

Versuchsanleitung zum
Fortgeschrittenenpraktikum

**Herstellung und Charakterisierung einer
Schottkydiode**

F. Engelhardt, O. Seifert
C. Deibel, I. Riedel, M. Knipper
Uli F.-Wischnath

Betreuer: Uli F.-Wischnath
Tel: 798-3531
W02-0-088
Sprechzeiten: Fr 14-15 Uhr und nach Absprache

Fakultät V – Institut für Physik
Abteilung Energie- und Halbleiterforschung (EHF)

Sommersemester 2006

1 Vorbemerkungen

Bei der Präparation der Schottkydiode auf Siliziumbasis werden Säuren und Lösungsmittel verwendet. Da diese zum Teil extrem giftig, korrosiv und explosiv sind, ist beim Umgang mit diesen Materialien äußerste Vorsicht geboten. Benutzen Sie grundsätzlich die vorhandene Schutzausrüstung und folgen Sie allen Sicherheitsanweisungen. Arbeiten Sie mit Chemikalien grundsätzlich unter dem Abzug und im Beisein eines Betreuers. Sorgen Sie dafür, daß die verwendeten Gefahrenstoffe nicht mit Augen, Haut oder Kleidung in Berührung kommen, und atmen Sie die Dämpfe dieser Stoffe in keinem Fall ein. Weiterhin ist dafür Sorge zu tragen, dass Ihr Arbeitsplatz mit keiner der verwendeten Substanzen in Berührung kommt (Gegebenenfalls muss er gereinigt werden.) Für die verwendeten Gefahrenstoffe finden sich im Anhang Sicherheitshinweise, die aufmerksam durchzulesen sind. Sollte trotz aller Vorsicht etwas passieren, sind die entsprechenden Notfallmaßnahmen durch den Betreuer und anwesende Personen einzuleiten. Die Telefonnummer der Rettungsleitstelle, bzw. des Betriebsarztes finden sich an der Labortür (innen).

Diese Versuchsanleitung versteht sich nicht als Lehrbuch, sondern als Kurzzusammenfassung der wesentlichen Inhalte bzw. als Wegweiser dorthin. Es wird von daher des öfteren auf weiterführende Literatur verwiesen. Zur erfolgreichen Durchführung des Versuchs ist das Lesen der angegebenen Literatur (steht im Ordner zur Vorbereitung zur Verfügung) unerlässlich. Ihre Fähigkeit die gestellten Fragen zu beantworten können Sie als Maßstab dafür verwenden, ob Sie ausreichend gut vorbereitet sind.

Die Praktikumsleitung geht davon aus, dass Sie sich bis zum Versuch mit der Thematik und den Aspekten, welche die Präparation der Proben betreffen, ausreichend auseinandergesetzt haben und die wesentlichen Kernpunkte der Metall-Halbleiterübergänge verinnerlicht haben. Sollte sich während der Versuchsdurchführung herausstellen, dass dies nicht geschehen ist, so behält sich der Leiter einen Abbruch des Versuchs vor. Diese Maßnahme ist notwendig, da einerseits die Sicherheit der Praktikanten und der im aktuellen Forschungsbetrieb benötigten Geräte sichergestellt werden muss, andererseits eine erfolgreiche Durchführung des Versuchs unter solchen Voraussetzungen nicht möglich und sinnvoll ist.

2 Motivation

Kaum eine technische Entwicklung hat unser tägliches Leben in den letzten Jahren so beeinflusst, wie die immer weiter fortschreitende Integration, Miniaturisierung und Verbilligung von Halbleiter-Bauelementen. In der Folge haben sich elektronische Geräte in einem noch vor einigen Jahren undenkbarem Ausmaß verbreitet. Diese Entwicklungen waren möglich aufgrund enormer Forschungsaktivitäten, insbesondere im Bereich des Halbleitermaterials Silizium (Si).

In diesem Versuch wird eine Schottkydiode durch Aufbringen von Metall auf einen Siliziumwafer hergestellt und vermessen. Die Vorgehensweise bei diesem Versuch ist dabei analog zu der Art und Weise wie Integrierte Schaltkreise (Mikrochips), also die grundlegenden Elemente der gesamten modernen Elektronik, hergestellt werden: Anstatt separate Bauelemente auf einer Platine miteinander zu verbinden, werden bei der Silizium-Technologie (in ihrer einfachsten Ausprägung) die einzelnen Bauelemente durch gezielte Dotierungen einzelner benachbarter Bereiche hergestellt. Als Isolator zwischen den einzelnen Bauelementen fungiert Siliziumdioxid. Die Kontaktierung der Bauelemente erfolgt dann über Leiterbahnen, die von oben auf das Material aufgebracht werden. Nähere Ausführungen finden sich in [7].

Als Kontaktierungen eignen sich für jeden Halbleiter nur bestimmte Metalle. Schon 1874 wurden von Braun Metall-Halbleiter Übergänge untersucht, die gleichrichtende Eigenschaften einer Diode hatten. Derartige Übergänge sind natürlich als ohmsche Kontakte auf Halbleitern ungeeignet. Andererseits werden die gleichrichtenden Eigenschaften selbst als Bauteil ausgenutzt. Aufgrund der grundlegenden Untersuchungen und theoretischen Beschreibungen von W. Schottky (1938) nennt man diese Bauteile Schottkydioden.

Die in diesem Versuchs des Fortgeschrittenenpraktikums betrachtete Schottkydiode (Ti/p-Si) wird mit Hilfe einer Aufdampfanlage hergestellt und bezüglich ihrer physikalischen und elektronischen Eigenschaften mittels Strom–Spannungskennlinien (I-V) und Kapazitäts-Spannungsmessungen (C-V) charakterisiert.

Neben dem Verständnis der Art und Weise, wie Halbleiterbauelemente aufgebaut sind, lernen Sie in diesem Versuch auch Verfahren und Techniken kennen, die relevant sind für die experimentelle Praxis in vielen Laboren. Konkret ist dies der Umgang mit Chemikalien, sowie das Aufdampfen von Metallen und die dafür notwendige Vakuumtechnologie. Darüber hinaus soll der Versuch selbstverständlich auch dem Erlernen bzw. besseren Verstehen der zugrundeliegenden Halbleiterphysik dienen.

3 Herstellung und Charakterisierung von Metall-Halbleiterkontakten

3.1 Aufdampftechnik

Bei der in diesem Versuch verwendeten Aufdampfanlage handelt es sich um eine Hochvakuum-Anlage. Da Sie auch in der aktuellen Forschungstätigkeit zum Einsatz kommt, ein Ausfall aufgrund einer Fehlbedienung also fatal wäre, darf diese nur im Beisein eines qualifizierten Assistenten benutzt werden!

Eine Aufdampfanlage dient dazu, Materialien (Metalle, Dielektrika, Halbleiter) auf Substrate aufzubringen. In unserem Fall handelt es sich bei letzterem um einen Si-Einkristall. Um Verunreinigungen auf der Halbleiteroberfläche zu vermeiden, findet der Aufdampfprozess im Hochvakuum statt. Dementsprechend lässt sich eine Aufdampfanlage in zwei Funktionsgruppen unterteilen. Erstens das Vakuumsystem mit Pumpen und Messzellen, und zweitens das eigentliche Aufdampfsystem mit Verdampfern und Schichtdickenmeßgerät.

3.1.1 Vakuumsystem

Die im Praktikum verwendete HV-Verdampferanlage der Firma Pfeiffer verwendet zur Erzeugung des Vorvakuums eine zweistufige Drehschieberpumpe und zum Erreichen kleinster Drücke eine Turbomolekularpumpe. Die Messung des Drucks erfolgt im Vorvakuumbereich mit Hilfe eines Wärmeleitungsmanometers und im HV-Bereich durch eine Ionisationsvakuummeter. Im Rezipienten befinden sich die einzelnen Verdampfersysteme (thermischer Verdampfer, Elektronenstrahlverdampfer) und eine Halterung für die Probe, welche von außen im Vakuumbetrieb gedreht werden kann (Siehe Abbildung 1). Der Shutter kann wahlweise über den einzelnen Verdampferquellen positioniert werden, um beim Start des Aufdampfprozesses eventuell vorhandene Materialverunreinigungen gegen dessen Rückseite zu dampfen.

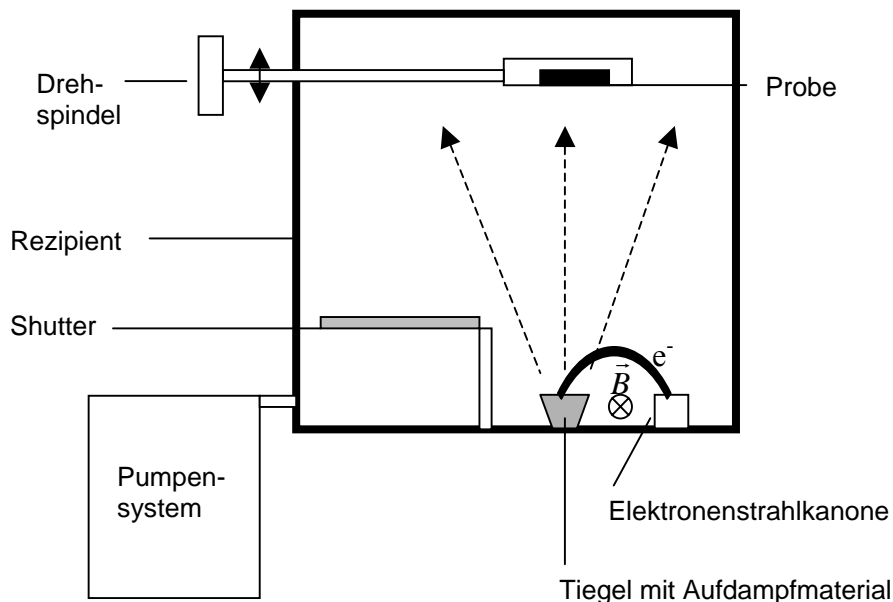


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Hochvakuum-Aufdampfanlage mit thermischem und Elektronenstrahlverdampfer.

In Höhe der Probe befindet sich ein Schwingquarz, der zur Detektierung der bereits aufgedampften Schichtdicke dient. Die Einzelkomponenten innerhalb des Rezipienten, sowie dessen Wand und die Tür können geheizt und gekühlt werden. Die Belüftung der Kammer erfolgt durch eine Stickstoffzufuhr, die durch ein Nadelventil geöffnet werden kann. Machen Sie sich mit den oben genannten Begriffen vertraut (Ref. [6] und Ref. [4] (Kapitel I und II)), so dass Sie folgende Verständnisfragen beantworten können:

1. Was sind die physikalischen Prinzipien der Vakuummessungen bei mechanischen Vakuummetern, Wärmeleitungsmanometern und Ionisationsvakuummetern? (In der schriftlichen Ausarbeitung stichwortartig für die in der Aufdampfanlage konkret verwendeten Typen.)
2. Wie funktionieren Drehschieber- und Turbomolekularpumpen?
3. Was ist das physikalische Prinzip einer Öldiffusionspumpe?
4. Wie lautet die Umrechnungsformel für die Druckgrößen bar, Torr und Pascal?
5. Wozu dient die Heizung der Rezipientenwand?

Ergänzungsfrage: Welche anderen Möglichkeiten zur Erzeugung dünner Schichten kennen Sie?

3.1.2 Aufdampfsystem

Der schematische Aufbau des Verdampfersystems inklusive Substrathalterung und Schichtdickensonde (Schwingquarz) ist in Abb. 2 dargestellt. Machen Sie sich mit den oben genannten Begriffen vertraut (Ref. [4] Kapitel 3 und Ref. [2] S.1-107 ff.).

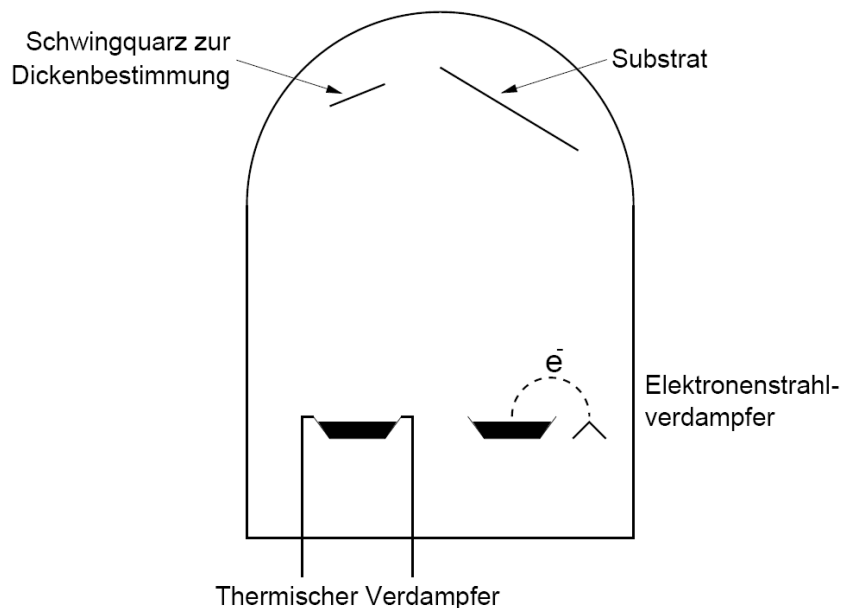


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Verdampfersystems.

Beantworten Sie folgende Verständnisfragen:

1. Nennen Sie verschiedene Verdampfungstechniken! Bei welchen Materialien ist die Verdampfung mit einer Elektronenkanone nötig? Wie funktioniert das Elektronenstrahlverdampfen?
2. Welche physikalischen Eigenschaften müssen Verdampfungstiegel haben?
3. Beschreiben Sie kurz die Funktion eines Schichtdickenmeßgerätes auf Basis eines Schwingquarzes!
4. Welche anderen Schichtdickenmeßgeräte kennen Sie?

3.2. Charakterisierung von Halbleitereigenschaften

Dazu diesem Versuch einige Kenntnisse aus der Halbleiterphysik nötig sind, sollten diese gegebenenfalls aus Lehrbüchern (zum Beispiel Ref. [1] Kapitel 7 und 8, Ref. [3] Kapitel 1 bis 4.1, Ref. [5] Kapitel 1 bis 3) aufgefrischt werden. Folgende Fragen sollten beantwortet werden können:

1. Wodurch unterscheiden sich Isolator, Halbleiter und Metall?
2. Sie haben einen Festkörper vor sich liegen. Wie bekommen Sie heraus ob es sich um ein Metall oder einen Halbleiter handelt?
3. Was versteht man unter der Energielücke?
4. Was versteht man unter Fermienergie?
5. Was ist Dotierung und wie kann ich einen Si-Kristall p- oder n-dotieren? Wie ändert sich dadurch die Ladungsträgerdichte?
6. Zeichnen sie das Bandschema eines undotierten, eines p- und eines n-dotierten Halbleiters, inkl. Fermienergie.
7. Wie groß ist kT bei Raumtemperatur in eV?

Bringt man ein Metall auf einen Halbleiter auf, so erhält man je nach verwendetem Material einen ohmschen Kontakt oder eine sogenannte Schottkybarriere. Zur Herstellung einer Schottkydiode müssen also auf ein Halbleitermaterial ein ohmscher und ein sperrender Metallkontakt aufgebracht werden. Ziel dieses Versuchs ist es, zwei verschiedene Metalle auf den gleichen Halbleiter aufzubringen und den Typ des erzeugten Kontaktes experimentell zu bestimmen. Weiterhin soll die energetische Höhe der hergestellten Schottkybarriere, sowie die Dotierungskonzentration des Halbleitermaterials zu bestimmen. Dazu werden $I(V)$ -und $C(V)$ -Messungen durchgeführt. Die dazu nötige Literatur findet sich in Ref. [5], Kapitel 5).

Fragen:

0. Was sind die wesentlichen Eigenschaften einer Diode und worin unterscheiden sich die verschiedenen Arten von Dioden?
1. Wie berechnet sich unter idealen Bedingungen die Barrierenhöhe für eine Schottkybarriere auf einem p-dotierten Halbleiter?
2. Was versteht man unter der Weite der Raumladungszone einer Schottkybarriere, und wie groß ist sie?
3. Zeichnen sie das Banddiagramm einer Schottkybarriere im thermischen Gleichgewicht, bei Vorwärts- und bei Rückwärtsspannung! Was passiert mit der Weite der Raumladungszone für diese drei Bedingungen?
4. Wie groß ist die Kapazität eines Kondensators der Fläche A mit Plattenabstand d und einer Dielektrizitätskonstante ϵ ? Was versteht man unter der Kapazität der Raumladungszone (RLZ) einer Diode? Wie ist die Spannungsabhängigkeit dieser RLZ-Kapazität? Wie erhalte ich also die Barrierenhöhe Φ_B und die Dotierungskonzentration N_A ?
5. Wie kann man den Strom–Spannungsverlauf einer Schottkydiode mit einer einfachen Gleichung beschreiben?
6. Welches Metall würden Sie für die Schottkybarriere, welches für den (unidealen) ohmschen Kontakt auf p-Silizium nehmen, wenn Sie die Metalle aus Abb. 17 (Ref. [5], Kapitel 5, S. 275) zum Aufdampfen zur Verfügung hätten, um eine möglichst hohe Barriere zu erhalten?

4 Versuchsdurchführung

Für den ersten Termin, bei dem die Probenherstellung im Vordergrund steht, bereiten Sie sich bitte mit Hilfe der angegebenen Literaturquellen auf folgende Punkte vor:

- Voraussetzungen für die Entstehung sperrender und ohmscher Metall-Halbleiterkontakte. Dotierung von Halbleitern.
- Gefahrenkenntnisse über die zu verwendenden Chemikalien (Aceton, Methanol, Xylol und Flusssäure (HF))
- Vakuumphysik (Einteilung der Vakuumbereiche, Pumpentypen und Anwendungsgebiete, Größenordnungen, Methoden der Druckmessung)
- Aufdampftechnik (thermisches Verdampfen und Elektronenstrahl-Verdampfen, Schichtdickenmessung mit einem Schwingquarz)

Für den zweiten Termin des Praktikums ist die elektrische Charakterisierung der hergestellten Proben vorgesehen. Dafür sollten folgende Vorkenntnisse mitgebracht werden:

- Theoretischer Verlauf der aufzunehmenden Kennlinien (Dies hilft, fehlerhafte Kontaktierungen und systematische Fehler im Vorfeld zu vermeiden)
- Funktionsweise von Dioden (Sperrverhalten, Sättigungsströme, Schwellspannung, Banddiagramm unter Vorwärts- und Rückwärtsgleichspannung)

Erstellen Sie sich vor der Versuchsdurchführung für alle Messungen (insbesondere für jede der 4 hergestellten Schottkydioden) Tabellen, welche einerseits die experimentellen Randbedingungen enthalten sollen und in denen andererseits unvorhergesehene Vorkommnisse und Unklarheiten notiert werden können. Dies wird Ihnen in der späteren Auswertung zu Hilfe kommen.

Der dritte Termin ist die Reserve für den Fall, das nicht alles so glatt läuft, wie gewünscht. In der Experimentalphysik ist dies jedoch leider eher die Regel als die Ausnahme.

Folgende Arbeitsschritte dürfen nur bei Anwesenheit eines Betreuers ausgeübt werden!

Tragen Sie bei den folgenden Schritten Einmalhandschuhe, damit die Probe möglichst nicht verschmutzt wird. Gehen Sie mit dem Si-Wafer vorsichtig um, da er sehr zerbrechlich ist. Tragen Sie beim Umgang mit Säuren und Lösungsmitteln Schutzkleidung und arbeiten Sie nur unter dem Abzug (siehe Sicherheitshinweise)!

4.1. Vorbereiten der Si-Probe

Schneiden Sie mit dem Glasschneider aus dem 2 Zoll Si-Wafer (p-dotiert mit Bor) ein etwa 1.5cm*1.5cm großes Stück heraus. Ritzen Sie dazu die polierte Oberfläche ein. Legen Sie den Wafer mit der polierten Seite nach oben, mit der Sollbruchstelle auf eine gerade Kante (Metallplatte). Benutzen Sie ab jetzt zum Berühren der Probe nur noch die bereitgestellte Pinzette. Um eine saubere Halbleiteroberfläche zu erhalten und möglichst ideale Vorbedingungen für die Kontaktbildung zu bilden muss die Probe nach dem folgenden Rezept gereinigt und oberflächenpassiviert werden.

1. Geben Sie dazu in das bereitgestellte Becherglas etwa 1cm **Toluol**. Erwärmen Sie dieses auf der Heizplatte auf 40°C und geben Sie die Probe für etwa 3 Minuten hinein. Nach Entnahme der Probe ist diese mit Stickstoff abzublasen.
2. Wiederholen Sie den Vorgang mit **Aceton**!
3. Wiederholen Sie den Vorgang mit **Ethanol**!
4. Nun muss die Probe für 5 Minuten in einer verdünnten "**Buffered Oxide Etch**" (10 [H₂O dest.] / 1 [34.6% NH₄F : 6.8% HF : 28.6% H₂O dest.]) geätzt und oberflächenpassiviert werden.
In der BOE fungiert Ammoniumfluorid als Puffer, d.h. es hält während der Reaktion die Konzentration an Fluoridionen aufrecht. Die eigentliche Reaktion der BOE mit dem oxidierten Silizium folgt der Reaktionsgleichung

$$\text{SiO}_2 + 6\text{HF} \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$$
 , wobei die Silizium-Komplexverbindung in Wasser löslich ist.
5. Nehmen Sie die Probe vorsichtig heraus und spülen sie mit dest. Wasser ab. Blasen Sie die Probe wieder mit N₂-Gas vorsichtig trocken.
6. Entsorgen Sie die Säure- und Lösungsmittelreste nach Anweisung in die bereitgestellten Behälter. Die Probe muß nun in den bereitgestellten Probenhalter vorsichtig eingebaut werden. Legen Sie die Probe mit der polierten Fläche auf das Unterteil der Halterung (auf diese Fläche muß der Titankontakt aufgebracht werden).

4.2. Einbau der Si-Probe in die Aufdampfanlage

Um Hochvakuumbedingungen zu gewährleisten (<10⁻⁶mbar) wurde die Aufdampfanlage aufwändig gereinigt. **Berühren Sie daher die Innenflächen niemals mit den bloßen Händen und benutzen Sie das bereitgestellte, entfettete Werkzeug!**

1. Heizen Sie die Wände des Rezipienten - „water heat“ bis die Temperatur merklich über 30°C liegt (Handtest).
2. Schalten Sie die Vakuumpumpe aus und belüften Sie den Rezipienten mit Stickstoff (gelbes Nadelventil). Wenn Normaldruck erreicht ist, öffnet sich die Tür des Rezipienten selbsttätig.
3. Erden Sie mit dem extra dafür vorgesehenen Stab Innenwände und Einbauteile des Rezipienten.
4. Befestigen Sie die Probenhalterung an der Drehspindel mit der Imbusschraube.
5. Schließen Sie die Rezipiententür und stellen Sie Vakuumpumpe und die Rezipientenkühlung an. Die Umschaltung von Vorvakuumpumpe auf Turbomolekularpumpe erfolgt automatisch. Warten Sie bis der Druck im Rezipienten 2*10⁻⁶mbar erreicht, bevor Sie mit dem Aufdampfen beginnen.

4.3. Aufdampfen der Metallkontakte

In den Wartezeiten des Bedampfungsprozesses finden Sie bitte anhand der Bedienungsanleitung der Aufdampfanlage heraus, welche Art von Vakuummessgeräten in der Aufdampfanlage verwendet werden.

1. Aktivieren Sie die Wasserzufuhr für die zusätzlichen Kühlsysteme („water cool“, „water E-Gun“ und thermischer Verdampfer „water boat“) auf und öffnen Sie die Wasserzufuhr am gekennzeichneten Anschluß an der Wand gegenüber der Anlage.
2. Drehen Sie den Tiegel mit dem Titan in Arbeitsposition und stellen Sie sicher, daß im Schichtdickenmeßgerät die richtigen Angaben eingespeichert sind (nach Anweisung).
3. Drehen Sie den Probenhalter so, dass die mit Titan zu bedampfende Seite nach unten zeigt.
5. Starten Sie die Überwachung durch das Schichtdickenmeßgerät. Stellen Sie den Shutter so ein, daß er vorerst über dem E-Gun Tiegel steht.

5. Notieren Sie bei den folgenden Schritten jeweils den Druck im Rezipienten beim Start, während des Aufdampfens, und am Ende. Beachten Sie insbesondere den Druckverlauf beim Aufdampfen des Ti-Kontaktes.
Welche Auffälligkeit stellen Sie hier fest?
6. Schalten Sie die Steuerung der E-Gun an, ebenso die Spannungsversorgung. Letztere ist auf ca. 10kV eingestellt und soll keinesfalls geändert werden.
7. Schalten Sie die Stromsteuerung der E-Gun an. Steigern Sie über den Strom allmählich die Leistung. Beobachten Sie auch die angezeigte Aufdampfrate im Schichtdickenmeßgerät.
Beachten Sie auch das Vakuum im Rezipienten: es darf auf keinen Fall stark ansteigen, da sich die Elektronenkanone bei einem Druck $>10^{-4}$ mbar automatisch abstellt. Sollte das Vakuum ansteigen, reduzieren Sie die Leistung. Steigern Sie die Leistung vorsichtig, bis am Schichtdickenmeßgerät eine Aufdampfrate von etwa 0.2nm/s ablesbar ist.
8. Bewegen Sie nun den Shutter zur Seite. Notieren Sie die Leistung.
9. Wenn der Aufdampfprozeß durch das Schichtdickenmeßgerät beendet wird, notieren Sie sich die bisher aufgebrauchte Schichtdicke, und stellen das System auf Gold um.
10. Lassen Sie den Tiegel mindestens 10 Minuten auskühlen bevor Sie weitermachen.
11. Drehen Sie die Probe um 180° um die andere Seite zu bedampfen.
12. Drehen Sie nun den Goldtiegel in Position und wiederholen Sie den Vorgang ab Schritt 2 für die Gold-Seite.
13. Schalten Sie die Steuerung der Elektronenkanone und das komplette Kühlsystem ab.
14. Stellen Sie wieder auf Rezipientenheizung.
15. Schalten Sie das Pumpensystem ab und belüften Sie den Rezipienten mit Stickstoff.
16. Öffnen Sie den Rezipienten und berühren Sie vorsichtig mit dem Erdungsstab die Metallteile um die Elektronenkanone. Entnehmen Sie (Handschuhe, fettfreies Werkzeug!) die Probenhalterung. Bauen Sie die Probe aus und legen Sie vorsichtig in die bereitgestellte Probenbox.
17. Stellen Sie einen unbenutzten Tiegel ein, damit Verunreinigungen der Tiegelmateriale durch thermisches Aufdampfen ausgeschlossen werden.
18. Schließen Sie den Rezipienten und stellen Sie die Heizung aus und das Pumpensystem an.

4.4. Kennenlernen der Messgeräte

Als Messgeräte stehen eine Source-Measuring-Unit (Advantest TR 6143) und ein Impedance Analyser (HP 4194A) zur Verfügung.

1. Verkabeln Sie den bereitgestellten Widerstand (nach Anleitung).
2. Vermessen Sie die Strom–Spannungskennlinie in einem Bereich von +1V bis -1V (Auflösung mindestens 100mV).
3. Bestimmen Sie aus der Steigung der Kennlinie Widerstand und Leitwert (Fehlerabschätzung!).
4. Vermessen Sie die Strom–Spannungskennlinie für die bereitgestellte Leuchtdiode (-3V bis 1V in 0.3V-Schritten dann bis 3V in 0.1V Schritten).

Benutzen Sie für die nächsten Messungen eine bereitgestellte Kapazität C (470pF) und einen Widerstand R (10 Ω).

1. Bestimmen Sie in einem Frequenzbereich von $f = 100\text{Hz}$ bis $f = 10\text{MHz}$ C(f) und R(f).

2. Legen Sie eine zusätzliche Vorspannung (Bias) von $\pm 1\text{V}$ an. Messen Sie nochmals $C(f)$ und $R(f)$. Sieht man eine Veränderung?

4.5. Vermessen der Strom–Spannungskennlinie

Zunächst muss die Qualität der ohmschen Kontakte überprüft werden. Kontaktieren Sie die bedampfte Probe nach Anweisung.

1. Verkabeln Sie die Probe wie den Widerstand R (siehe oben).
2. Vermessen Sie die Strom–Spannungskennlinie in einem Bereich von $+2\text{V}$ bis -2V (Auflösung mindestens 200mV).
3. Bestimmen Sie aus der Steigung der Kennlinie Widerstand und Leitwert der Probe. Schätzen Sie den spezifischen Leitwert der Probe ab (Dicke des Wafers $d=280\mu\text{m}$, Abstand der Kontaktpunkte $L=5\text{mm}$). Bestimmen Sie mit Ref. [5], Abb. 21 (Seite 32) daraus die ungefähre Akzeptordichte N_A . Vergleichen Sie diese mit den Herstellerangaben.
4. Kontaktieren Sie nun einen ohmschen und einen sperrenden Kontakt. Bringen Sie dazu auf einen Objektträger etwas Silberleitpaste auf. Legen Sie die Probe vorsichtig **mit den ohmschen Kontakten auf die Silberleitpaste**. Verwenden Sie dabei keinerlei Druck. Legen Sie die Probe nun in den Trocknungsofen (ca. 20 Minuten bei 70°C).
5. Vermessen Sie wieder die Strom–Spannungskennlinie in einem Bereich von $+2\text{V}$ bis -2V (Auflösung mindestens 100mV).
6. Tragen Sie die Kennlinie halblogarithmisch auf. *Beobachten Sie sperrendes Verhalten?* Tragen Sie die Kennlinie auch in das Diagramm für die Leuchtdiode ein.

4.6. $C(V)$ -Messung zur Bestimmung der Dotierkonzentration und der Barrierenhöhe

Wir nehmen für das Ersatzschaltbild der Schottkydiode eine Parallelschaltung aus einer Kapazität C_p und einem Widerstand R_p an. überprüfen Sie die Frequenzabhängigkeit von C_p und R_p . Führen Sie nun eine $C(V)$ -Messung bei $f=10\text{kHz}$ durch.

1. Messen Sie dazu die Kapazität der Probe in einem Spannungsbereich von 0V bis -5V . $\Delta U = 0.5\text{V}$).
2. Tragen Sie $1/C_p^2$ über V auf. Beachten Sie bitte, daß Sie die Kapazität auf die Fläche des Schottkykontaktes normieren müssen (Kontaktdurchmesser $d=0.5\text{mm}$).
3. Bestimmen Sie nach Gleichung 10 ([5], Seite 249) die Akzeptordichte N_A . Geben Sie diese Größe in m^{-3} und cm^{-3} an.
4. Bestimmen Sie aus dem x-Achsenabschnitt zunächst das Diffusionspotential ('built-in' Potential) V_{bi} (Fig. 2 Ref. [5], Seite 249). Aus dem Diagramm können Sie erkennen, daß Sie nun noch den Abstand Fermi-niveau–Valenzbandoberkante (Gl. 36 Ref. [5], Seite 27) dazu addieren müssen, um die Barrierenhöhe Φ_B zu erhalten (Gl. 5, Ref. [5], Seite 287). Vergleichen Sie mit dem Literaturwert (Tab. 3, Ref [5], Seite 291). *Wodurch kann es zu Abweichungen kommen?*

5 Anhang

A Physikalische Konstanten

Allgemeine Konstanten

Elektrische Feldkonstante $\epsilon_0=8.85*10^{-12}$ F/m
Elementarladung $q=1.60*10^{-19}$ C

Materialdaten für Silizium

Dielektrische Konstante:	$\epsilon=11.9$
Effektive Zustandsdichte Valenzband:	$N_V=1.04*10^{19}$ cm ⁻³
Elektronenaffinität:	$\chi=4.05$ eV
Bandlücke:	$E_g=1.12$ eV
Dicke des Wafers:	$d=280\mu$ m

Daten für Titan und Gold

Austrittsarbeit Titan: $\Phi_{Ti}=4.3$ eV
Austrittsarbeit Gold: $\Phi_{Au}=5.1$ eV

Anm.: Bei diesen Parametern handelt es sich um ungefähre Werte. Diese können je nach Literatur geringfügig (d.h. einige 0.1eV) voneinander abweichen.

B Literatur

- [1] Ch. Kittel: Einführung in die Festkörperphysik. R. Oldenbourg Verlag, München, 6. Auflage, 1983.
- [2] L. I. Maissel und R. Glang: Handbook of Thin Film Technology. McGraw-Hill Company, New York, 1970.
- [3] K. Seeger: Semiconductor Physics. Springer Verlag, Berlin, 4. Auflage, 1989.
- [4] R.V. Stuart: Vacuum Technology, Thin Films, and Sputtering. Academic Press, New York, 1983.
- [5] S. M. Sze: Physics of Semiconductor Devices. John Wiley, New York, 2nd Auflage, 1981.
- [6] W. Umrath: Druck- und Partialdruckmeßgeräte in der Aufdampftechnik. VDI Bildungswerk, 1974.
- [7] Siemens AG: Halbleiter, Siemens AG, 1990