

Halbleitertechnologie und Ionenimplantation

SOWAS-Projekt an der Fakultät für Physik und Astronomie

Nina Niedworok, Bastian Schmüling

Projektbeschreibung

Das Thema dieses SOWAS-Projektes (Selbst-Orientiertes wissenschaftliches Arbeiten im Studium) war die Herstellung und Vermessung eines modulations-dotierten Feldeffekttransistors (MODFET) und eines In-Plane-Gate-Transistors (IPG).

Das Projekt wurde im Rahmen des Halbleitertechnologie-Praktikums am Lehrstuhl für angewandte Festkörperphysik an der Fakultät für Physik und Astronomie an der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt.

Ziel des Projekts

Bestandteil des Projektes waren die Prozessierung eines MODFET und eines IPG, sowie die Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinien des funktionierenden MODFET. Der MODFET wurde darüber hinaus auf die Veränderung der Kapazität in Abhängigkeit der Spannung am Gate untersucht. Die Messung wurde zusätzlich bei 4K durchgeführt, um eine Temperaturabhängigkeit zu beobachten. Anschließend wurde das Verhalten des Transistors bei Beleuchtung mit einer Infrarot-Lichtquelle bei Tieftemperatur untersucht.

Einleitung

Grundlegendes Bauteil beider Transistoren ist ein Halbleiter bestehend aus GaAs und AlGaAs. Um einen Transistor herzustellen sind drei Bauteile nötig: Zwei ohm'sche Kontakte und ein Gate. Beim MODFET wird der Stromfluss zwischen den ohm'schen Kontakten über das elektrische Feld des Gates gesteuert. Je nach angelegter Spannung am Gate wird der Kanal von Ladungsträgern verarmt oder angereichert. Beim IPG bilden implantierte Ionenlinien das Gate und beeinflussen so den Stromfluss zwischen den Kontakten. Im Gegensatz zum MODFET ist das Gate nach Fertigung nicht mehr veränderbar. Verschiedene Formen und Abstände der Linien erzeugen unterschiedlich starke elektrische Felder und somit andere Steuerwirkung.

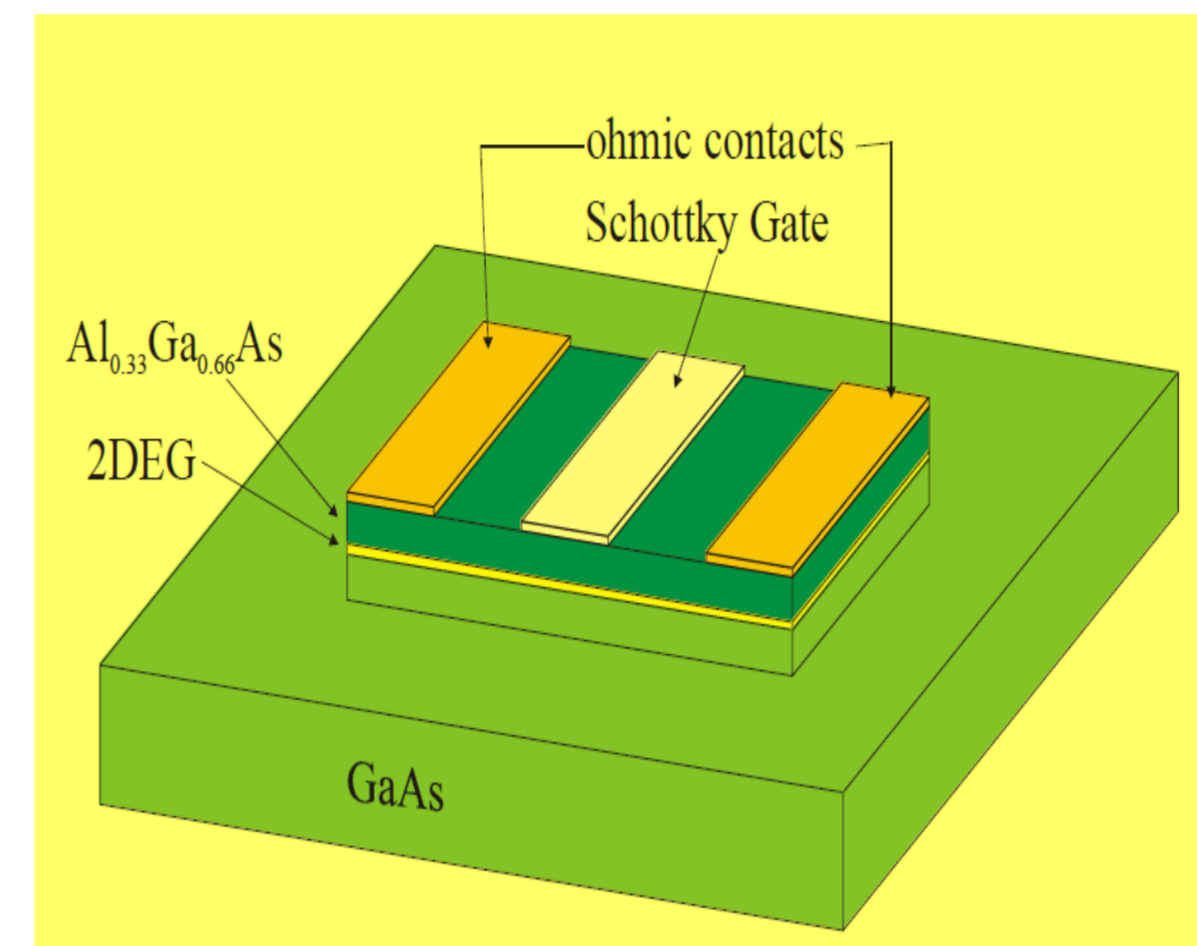


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines MODFET

Abbildungen entnommen aus dem Praktikumsbegleitskript zur Halbleitertechnologie und Ionenimplantation (herausgegeben vom Lehrstuhl für angewandte Festkörperphysik, Fakultät für Physik und Astronomie, Ruhr-Universität Bochum)

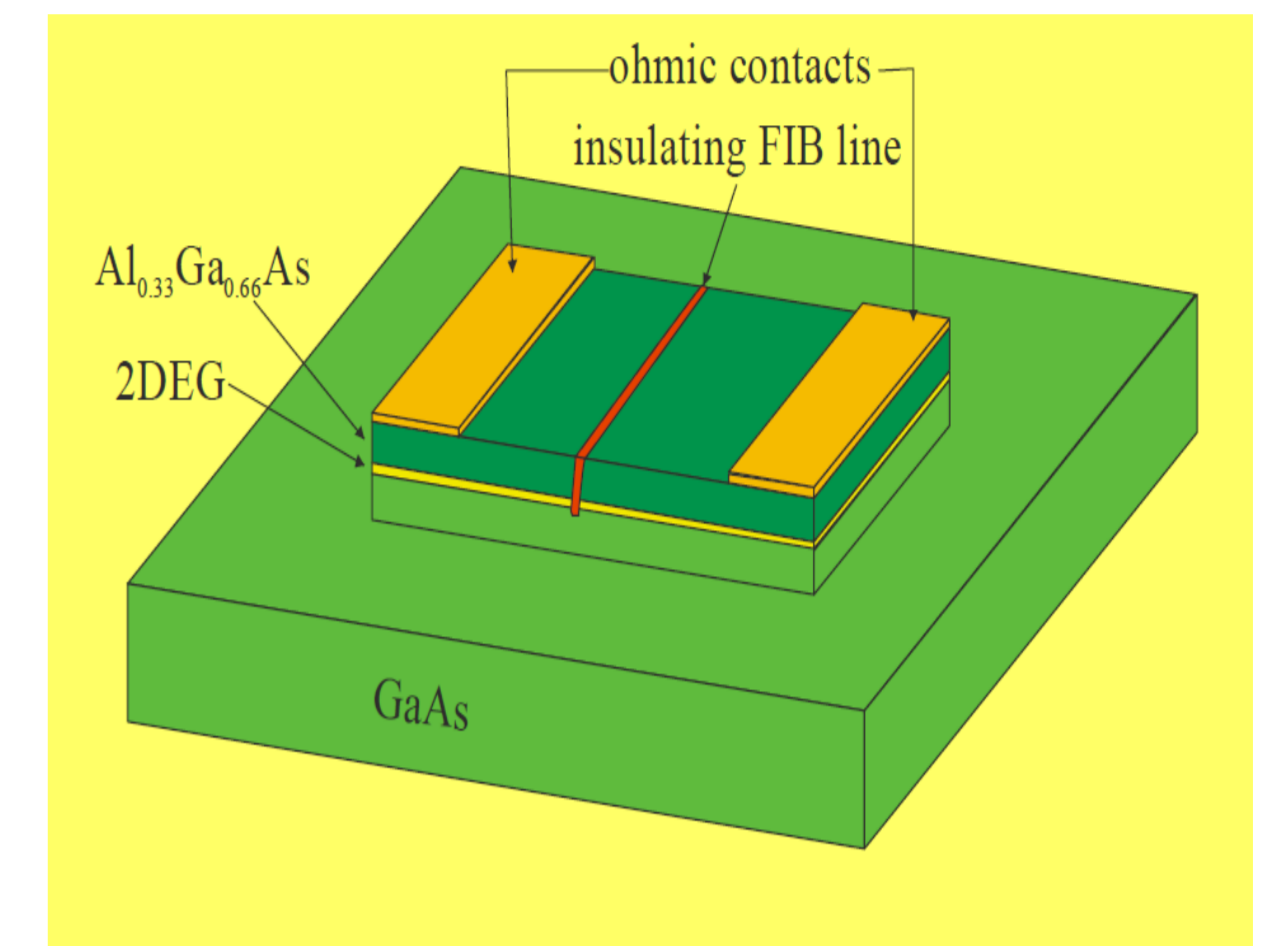


Abb. 2: Schematischer Aufbau eines IPG

Prinzipien der Prozessierung

Es wurden verschiedene Masken belichtet, um Strukturen für die Mesa (erhobene Halbleiterstruktur), die Kontakte und die Gates aufdampfen zu können.

Die wichtigsten Schritte in der Prozessierung waren:

- 1. Brechen der Proben:** Die Kristallstrukturen des Halbleiters ermöglichen Bruchkanten entlang gerader Linien. Der Halbleiter wurde also so angeritzt, sodass er entlang einer Kristallebene bricht.
- 2. Photolithographie:** Der mit Lack beschichtete Halbleiter wurde mit verschiedenen Masken belichtet. An den unbelichteten Stellen bleibt der Lack erhalten (Positiv-Lack). Durch Ätzen bildet sich die gewünschte Struktur.
- 3. Aufdampfen:** Es wurden verschiedene Metallschichten aufgedampft. Sie dienen als Dotierung, als Eutektikum, als Haftvermittler und als Kontaktfläche.
- 4. Lift-Off:** Durch Auftragen eines Lift-Off-Lacks ist es möglich Strukturen für Metalle zu übertragen.
- 5. Bonden:** Zur vereinfachten Steuerung der Gates und der Kontakte wurden diese durch Draht mit einem Chipkarrier verbunden.
- 6. Focused Ion Beam (nur für den IPG):** Durch starkes Erhitzen von Berillium wurden fokussierte Ionen in der Probe implantiert. Verschiedene Formen und Dichten der Linien beeinflussen den Kanal.

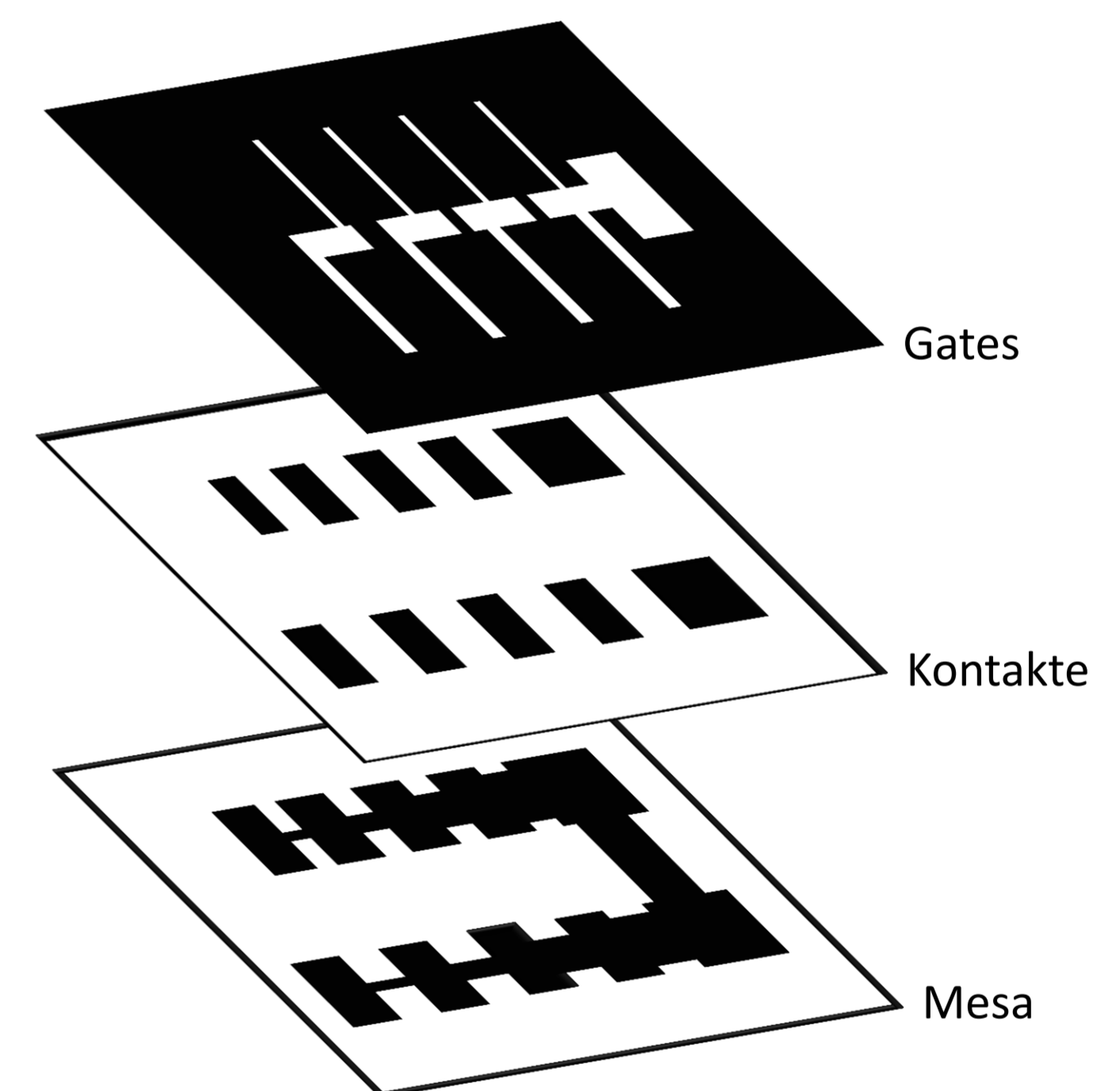
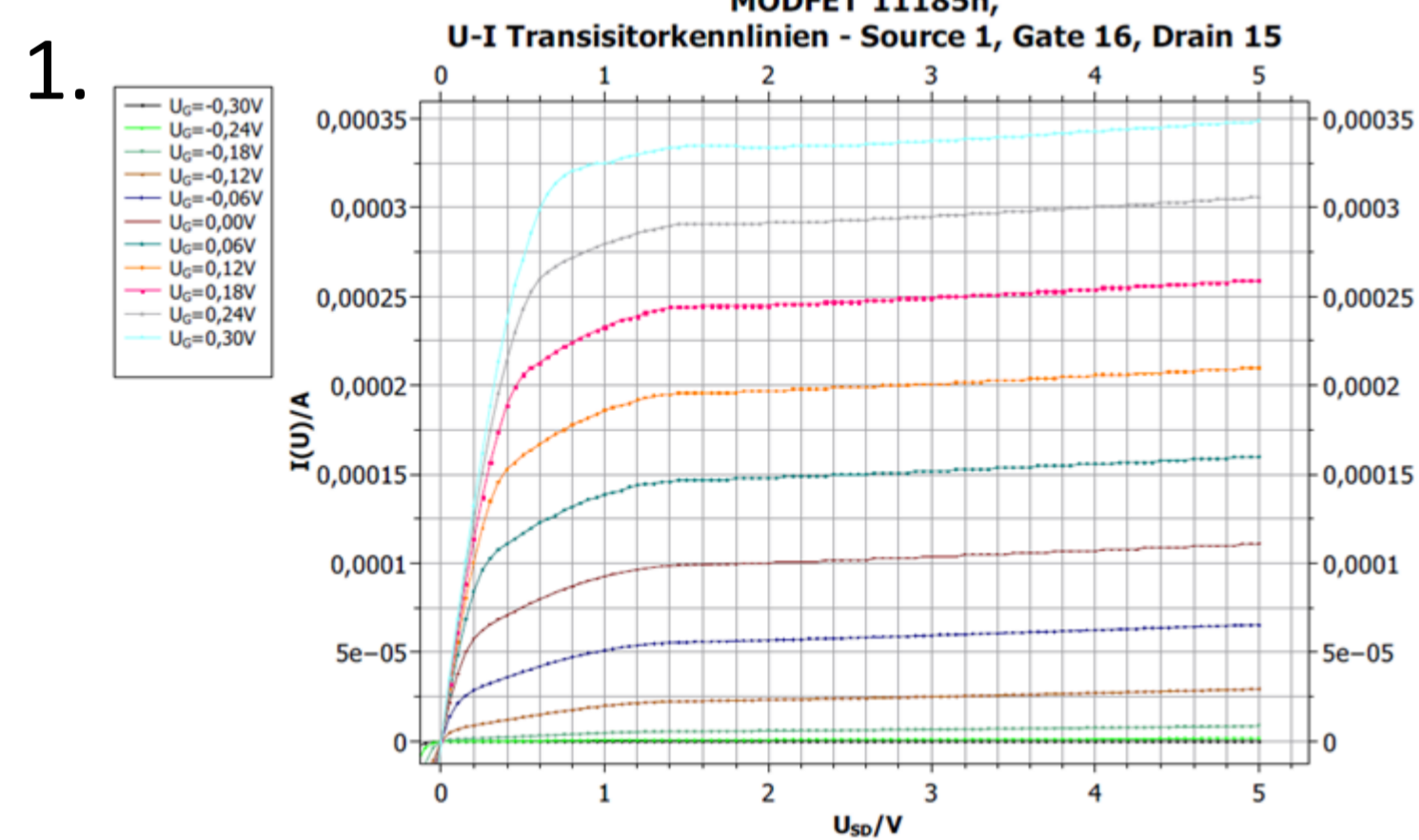
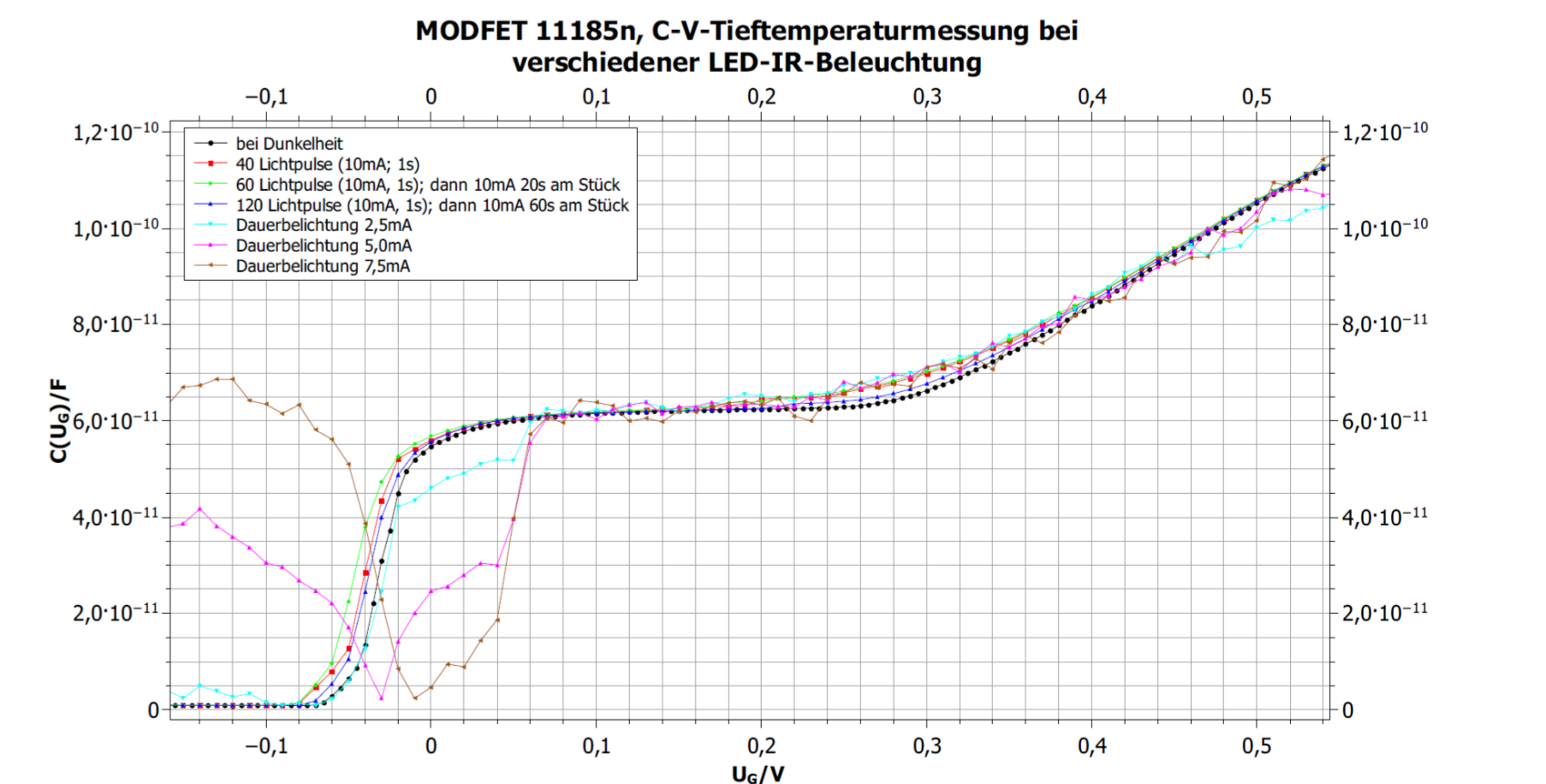
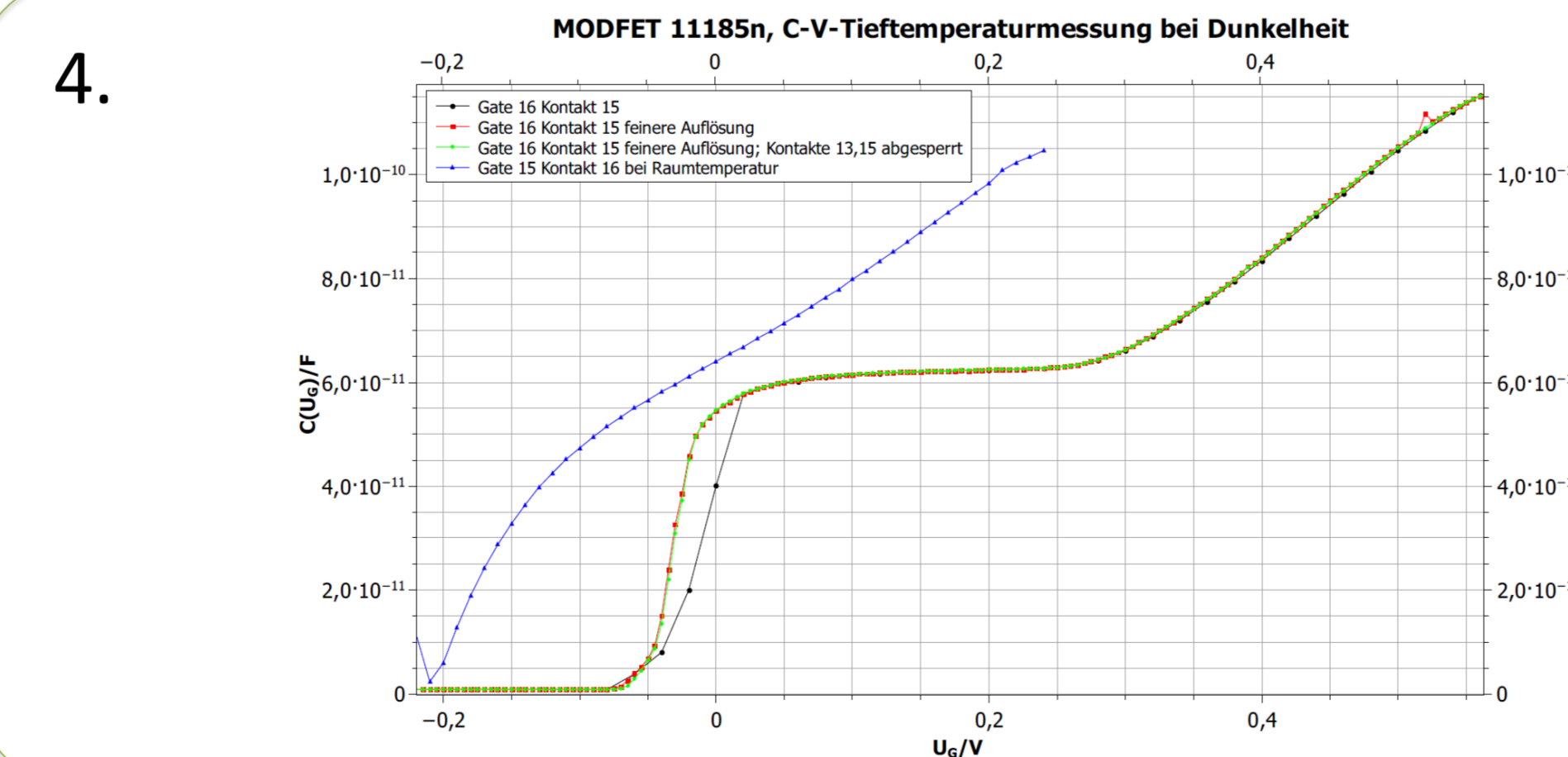
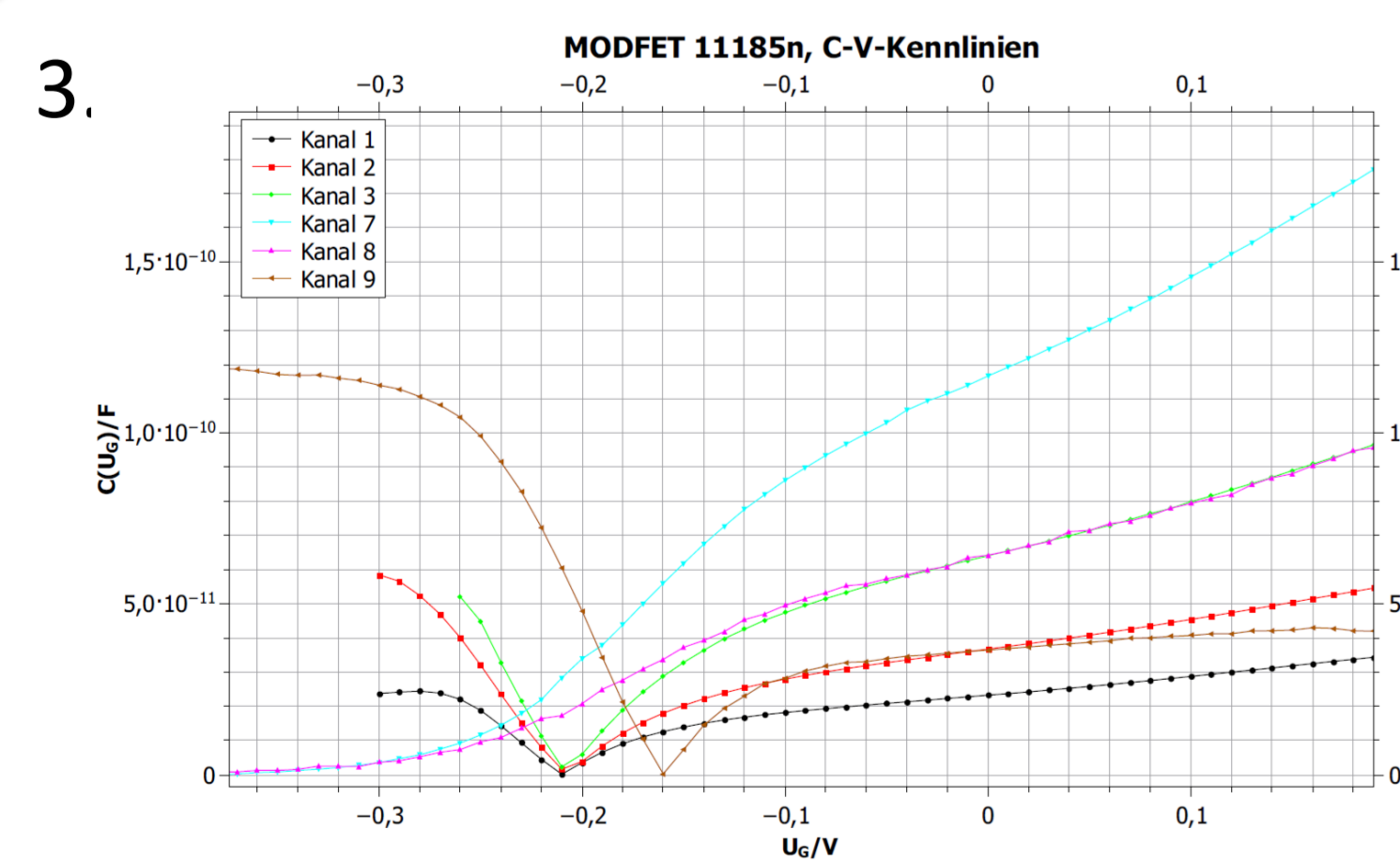
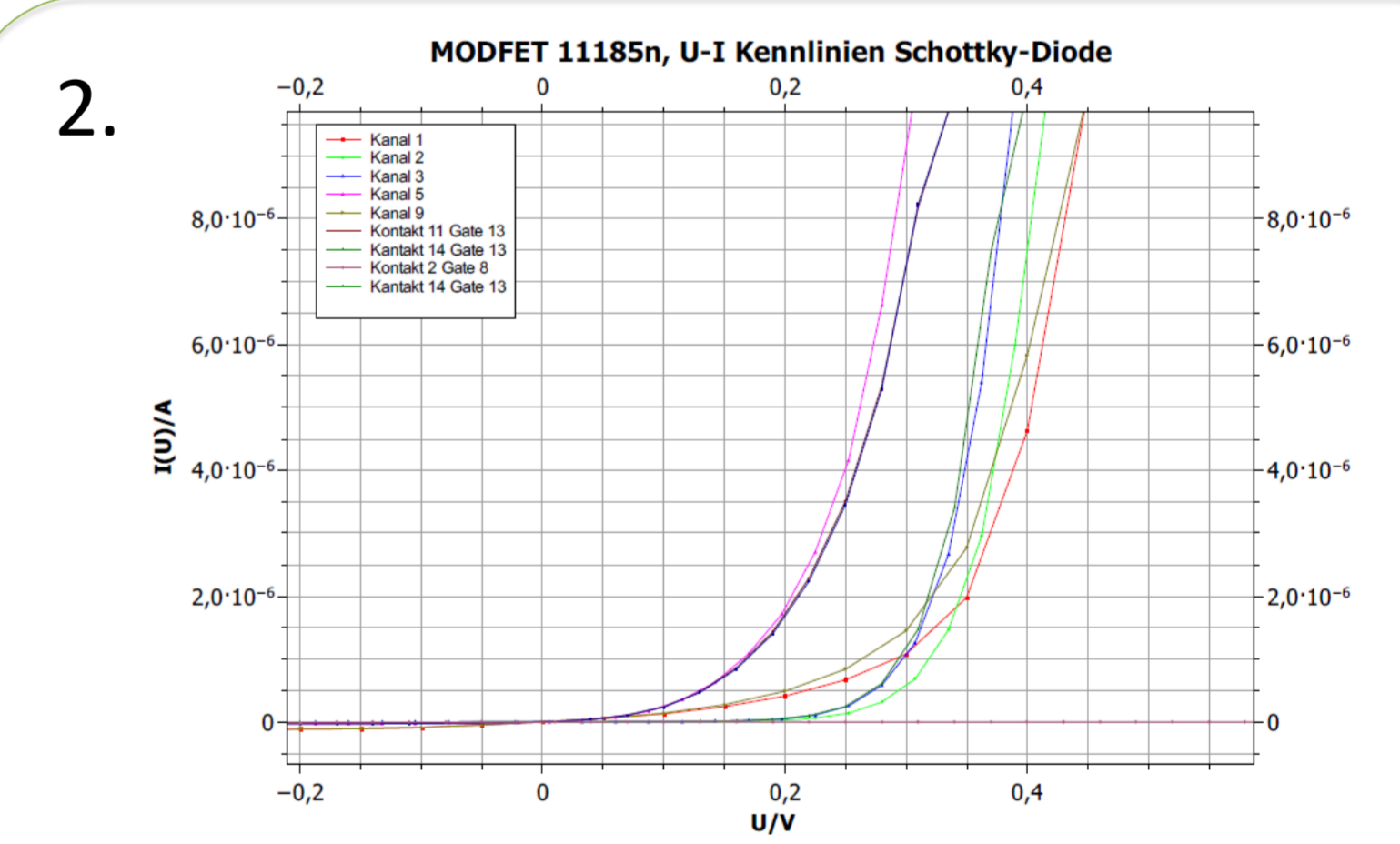


Abb. 3: Belichtungsmasken für den MODFET



Messungen

- 1. Strom-Spannungs-Transistorkennlinien:** Bei jeweils konstanter Gatespannung U_G wurden Strom-Spannungs-Kennlinien aufgenommen.
- 2. Schottky-Diode:** Die Durchlassspannung der Schottky-Dioden wurde vermessen und Strom-Spannungs-Kennlinien wurden aufgenommen.
- 3. Kapazitäts-Spannungs-Kennlinien:** Der Transistor dient als Kondensator. Die dazugehörigen Kapazitäts-Spannungs-Kennlinien wurden aufgenommen.
- 4. Kapazitäts-Spannungs-Kennlinien bei Tieftemperatur:** Es wurde ebenfalls eine Kapazitäts-Spannungs-Messung durchgeführt, allerdings bei Tieftemperatur von 4K. Anschließend wurde der Transistor unter IR-Beleuchtung vermessen.



Zusammenfassung

Es wurden ein MODFET und ein IPG hergestellt. Der MODFET wurde auf verschiedene Parameter untersucht:

- 1. Strom-Spannungs-Transistorkennlinien:** Durch höhere Gatespannungen werden höhere Stromstärken erreicht, da der Kanal mit Ladungsträgern angereichert wird. Somit wurde die gewünschte Steuerwirkung festgestellt.
- 2. Schottky-Diode:** Erst nach Erreichen der Durchlassspannung kann ein Strom fließen. Unterschiede in Gates und Kontakten sind erkennbar.
- 3. Kapazitäts-Spannungs-Kennlinien:** Die erwartete Stromsättigung ist nicht stark ausgeprägt, da das Gate sich wie eine Schottky-Diode verhält und die Kapazitätsmessung durch diesen Effekt überlagert wird.
- 4. Kapazitäts-Spannungs-Kennlinien bei Tieftemperatur:** Die Stromsättigung ist hier deutlicher zu erkennen. Der Stromfluss beginnt erst bei höheren Spannungen als bei Raumtemperatur. Bei Beleuchtung mit einer Infrarot-Lichtquelle bleibt die Ladungsträgerdichte im Kanal erhalten, da die Elektronen nicht direkt in den niedrigeren Zustand relaxieren. Für die Messung ist also keine Dauerbeleuchtung nötig.