

Kapitel 3

Experimentelles

In diesem Kapitel werden die verwendeten Materialien und experimentellen Gegebenheiten sowie Verfahrensweisen beschrieben. Die Präparation der Si-Oberflächen, sowie das Verdampfen der Fullerenmoleküle und das Ultrahochvakuum-System (UHV) werden erläutert. Auch die angewendeten Meßmethoden und die hierbei benutzten Parameter sollen kurz vorgestellt werden. Für ausführliche Beschreibungen der Methoden muß auf die Literatur [Lüt93, HeG91, ErK85, CaL78] verwiesen werden.

3.1 Das Probenmaterial

Das in dieser Arbeit verwendete Probenmaterial bestand aus 500 – 600 μm dicken Silizium-Einkristallwafern (Fa. WACKER CHEMITRONIC), deren Oberfläche senkrecht zur [111]-Richtung orientiert war. Die Wafer hatten einen Durchmesser von 4 Zoll und waren entweder *n*- oder *p*-dotiert. Die für diese Arbeit wichtigen physikalischen Eigenschaften des Siliziums sind in Tabelle 3.1 aufgeführt.

3.1.1 Präparation der Proben

Für die Untersuchung von SCHOTTKY-Kontakten auf Si-Oberflächen mittels Strom-Spannungs-Kennlinien ist es von Vorteil, die Rückseite der Wafer niederohmig zu kontaktieren, um so den Einfluß des Übergangswiderstandes gering zu halten. Dies ist bei Proben, an welchen keine Kennlinien aufgenommen werden sollten, nicht notwendig. Daher wurde in dieser Arbeit sowohl kontaktiertes als auch unkontaktiertes Material verwendet. Die Kontaktierung der Wafer konnte per Ionenimplantation im *Fraunhoferinstitut für mikroelektronische*

	Eigenschaft		Ref.
Material/Dotierung	<i>n</i> -Si(111)	<i>p</i> -Si(111)	Herst.
Dotierstoff	Phosphor	Bor	Herst.
Dotierstoffniveau	$W_{cb}-W_D = 45 \text{ meV}$	$W_A-W_{vb} = 45 \text{ meV}$	[Sze81]
spez. Widerstand	$1 \dots 11 \Omega \text{ cm}$	$1 \dots 6 \Omega \text{ cm}$	Herst.
Dotierstoffdichte	$N_D =$ $0,25 \dots 4,8$ $\times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$	$N_A =$ $2,3 \dots 6,5$ $\times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$	[Sze81]
Eff. Zustandsdichte im Leitungs-/Valenzb. bei 300 K	$2,79 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$1,14 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	[Mön95]
Lage des FERMI- Niveaus bei 300 K	$W_{cb}-W_F =$ $0,298 \dots 0,223 \text{ eV}$	$W_F-W_{vb} =$ $0,219 \dots 0,192 \text{ eV}$	
Effektive Masse	$m_e^* = 0,32 \times m_0$	$m_h^* = 0,59 \times m_0$	[LaB82]
Modifizierte RICHARDSON-Konst.	$A_n^{**} =$ $112 \times 10^4 \text{ Am}^{-2}\text{K}^{-2}$	$A_p^{**} =$ $32 \times 10^4 \text{ Am}^{-2}\text{K}^{-2}$	[Lep68]
Dielektrizitätskonst.	$\epsilon_s = 11,9$		[LaB82]
Bandlücke	$W_g(300 \text{ K}) = 1,12 \text{ eV}$ $W_g(150 \text{ K}) = 1,15 \text{ eV}$		[LaB82]
Gitterkonstante	$5,43 \text{ \AA}$		[LaB82]

TABELLE 3.1: Eigenschaften des verwendeten Si(111)-Probenmaterials. Die energetische Lage des FERMI-Niveaus im Kristallvolumen relativ zur Leitungsbandkante bei Zimmertemperatur wurde nach $W_{cb} - W_F = k_B T \cdot \ln(N_{cb}/N_D)$ berechnet.

Schaltungen in Duisburg vorgenommen werden. Der Ablauf der einzelnen Prozeßschritte bei der Ionenimplantation kann beispielsweise der Dissertation von KAMPEN [Kam95a] entnommen werden. Bei der Kontaktierung der Wafer entsteht eine 28 nm dicke SiO₂-Schicht, welche durch eine naßchemische Behandlung mit Flußsäure oder durch Anlassen im UHV für eine Stunde bei etwa 900°C entfernt werden kann. Da in der Vergangenheit gezeigt werden konnte, daß letztere Methode zu defektreichen Oberflächen führt [Schm93], wurden kontaktierte Proben stets einer sogenannten *pH*-modifizierten HF-Präparation unterzogen, bevor sie ins UHV transferiert wurden. Unkontaktierte Proben wurden entweder ohne naßchemische Behandlung ins UHV geschleust, oder aber zuvor thermisch bei 900°C in 1 atm O₂ oxidiert und anschließend der HF-Behandlung unterzogen.

Bei dieser pH -modifizierten HF-Präparation wurden die Proben zuerst eine Minute in fünfzigprozentige Flußsäure getaucht. Diese wurde dann mit einer gepufferten Lösung (HF:NH₄F:NH₄OH, $pH = 9$) verdünnt. Während der beiden Präparationsschritte verbleibt die Probe unterhalb der Oberfläche der Säure. Die Flußsäure ätzt das Oxid von der Oberfläche, sodaß diese danach frei von Sauerstoff [Sto92] und durch Wasserstoff passiviert ist [Uba84, Chb89]. Da diese

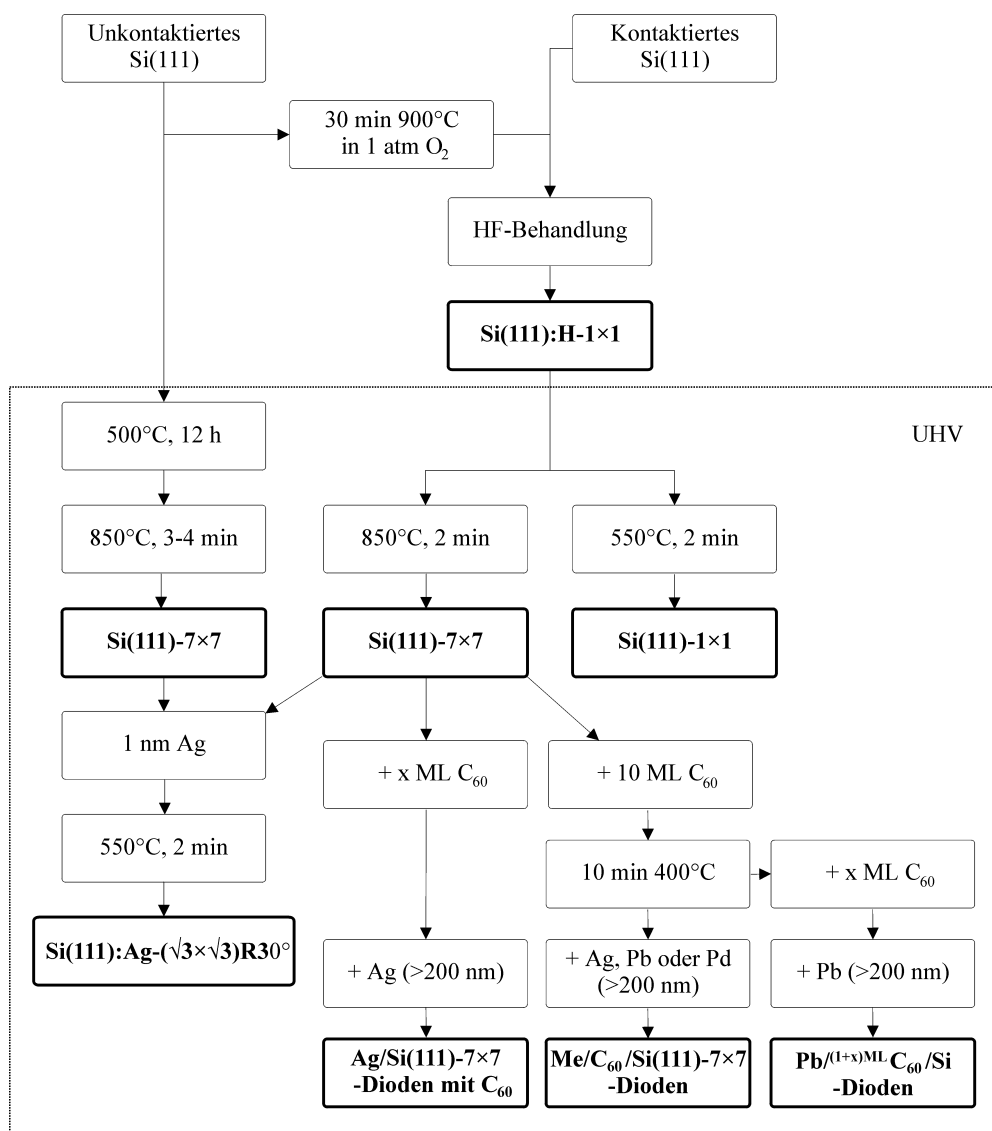


ABBILDUNG 3.1: Diagramm zur Präparation der vier verschiedenen rekonstruierten Si(111)-Oberflächen, sowie der unterschiedlichen C₆₀-modifizierten Metall-Halbleiter-Kontakte.

Oberfläche unrekonstruiert ist, wird sie mit Si(111):H-1×1 bezeichnet. HIGASHI *et al.* [Hig90] zufolge verringert die Behandlung mit der Pufferlösung die Anzahl der Stufen auf der Oberfläche, wobei jedoch die H-Terminierung erhalten bleibt, sodaß die Oberfläche hydrophob ist. Die Proben wurden stets nach der Entnahme aus der Lösung innerhalb von ein bis zwei Minuten in das Transfersystem der UHV-Apparatur befördert und nach weiteren 5 – 10 Minuten ins eigentliche UHV geschleust. Durch indirektes Heizen mit einer Elektronenstrahlheizung bei verschiedenen Temperaturen wurden in der UHV-Apparatur verschiedene Rekonstruktionen eingestellt. Durch Anlassen bei etwa 550°C konnte der H von Si(111):H-1×1-Oberflächen desorbiert und reine Si(111)-1×1-Oberflächen hergestellt werden, deren geometrische Struktur, wie bereits erwähnt, umstritten ist. Erst ab Temperaturen von etwa 750°C bildet sich die 7×7-Rekonstruktion aus.

Neben den Si(111):H-1×1-, -1×1- und -7×7-Oberflächen wurden auch Untersuchungen an Si(111):Ag($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$)R30°-Oberflächen durchgeführt. Diese konnten durch Aufdampfen von 1 nm Ag bei Zimmertemperatur und anschließendem Anlassen des Substrates bei 550°C für 2 min erzeugt werden. Die einzelnen Präparatonschritte vom unkontaktierten bzw. kontaktierten Waferstück zu einer der vier erwähnten Oberflächen ist schematisch in Abbildung 3.1 zusammengefaßt. Zudem sind auch die von Si(111)-7×7-Oberflächen ausgehenden, weiteren Schritte zur Herstellung der verschiedenen in dieser Arbeit untersuchten Metall-Halbleiter-Kontakte mit C₆₀-Dotierung der Grenzfläche dargestellt.

3.2 Das Adsorbatmaterial

Die in dieser Arbeit verwendeten Buckminsterfullerene sind mir freundlicherweise von der HOECHST AG zur Verfügung gestellt worden. Hierbei handelt es sich um "super gold grade" C₆₀, dessen Reinheit mit der *high-pressure liquid chromatography* zu größer als 99,9% bestimmt wurde. Das C₆₀ lag als Pulver vor, d.h. der Durchmesser der einzelnen C₆₀-Kristallite betrug weniger als 1 µm.

Zum Aufbringen der Moleküle auf die Probenoberflächen wurde eine spezielle KNUDSEN-Zelle konzipiert. Diese ist besonders klein gehalten, sodaß der verwendete Tiegel aus pyrolytischem Bornitrid nur 35 mm lang ist und einen Innendurchmesser von 5 mm hat. Die Füllmenge von etwa einem Gramm C₆₀ reichte für alle in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen aus. Des weiteren ist bei der C₆₀-Quelle im Gegensatz zu konventionellen KNUDSEN-Zellen der Heizdraht (Tantal, 0,25 mm Durchmesser) direkt um den Tiegel gewickelt, um so die Heizleistung möglichst effizient auf diesen zu übertragen. Eine Leistung von einem Watt reicht

aus, um das C_{60} auf etwa 300°C zu erwärmen. Durch den Tiegel spiralförmig umgebende Abschirmbleche und den zusätzlich mit der äußeren Hülle der Zelle in thermischem Kontakt stehenden Stickstoffkühlfinger soll der Druckanstieg beim Betrieb der Quelle minimiert werden.

Die Temperatur des Tiegels wurde mit einem Cu-Konstantan-Thermoelement kontrolliert und mit einem PID-Regler der Fa. EURO THERM geregelt. Üblicherweise wurde eine Betriebstemperatur von 300°C gewählt. C_{60} -Angebote wurden stets nach der Einregelungsphase bei konstanter Temperatur durchgeführt, wobei das Zeitintervall durch Öffnen und Schließen einer Blende bestimmt werden konnte.

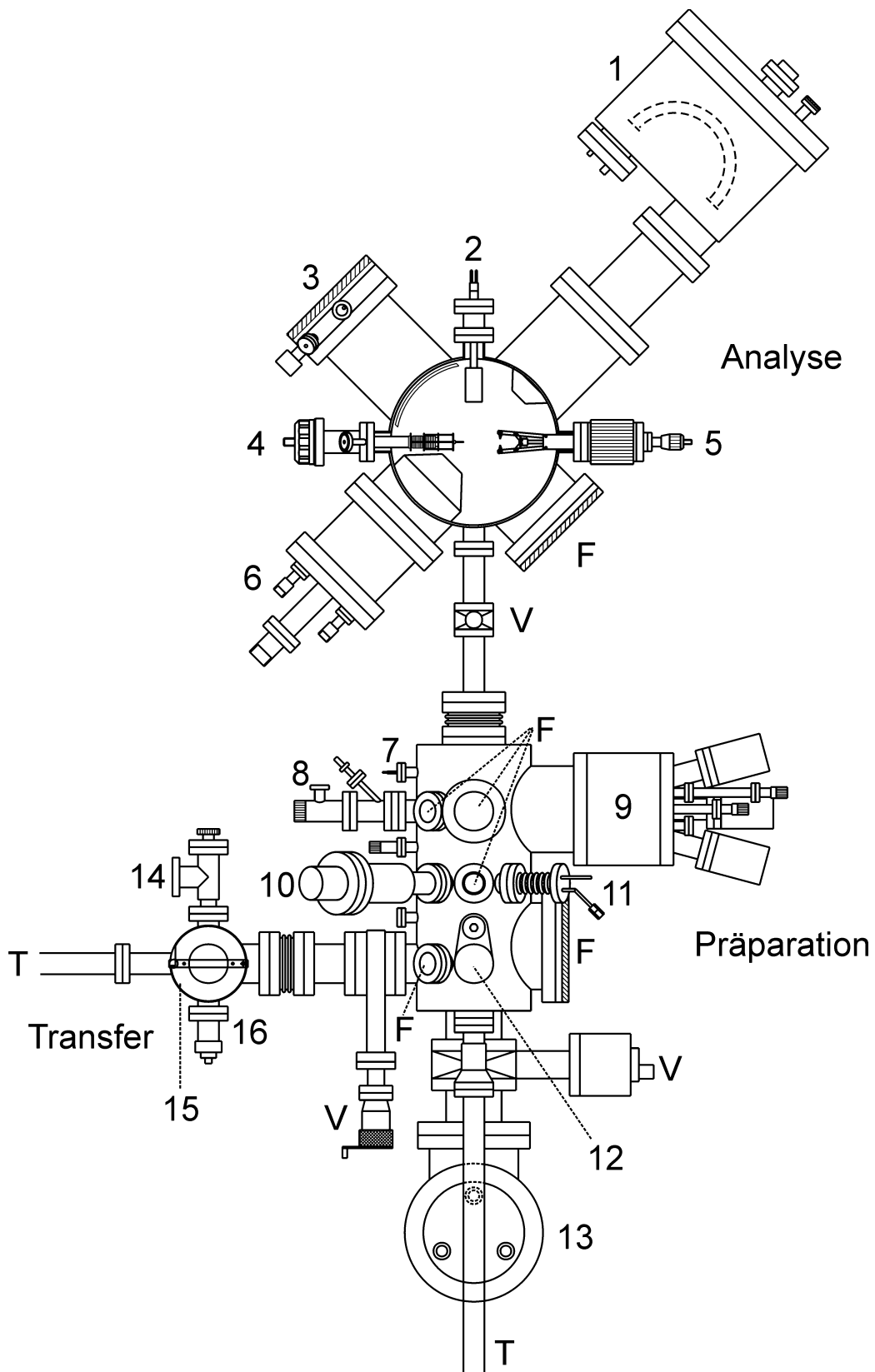
3.3 Die Vakuumapparatur

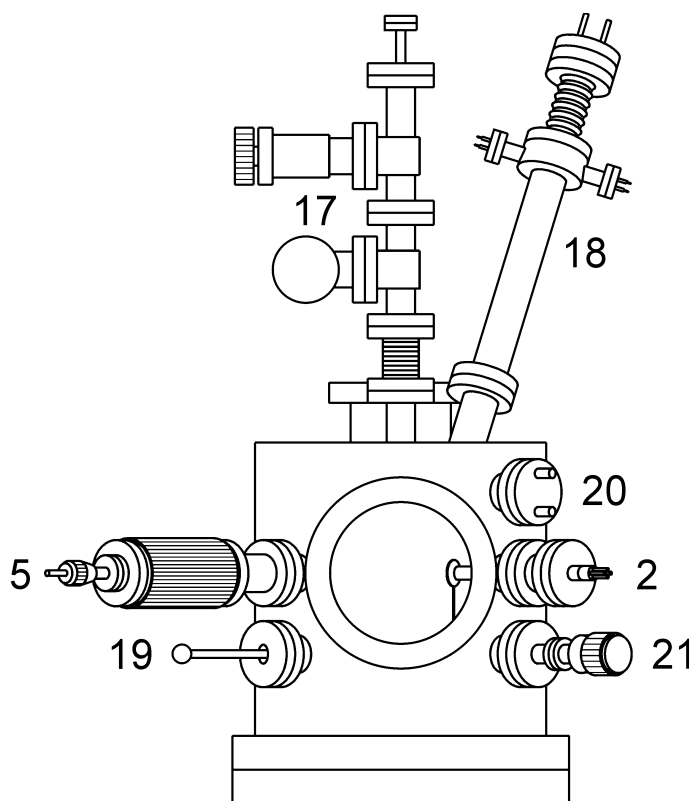
Alle Untersuchungen zur Wechselwirkung von C_{60} mit Si-Oberflächen sowie die Herstellung der Metall-Halbleiter-Kontakte wurden unter Ultrahochvakuum-Bedingungen (UHV) durchgeführt. Die dabei verwendete Apparatur ist in Abbildung 3.2 schematisch dargestellt. Sie setzt sich aus Edelstahlrezipienten zusammen, welche durch Schieberventile (V)¹ untereinander verbunden sind. Der Probentransfer zwischen den Kammern erfolgte mit magnetisch gekoppelten Transferstangen (T).

Transfersystem

Das Transfersystem zeichnet sich durch einen Rezipienten mit geringem Volumen aus, der einen aufklappbaren Viton-gedichteten Deckel (15) besitzt. Hierdurch konnten die Probenhalter leicht in das Transfersystem eingesetzt werden. Dieses wurde mit einer Kombination aus Drehschieber- und Turbomolekularpumpe evakuiert. Innerhalb von 10 Minuten wurde ein Druck von 10^{-4} Pa erreicht, welcher mit einem Kaltkathoden-Vakuummeter (16) kontrolliert werden konnte. Probenhalter konnten durch das Schieberventil geschleust und auf dem Probenkarussell (12) in der Präparationskammer abgelegt werden.

¹Die im folgenden in Klammern aufgeführten Buchstaben und Zahlen verweisen auf in Abbildung 3.2 angegebene Bezeichnungen.





- | | | | |
|----|-------------------------------|----|-----------------------------|
| 1 | Hemisphärischer Analysator | 13 | Kühlfalle |
| 2 | C_{60} -Quelle | 14 | Eckventil |
| 3 | LEED-Optik | 15 | Schnellverschluß |
| 4 | KELVIN-Sonde | 16 | Kaltkathoden-Vakuummeter |
| 5 | Spaltzange | 17 | Gasentladungslampe |
| 6 | Zylinderspiegelanalysator | 18 | Röntgenröhre |
| 7 | Elektronenstrahlheizung | 19 | Vakuumhand |
| 8 | Gasdosiersystem | 20 | Stickstoffkühlfinger |
| 9 | KNUDSEN-Zellen mit Kühlschild | 21 | Blende der C_{60} -Quelle |
| 10 | Massenspektrometer | F | Fenster |
| 11 | Schwingquarz | T | Transferstangen |
| 12 | Probenkarussell | V | Schieberventile |

ABBILDUNG 3.2:

Aufsicht auf das UHV-System (links) und Seitenansicht der Analysechamber (oben).

Präparationskammer

Mit der zweiten Transferstange konnten die Proben in die Analysekammer oder auf den Manipulator der Präparationskammer befördert werden. Letzterer ist in Abbildung 3.2 nicht eingezeichnet und befindet sich unterhalb des Fensters zwischen Gasdosiersystem (8) und KNUDSEN-Zellen (9). Dort konnten die Proben zur Präparation sauberer Oberflächen (siehe Abschnitt 3.1.1) indirekt geheizt werden. Es standen sowohl eine Elektronenstrahlheizung als auch Probenhalter mit Heizplättchen zur Verfügung, deren experimentelle Details in [Schm93] bzw. [Hah98] beschrieben sind. Des Weiteren konnten die Proben dort mit verschiedenen Metallen aus den KNUDSEN-Zellen (9) bedampft werden, wobei zur Bestimmung der Aufdampfrate ein Schwingquarz (11) benutzt wurde. Bei der Herstellung von Metall-Halbleiter-Kontakten, an welchen $I(V)$ -Kennlinien aufgenommen wurden, wurde eine Aufdampfrate von 0,05 nm/s und eine Schichtdicke von mindestens 200 nm gewählt. Eine Öldiffusionspumpe mit Stickstoffkühlfalle und eine Titansublimationspumpe erzeugten in der Präparationskammer einen Basisdruck von 10^{-8} Pa.

Analysekammer

In der Analysekammer standen eine Reihe oberflächenempfindlicher Meßmethoden bereit, die im nächsten Abschnitt näher erläutert werden. Hierzu war die Analysekammer mit einer Gasentladungslampe (17), einer Röntgenröhre mit Doppelanode (18), einem hemisphärischen Analysator (HSA, 1), einer Optik zur Beugung niederenergetischer Elektronen (LEED-Optik, 3) und einem Zylinderspiegelanalysator mit integrierter Elektronenkanone (CMA, 6) ausgerüstet. Da wegen des großen Abstands zwischen Fokuspunkt und Eintrittsspalt des HSA und der fehlenden elektromagnetischen Abschirmung des Edelstahlrezipienten bei der ultravioletten Photoemissionsspektroskopie Probleme bei der Messung von Elektronen mit sehr geringer kinetischer Energie auftraten, wurde die Analysekammer zwischenzeitlich so umgebaut, daß diese Methode mit dem CMA durchgeführt werden konnte. Hierzu mußte der HSA ausgebaut und der CMA an seine Stelle gesetzt werden. Neben den Meßmethoden befand sich in der Analysekammer die oben beschriebene C_{60} -Quelle, sodaß C_{60} -Angebotsreihen komplett in dieser Kammer durchgeführt werden konnten. Ein Basisdruck von 8×10^{-9} Pa wurde mit einer Ionengetterpumpe und einer Titansublimationspumpe erzeugt. Beim Betrieb der C_{60} -Quelle mit etwa 300°C und Kühlung der äußeren Hülle dieser KNUDSEN-Zelle mit dem Kühlfinger (20) betrug der Druck 10^{-8} Pa.

3.4 Die Meßmethoden

3.4.1 Beugung niederenergetischer Elektronen

Nach der Präparation der Oberflächen wurde deren Rekonstruktion und Ordnung mit der Beugung niederenergetischer Elektronen (*low-energy electron diffraction*, LEED) untersucht. Hierzu diente anfänglich eine 4-Gitter-LEED-Optik der Fa. VARIAN, welche später durch das 2-Gitter-System "ER-LEED" der Fa. VSI ersetzt wurde. Letzteres bot die Möglichkeit, Beugungsbilder von Elektronen mit kinetischen Energien von 18 – 500 eV zu beobachten, während bei der zuerst benutzten Optik dieser Bereich nach unten hin bei 40 eV begrenzt war. Des weiteren können die Beugungsbilder bei der "ER-LEED"-Optik auch von der Rückseite des Schirmes beobachtet und/oder fotografiert werden, sodaß Manipulator und Probenhalter nicht Bereiche der Bilder verdecken. Der Elektronenstrom, der bei LEED-Untersuchungen auf die Oberfläche der Proben trifft, beträgt etwa $0,5 \mu\text{A}$.

3.4.2 AUGER-Elektronenspektroskopie

Die AUGER-Elektronenspektroskopie (AES) erlaubt eine qualitative wie quantitative Analyse der chemischen Zusammensetzung reiner und adsorbatbedeckter Oberflächen. Mit AES wurde in dieser Arbeit insbesondere die Reinheit der präparierten Oberflächen überprüft und Adsorptions- und Wachstumsmechanismen von C_{60} auf Si(111)-Oberflächen untersucht. Zur Aufnahme von AE-Spektren stand ein CMA mit integrierter Elektronenkanone zur Verfügung. Mit dieser wurden Elektronen mit einer Primärenergie von 3 keV bei einem Probenstrom von $2 \mu\text{A}$ auf die Probenoberfläche geschossen. Der Durchmesser des Elektronenstrahls kann aus Herstellerangaben zu 10 – 50 μm abgeschätzt werden. Von der zu untersuchenden Probe emittierte Elektronen werden mit Hilfe des CMA unter einem Akzeptanzwinkel von 42° in Lock-In-Technik mit einer Modulationsfrequenz von 17 kHz und einer Modulationsspannung $U_{mod} = 2 V_{ss}$ detektiert. Hierbei betrug die Spannung am Elektronenvervielfacher 1450 V.

Bei der AUGER-Elektronenspektroskopie ist es nachteilig, daß der Elektronenbeschuß zu lokaler Erwärmung der Oberfläche führen kann, welche möglicherweise Desorption der Adsorbate induziert. Weiterhin muß bei den vorliegenden Untersuchungen mit C_{60} -Molekülen darauf geachtet werden, ob die Primärelektronen die Moleküle dissoziieren oder in anderer Weise verändern.

3.4.3 Photoemissionsspektroskopie

Neben der AUGER-Elektronenspektroskopie wurde in dieser Arbeit die Photoemissionsspektroskopie (PES) zur chemischen Analyse der Oberflächen benutzt. Hierbei können durch verschiedene Anregungsenergien unterschiedliche Energiebereiche mit unterschiedlicher Oberflächenempfindlichkeit untersucht werden. Röntgenlicht und weiches Röntgenlicht (*X-ray PES*: XPS bzw. *soft X-ray PES*: SXPS) werden vorwiegend zur Spektroskopie von Rumpfelektronen benutzt. Obwohl nur wenige Niveaus mit weichem Röntgenlicht spektroskopiert werden können, stellt es wegen der hohen Oberflächensensitivität eine willkommene Ergänzung zu XPS dar. Daher habe ich stets die Rumpfniveaus, bei denen dies möglich war, mit XPS und SXPS spektroskopiert. In dieser Arbeit werden dennoch keine SXP-Spektren explizit vorgestellt, da diese in meinem speziellen Fall keine zusätzliche Information liefern. Die PES mit ultraviolettem Licht (*ultraviolet PES*: UPS) kann zur Spektroskopie der Valenzbänder sowie zur Bestimmung von Ionisierungsenergien verwendet werden.

Als Anregungsquellen dienten in dieser Arbeit eine Röntgenröhre mit Mg/Zr-Doppelanode und eine Gasentladungslampe. Die Röntgenröhre wurde von WEYERS in Anlehnung an Pläne von KAMPEN [Kam95a] konstruiert und im Rahmen dieser Arbeit fertiggestellt. Bei der Erzeugung der Mg($K\alpha$)- bzw. Zr($M\zeta$)-Strahlung wurde die Röntgenröhre mit 80 W bzw. 40 W betrieben. HeI-Strahlung wurde in der differentiell gepumpten Gasentladungslampe [Nun87] bei einem He-Druck von 3,5 Pa an der ersten Pumpstufe mit einem Betriebsstrom von 40 mA erzeugt. Der Druck in der Analysechamber stieg während des Betriebs der Gasentladungslampe auf etwa $1,5 \times 10^{-7}$ Pa. Dies führte jedoch nicht zur Kontamination der Probenoberflächen, da Helium der Reinheit 5.0 benutzt und die Zuleitung vor dem Betrieb der Lampe mehrmals gespült wurde.

Zur Aufnahme von Energieverteilungskurven der emittierten Elektronen stand zu Beginn dieser Arbeit ein Zylinderspiegelanalysator (CMA) zur Verfügung. Wegen des energieabhängigen Auflösungsvermögens des CMA ($\Delta E/E = 0,5\%$ [Var]) wurden mit diesem Analysator nur UPS-Untersuchungen durchgeführt. Nach dem Umbau der Analysechamber konnten (S)XPS-Messungen mit einem konzentrischen, hemisphärischen Energieanalysator (Fa. VSW, Modell HSA 100) durchgeführt werden. Da die kinetische Energie der Elektronen vor dem Eintritt in die Hemisphäre auf eine feste Transmissionsenergie (*Pass-Energie*) retardiert wird, ist das Auflösungsvermögen dieses Analysators energieunabhängig. Des Weiteren ist die Winkelakzeptanz dieses Analysators auf $\pm 5^\circ$ begrenzt, weshalb alle

Quelle	Energie [eV]	Linienbreite [eV]	<i>Pass</i> -Energie [eV]	Auflösung [eV]	Informationstiefe [Å]
Mg(K α)	1253,6	0,68	22	0,9	20 – 30
Zr(M ζ)	151,2	0,77	9	1,2	6 – 8
HeI	21,22	3×10^{-3}	4,4	0,15	10 – 20

TABELLE 3.2: Energien und Linienbreiten [CaL78] der zur Photoemissionsspektroskopie verwendeten Anregungsquellen. Die angegebene Auflösung ist die gemessene Gesamtauflösung der jeweiligen Quelle in Kombination mit dem Energieanalysator.

PES-Untersuchungen mit dem HSA in Richtung der Oberflächennormalen aufgenommen wurden, um so die beste Definition dieses Winkels zu gewährleisten. Wegen des großen Abstandes zwischen der Fokusebene und dem Eintrittsspalt des HSA ergaben sich Probleme bei UPS. Aufgrund der fehlenden magnetischen Abschirmung der Analysekommer konnte die Sekundärelektroneneinsatzkante (SEK) mit dem HSA nicht reproduzierbar spektroskopiert werden. Daher wurden bis auf wenige Ausnahmen alle UPS-Untersuchungen zuerst mit dem CMA gemessen und später lediglich der Bereich ab 5 eV oberhalb der SEK mit dem HSA reproduziert.

Einige wichtige Parameter der verwendeten Anregungsquellen und des HSA sind in Tabelle 3.2 zusammengefaßt. Als Auflösung ist die Gesamtauflösung bei der jeweiligen Quelle im Zusammenspiel mit der am HSA eingestellten *Pass*-Energie angegeben. Die Informationstiefe ergibt sich aus der energieabhängigen Ausdringtiefe der jeweiligen Photoelektronen [SeD79]. Weiterhin sei erwähnt, daß Untersuchungen zur Abhängigkeit der Intensität vom Probenort eine Ortsauflösung von 10 mm in vertikaler und 4 mm in horizontaler Richtung ergaben, wobei die genannten Längen die Halbwertsbreiten von GAUSS-Profilen sind. Aus diesem Grunde wurden für Untersuchungen mit dem HSA Proben spezieller Größe geschnitten, sodaß die zu spektroskopierende Fläche $14 \times 8 \text{ mm}^2$ betrug.

3.4.4 I(V)-Meßplätze

Zur Charakterisierung der SCHOTTKY-Dioden wurden I(V)-Kennlinien aufgenommen. Diese Messungen wurden außerhalb des UHV mit Hilfe spezieller Meßplätze im Dunkeln durchgeführt, um unerwünschte Anregungen von Ladungsträgern zu vermeiden [Goo63].

Messungen bei Raumtemperatur wurden an Luft durchgeführt, wobei die Proben an einem Kunststoffhalter befestigt wurden. Zur Kontaktierung dienten Me-

tallspitzen, die mit Mikrometerschrauben auf die Metalldots bzw. die Probenrückseite gefahren werden konnten. Die vordere Metallspitze ist mit einer Goldkugel versehen, welche die Auflagefläche vergrößern und der Oxidation der Spitze vorbeugen soll. Messungen bei tiefen Temperaturen wurden unter Schutzvakuum in einem Rezipienten [Schm98] durchgeführt. Dieser wird zuerst mit einer Turbomolekularpumpe auf etwa 10^{-4} Pa evakuiert. Anschließend wird durch das Füllen des ersten Stickstofftanks das im Restgas befindliche Wasser ausgefroren. Erst danach wird mit Hilfe des zweiten Stickstofftanks die Probe gekühlt. Hierdurch wird der Vereisung der Probe vorgebeugt, um so Kriechströme zu vermeiden.

Bei beiden Meßplätzen wurde ein, bis auf die im Vakuum liegenden Zuleitungen und Kontaktierungsspitzen, identischer elektrischer Aufbau benutzt. Das Prinzipschaltbild dieses Aufbaus ist in Abbildung 3.3 dargestellt. Zur Aufnahme der $I(V)$ -Kennlinien wurde eine programmierbare Spannungsquelle mit integriertem Ampèremeter KEITHLEY SMU 236 benutzt. Spannungskonstanz und Stromauflösungsvermögen werden vom Hersteller mit 1 mV und 10 fA angegeben. Jeder $I(V)$ -Meßpunkt wird als Mittelung aus 32 Einzelmessungen mit einer Integrationszeit von je 20 ms aufgenommen. Die automatische Aufnahme der Kennlinien wurde von einem Rechner über einen IEEE-488-Bus gesteuert.

Weiterhin bestand die Möglichkeit, Sperrschichtkapazitäten mit einer Kapazitätsmeßbrücke der Fa. BOONTON (Modell 72B) zu messen. Für eine genauere Beschreibung der beiden Meßplätze und des elektrischen Aufbaus, insbesondere zur Messung von Sperrschichtkapazitäten, sei auf [Schm98] verwiesen.

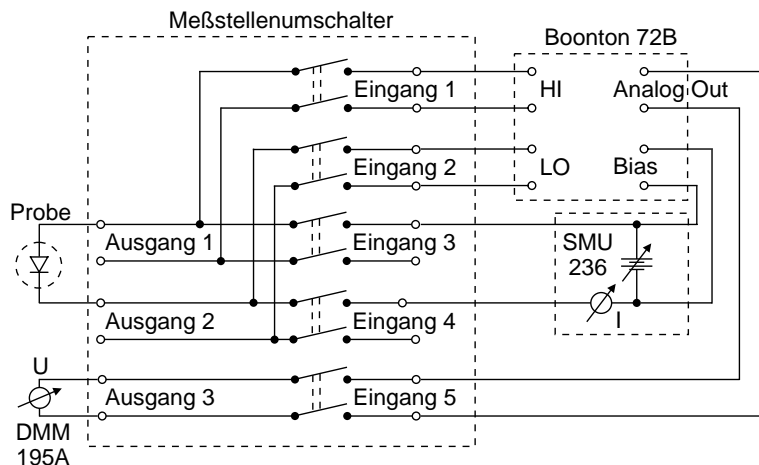


ABBILDUNG 3.3: Schaltbild der $I(V)$ -Meßplätze.