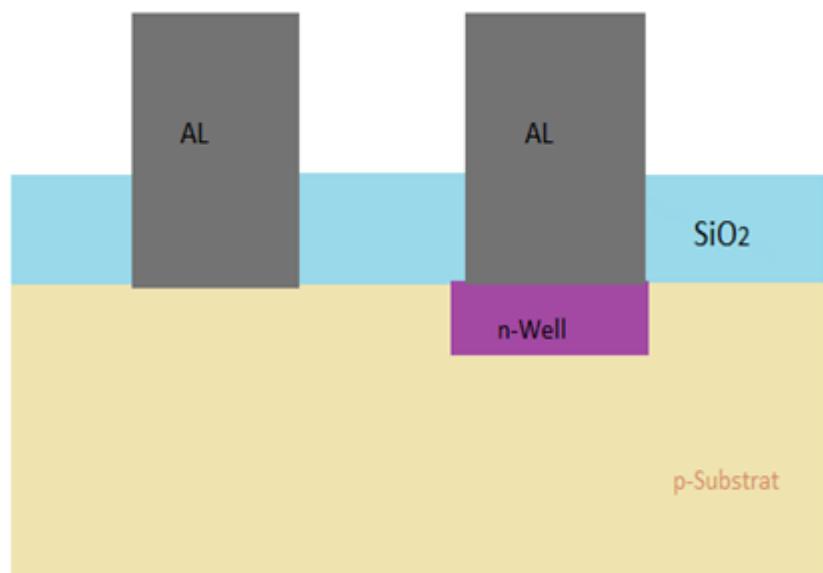


Abb. 23: Endstruktur

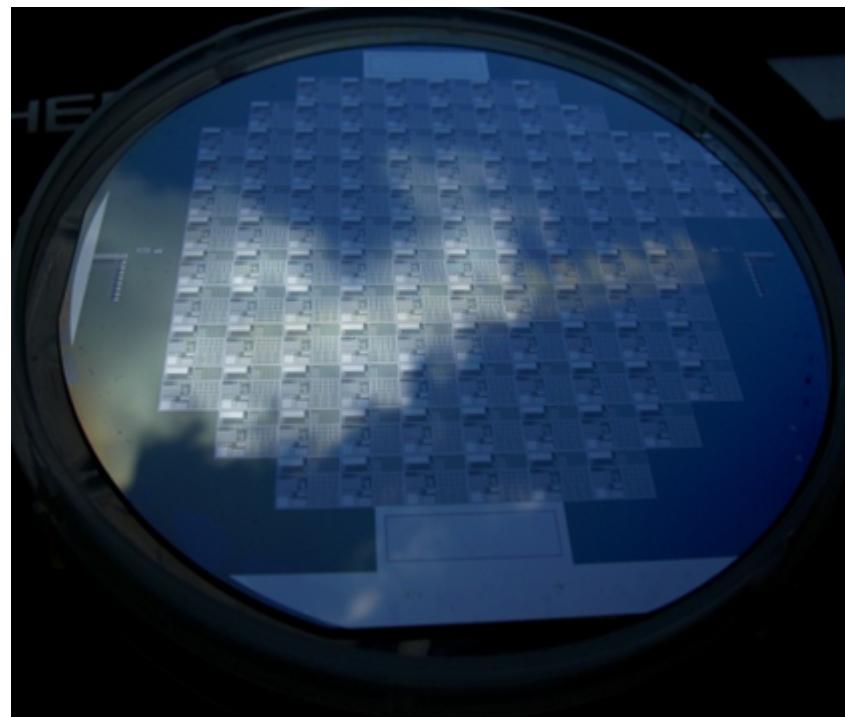


Abb. 24: Endstruktur Wafer

2.1.3 4.Tag

Um die pn-Übergangstiefe zu messen wurden unsere Proben zuerst geschliffen (weil die pn-Tiefe nicht direkt mit dem Mikroskop gemessen werden kann).

Jede Probe wird zuerst auf einen Support geklebt, indem man den Support auf einer Heizplatte bei 120° heizt und der spezielle Klebstoff darauf geschmolzen wird (s.Abb. 25).



Abb. 25: Klebstoff

Die Proben werden dann mit einem Schleifmittel (Suspension DP aus Diamantpartikeln) fünf Minuten lang geschliffen(s. Abb reffig:schlei), so dass sie am Rand einen Schrägschliff bekommen. Danach werden die Proben abgespült und getrocknet.

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS



Abb. 26: Schleifen

Dekoration:

Zuerst wurde mit der HF:CH₃COOH:HNO₃ (1:4:5) Lösung versucht, die Probe zu dekorieren. Es hat nicht funktioniert und deswegen wurde entschlossen, mit der Verkupferung zu versuchen.

Die Dekoration der Proben wird dann im Reinraum mit einer Lösung aus zwei Gramm CuSO₄, fünf ml HF(40%) und 100ml H₂O dekoriert. Am Anfang des Vorgangs liegen die Proben in der Lösung mit der Vorderseite nach oben. Sie werden dann mit zwei SSchwanenhals Lampen drei bis fünf Sekunden belichtet, damit das Licht den Prozess aktivieren kann.

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

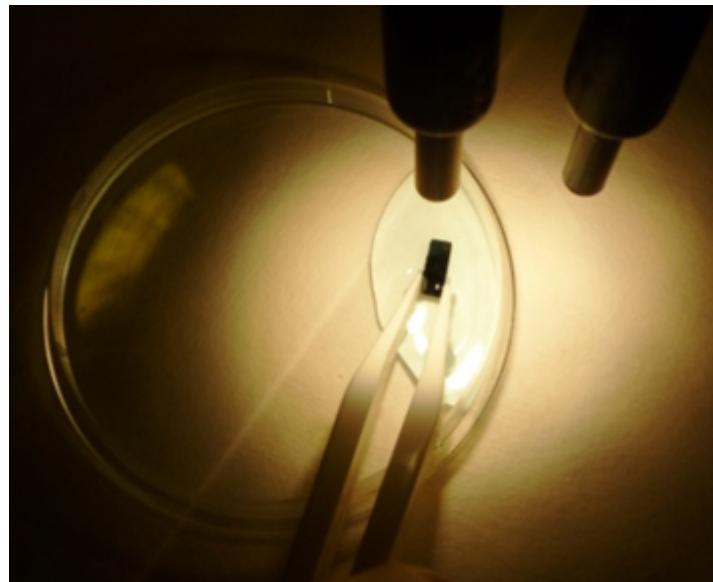


Abb. 27: Verkupferung

Die Kupferlösung wird auf der Oberfläche der Probe an dem angeschliffenen Gebiet aufgetragen. Da die Kupfermischung einen Mangel an den Elektronen hat, lagert sich diese Lösung an dem n-Gebiet, wo es mehr Elektronen gibt. Deswegen erscheint die n-leitende Seite des pn-Übergangs heller getönt als die p-leitende Seite (s.Abb. 28). Anschließend werden die Proben mit dem Aceton gereinigt.

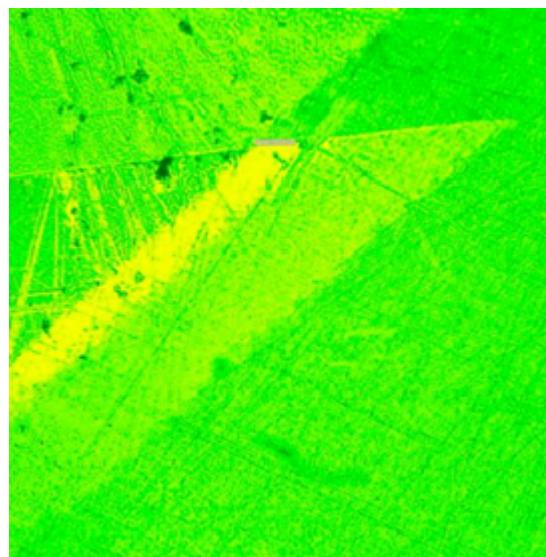


Abb. 28: Dekoration unterm Lichtmikroskop

Unter dem Mikroskop ist dieser Unterschied gut sichtbar und lässt sich

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

ohne Schwierigkeiten auswerten (es wird die Länge der Verkupferung gemessen):

$Wafer01_a : 80m$
 $Wafer01_b : 75m$

Dektak-Messung:

$Wafer01_b :$

Tiefe 7,0 μm , Länge 300 μm
Tiefe 6,9 μm , Länge 300 μm

$Wafer01_a :$

Tiefe 6,2 μm , Länge 300 μm
Tiefe 5,7 μm , Länge 300 μm

Daraus kann man die Junctions-Tiefe ausrechnen:

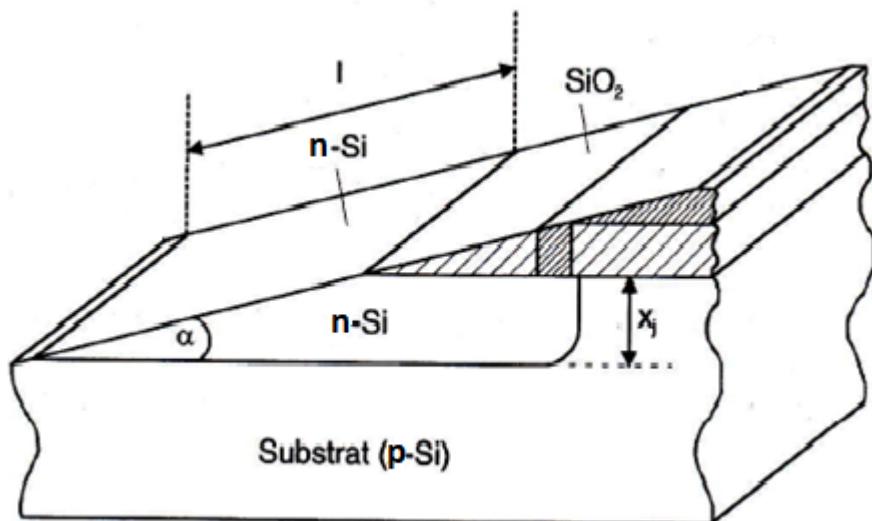


Abb. 29: Darstellung zur Tiefenbestimmung

Nach der Beziehung $x_j = \sin\alpha$, haben wir folgende Ergebnisse ausge-rechnet:

$Wafer01_b :$
1,52 μm
1,65 μm

$Wafer01_a :$

2 HERSTELLUNG EINES PN-ÜBERGANGS

1,76 µm
1,7 µm

Die ausgerechneten Werte entsprechen unseren Erwartungen, was ein Indiz dafür ist, dass die Prozessschritte richtig gemacht wurden.

So endet unser Praktikum im Reinraum.

Schlussbetrachtung:

Als Ergebnis unserer Tätigkeit haben wir nur einen Wafer mit vielen pn-Übergängen angefertigt. Die anderen Wafer haben wir für den Schrägschliff verwendet.

Insgesamt haben alle Teilnehmer durch diese vier Tage im Reinraumlabor viel Wissen über die Arbeit im Reinraum, den Umgang mit gefährlichen Stoffen, Arbeit am Mikroskop und Profilometer, und die Herstellungsprozesse eines pn-Übergangs erworben.

Praktische Arbeit hat unser theoretisches Wissen sehr bereichert.



Abb. 30: geschafft!!!