

## Klausurersatzleistung

Praktikum beim Max-Planck-Institut für  
Struktur und Dynamik der Materie

10.02.2020 – 23.02.2020

Pia Meins

Klasse 11A

Politik-Wirtschaft

## Inhaltsverzeichnis

1. ABF I :

Beschreiben Sie die Beschäftigungsstruktur/Organisationsstruktur/den Aufbau Ihres Praktikumsbetriebes.

- Seite 3

2. ABF II + III :

Vorstellung des RIE-Prozesses

- Seite 4-7

Bewertung der Nachhaltigkeit

- Seite 7-8

3. Erwartung :

- Seite 8

4. Reflexion :

- Seite 8-9

**ABF I :**

Beschreiben Sie die Beschäftigungsstruktur/Organisationsstruktur/den Aufbau Ihres Praktikumsbetriebes.

Das Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie in Hamburg ist Teil der Max-Planck-Gesellschaft, die deutschlandweit 86 Forschungsinstitute mit den unterschiedlichsten Schwerpunkten betreibt und durch überwiegend öffentliche Mittel finanziert wird. Die Gesellschaft befasst sich hauptsächlich mit Grundlagenforschungen im Bereich der Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften, welche der Allgemeinheit dienen sollen. Im MPSD konzentriert man sich jedoch gezielt auf den Teilbereich der Laserphysik und erforscht die Auswirkungen von Laserstrahlen auf die Eigenschaften von Materialien.

Das Institut ist auf den ständigen Austausch mit Wissenschaftlern aus den verschiedensten Ländern angewiesen und deswegen auf dem DESY-Campus in dem Hamburger Stadtteil Bahrenfeld angesiedelt. In dem Institut sind Menschen aus über 140 Nationen angestellt, die nicht nur als Wissenschaftler der Physik, sondern auch als Verwaltungspersonal, IT-Manager, Maschinenbauer, etc. arbeiten und wesentlich an den Forschungsergebnissen beteiligt sind. Dabei sind die Angestellten in Forschungsgruppen unterteilt, die sich auf verschiedene Projekte konzentrieren und eigene Geld-Etats besitzen. Die Gruppen-Leiter stehen jedoch immer in Kontakt und beraten sich über Probleme oder neue Erkenntnisse, was zu flexiblen Arbeitszeiten im Bereich der Forschung führt. In dem Bereich der Verwaltung sieht dies jedoch geregelter aus und die meisten Bürokräfte haben feste Arbeitszeiten. Sie sorgen dafür, dass die Finanzen verwaltet und benötigte Gelder der Forschungsgruppen an den Hauptsitz der Max-Planck-Gesellschaft in München weitergeleitet werden. Da in dem Gebäude, wo das Institut seine Labore und Büros hat, noch die Uni Hamburg und Forschungsgruppen von DESY untergebracht sind, arbeiten IT-Angestellte und Maschinenbauer hauptsächlich für den gesamten Komplex und richten sich nach der Forschung und nicht nach einer bestimmten Gruppe. Sie helfen den Wissenschaftlern bei neuartigen Problemen und fertigen neue Geräte oder Programme für neue Abläufe und Experimente an. Grundlegende Ideen und Visionen für die gesamte Forschung erarbeiten die theoretischen Physiker, die sich dann an die Experimentalphysiker richten um Theorien bestätigen zu lassen und neue Forschungen anregen.

**ABF II + III:**

Vorstellung des RIE-Prozesses und die Bewertung in Hinsicht auf die Nachhaltigkeit.

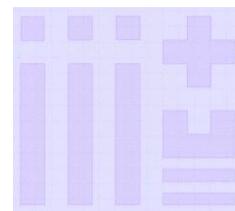
In dem MPSD befasst man sich mit physikalischen Grundlagenforschungen und benutzt dafür vor allem Lasertechnik und ultraschnelle Elektronenstrahlen.

Grundlagenforschung bedeuten in diesem Sinne verschiedene Materialien so zu erforschen, dass andere Wissenschaftler diese Erkenntnisse in der Anwendung nutzen können. Man versucht zum Beispiel herauszufinden bei welchen Bedingungen Stoffe supraleitend werden, damit in der Anwendung Stromleitungen so effizient wie möglich konstruiert werden können, um einen geringeren Energieverlust herbeizuführen.

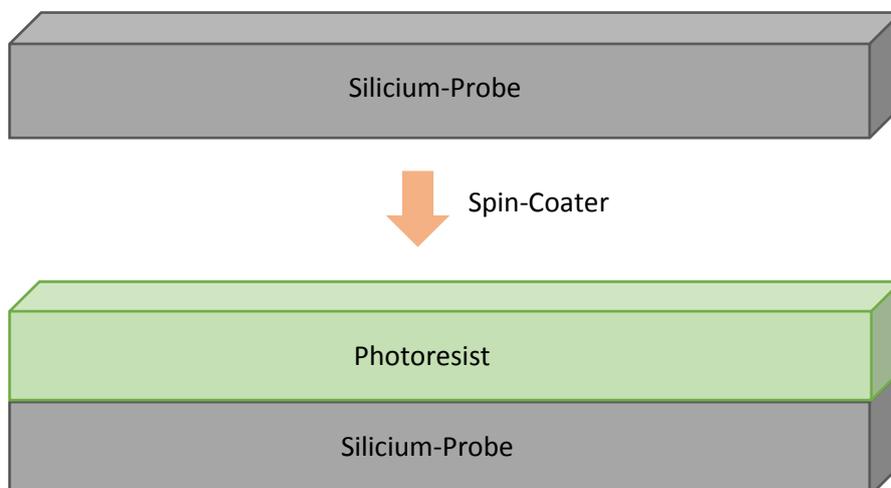
Um solche Erkenntnisse zu erlangen, müssen viele Prozesse durchgeführt werden. Eines dieser Verfahren ist eine spezielle Methode des Trockenätzens, bei dem zwei Ätzmechanismen kombiniert werden. Man nennt diese Methode RIE-Prozess.

Doch um die Notwendigkeit dieses Verfahren zu schildern, muss der Vorgang einer Probenanfertigung von Beginn an beschrieben werden.

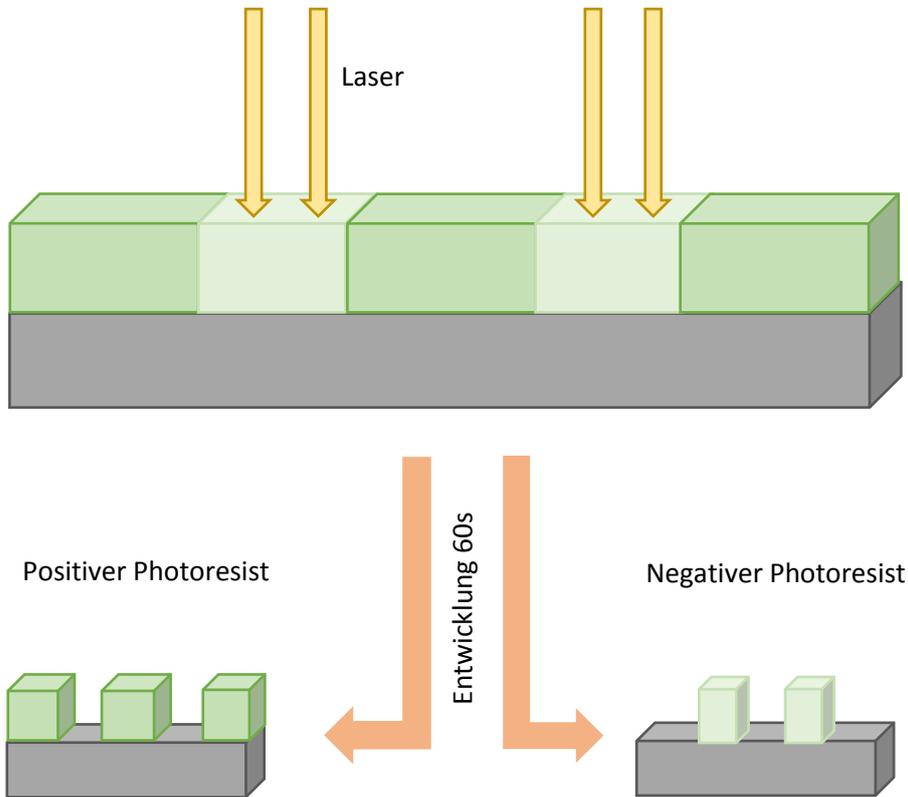
1. Als erstes muss eine Struktur mit dem Programm KLayout-Design erstellt werden. Das wird dann später auf die vorbereitete Probe lithografiert.



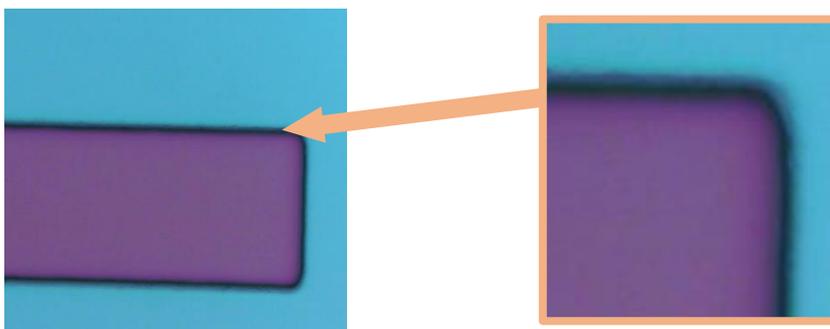
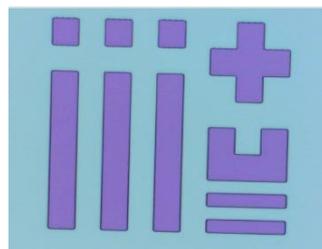
2. Dann wird eine 10x10 Millimeter messende Probe aus Silicium gereinigt und mit einem ausgewählten Photoresist beschichtet, um eine Laserlithografie zu ermöglichen.



3. Als nächstes folgt die Belichtung durch das Laserlithografie-System, bei dem der Laser durch direkte Einstrahlung die Mikrostruktur auf die Probe schreibt. Dabei gibt es zwei unterschiedlich reagierende Photoresist-Arten, die nach dem Entwickeln deutlich werden.



Nach diesem Vorgang muss unter einem Mikroskop kontrolliert werden, ob der Rand der Struktur scharf ist, um bei dem RIE-Prozess ein gutes Ergebnis zu erlangen. Bei Bedarf sollte die Entwicklungszeit verlängert werden, damit ein sogenannter „Undercut“ entsteht.



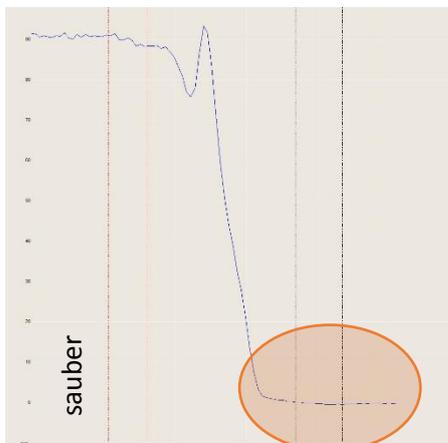
Ergebnis eines positiven Photoresist

Nun kann der komplexe RIE-Prozess angewendet werden, um die Struktur in die Probe zu ätzen. Der Vorgang des Trockenätzens funktioniert durch eine Kombination von physikalischen und chemischen Vorgängen. Dabei wird ein ionisiertes Reaktionsgas in einen vorher vacuuierten Raum gegeben.

Der Druck misst währenddessen nur  $(1 \text{ bis } 5) \cdot 10^{-6}$  hPa, was im Vergleich zum Normaldruck (1013,25 hPa) sehr gering ist. Durch spezielle Pumpsysteme wird versucht eine sehr geringe Anzahl an Atomen und Molekülen in dem Reaktionsraum zu erzeugen, um die Fehlerquote während der Reaktion so gering wie möglich zu halten. Diese Pumpen benötigen jedoch sehr viel Energie und verbrauchen, durch die ständige Ventilation des Reaktionsraums, rund 10.000 kWh pro Jahr. Dazu im Vergleich verbraucht ein durchschnittlicher 4-Personen-Haushalt 5.000 kWh im Jahr. Da stellt sich natürlich die Frage inwiefern dieser hohe Energieverbrauch auf das gesamte Institut hochgerechnet in der Zukunft vertretbar ist.

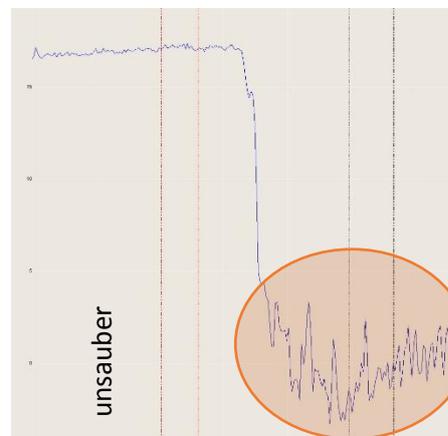
Mithilfe des ionisierten Gases wird die Bindung zwischen den Atomen an der Oberfläche der Probe geschwächt oder komplett zerstört. Durch die Hinzugabe eines reaktiven Gases und die Zuführung von Energie, wird eine chemische Reaktion mit den gelösten Atomen aus der Oberfläche und den Gasen wie zum Beispiel Sauerstoff und Schwefelhexafluorid aktiviert.

Je nach der Einstellung unterschiedlicher Parameter ätzt die Gasmischung schneller oder sauberer (siehe Abbildungen).



Silicium

2 Minuten mit 200 W  
90,1 nm



Silicium mit Siliciumdioxid-Beschichtung

2 Minuten mit 100 W  
18,0 nm

Während des Praktikums war es die Aufgabe die Parameter so anzugleichen, dass ein gleichmäßiger und sauberer Ätzprozess stattfindet. Da es sich um ein neues Gerät handelt, sei es am Anfang wichtig die Parameter richtig einzuschätzen, um die Fehlerquote bei späteren Versuchen gering zu halten.

Da es sich häufig um Ergebnisse handelt, die nicht mit dem menschlichen Auge sichtbar sind, kann ausschließlich ein Atomkraftmikroskop genaue Erkenntnisse liefern. Dieses Mikroskop arbeitet mit einer feinen Nadel, die die Oberfläche der Probe abtastet und die genaue Ätztiefe bestimmt.

| Material            | Prozess time [s] | ICP [W] | RF [W] | Prozess pressure [Pa] | Prozess temperature [°C] | O2 [sccm] | CHF3 [sccm] | SF6 [sccm] | Ar [sccm] | Recipe name                 | etching depth |
|---------------------|------------------|---------|--------|-----------------------|--------------------------|-----------|-------------|------------|-----------|-----------------------------|---------------|
| Si                  | 120              | 50      | 9      | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 2.5 nm        |
| Si                  | 300              | 50      | 9      | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 5.85 nm       |
| Si                  | 600              | 50      | 9      | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 13.5 nm       |
| Si                  | 120              | 70      | 12     | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 3.83 nm       |
| Si                  | 120              | 100     | 16     | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 11.1 nm       |
| Si                  | 120              | 200     | 80     | 2                     | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 90.1 nm       |
| Material            | Prozess time [s] | ICP [W] | RF [W] | Prozess pressure [Pa] | Prozess temperature [°C] | O2 [sccm] | CHF3 [sccm] | SF6 [sccm] | Ar [sccm] | Recipe name                 | etching depth |
| Si-SiO <sub>2</sub> | 120              | 50      | 9      | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 5.15 nm       |
| Si-SiO <sub>2</sub> | 600              | 50      | 9      | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 22.7 nm       |
| Si-SiO <sub>2</sub> | 1200             | 50      | 9      | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 34.9 nm       |
| Si-SiO <sub>2</sub> | 120              | 70      | 12     | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 6.48 nm       |
| Si-SiO <sub>2</sub> | 120              | 100     | 16     | 0,8                   | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 18.0 nm       |
| Si-SiO <sub>2</sub> | 120              | 200     | 80     | 2                     | 30                       | 90        | /           | 10         | /         | hBN on SiO <sub>2</sub> /Si | 115 nm        |

## Nachhaltigkeit

In dem MPSD werden viele energie-intensive Geräte betrieben, die den Jahresenergieverbrauch von durchschnittlichen Haushalten deutlich überschreiten. Und da stellt sich in Zeiten von Fridays for Future und dem wachsenden Bewusstsein für Umweltschutz die Frage, ob ein so hoher Energieverbrauch durch ein Institut vertretbar ist, auch wenn es keine direkte Produktionsmenge hat und somit kein direkter Akteur in der deutschen Wirtschaft ist.

Durch den direkten Einblick in den Alltag des Instituts und die Einstellung zur Arbeit, schätze ich die Vertretbarkeit sehr gut ein, denn die Wissenschaftler sind alle daran interessiert, so effizient wie möglich zu arbeiten und die vorhandenen Mittel nicht verschwenderisch zu nutzen. Die Max-Planck-Gesellschaft fordert regelmäßig Forschungserkenntnisse, die als wichtig und neu angesehen werden können, um

möglicherweise auch Nobelpreisträger zu erbringen. Dadurch ist eine gute Basis des Ehrgeizes geschaffen und es wird jeden Tag daran gearbeitet neue Erkenntnisse zu erlangen, seien sie negativ oder positiv, hinsichtlich des endgültigen Ergebnisses.

Der hohe Energieverbrauch lässt sich häufig nicht vermeiden und ist dadurch aus meiner Sicht nicht negativ zu behaften. Die Geräte, die davon betrieben werden, sind maßgebend für die Forschungsfortschritte und werden in einigen Jahren in vielen Bereichen des Lebens Abläufe vereinfachen und somit langfristig einen großen Nutzen für Menschen darstellen.

Letztendlich wird diese Energie nicht ohne Grund verbraucht, sondern gewissenhaft zum Wohle der Allgemeinheit. Deswegen bin ich eindeutig der Meinung, dass man die Nachhaltigkeit der deutschen Forschung keinen Falls als negativ betrachten sollte, sondern als kleines Übel in Hinblick auf Innovation sehen sollte.

## **Erwartung**

Ich habe mir von dem Praktikum erhofft, dass ich eine genauere Vorstellung bekomme, welche Richtung mir in den Naturwissenschaften am besten gefällt. Dadurch dass ich in Biologie und Chemie schon immer Spaß hatte, hatte ich mich für ein eher physikalisches Praktikum entschlossen. Ich wollte mich davon überzeugen, dass Physiker auch Menschen sind mit denen ich später klarkommen würde, da ja häufig das Vorurteil von introvertierten und komisch-wirkenden Wissenschaftlern im weißen Kittel herrscht. Ich wollte aber auch einfach erfahren welchen Tagesablauf und Arbeitsablauf man in einem Forschungsinstitut anfindet. Aber auch welche Stimmung zwischen den Mitarbeitern herrscht. Durch die Nähe zu der Universität Hamburg habe ich mir auch einen Einblick in den Alltag eines naturwissenschaftlichen Studenten erhofft.

## **Reflexion**

Das Praktikum hat mir einen sehr guten Aufschluss über die Arbeit in dem Institut gegeben, da ich viel praktisch arbeiten durfte, aber auch den Büroalltag kennengelernt habe. Ich würde Physiker als sehr soziale Menschen bezeichnen bzw. kann ich das von denen behaupten die ich kennenlernen durfte. Ich habe viele Werkstudenten

getroffen, die mir über ihr Arbeit erzählt haben und sehr zufrieden mit den Möglichkeiten des MPSD waren.

Ich habe herausgefunden, dass auch die physikalische Richtung mir gefällt und gleichzeitig habe ich gemerkt, dass Biologie wohl eher Nichts für mich ist. Ich habe also für meine persönliche Zukunft viele Erkenntnisse gesammelt, die alle in gewisser Weise hilfreich sind.