

Klausur „Physik und Technologie der Halbleiterbauelemente“

Datum: 03.03.2010

Dauer: 90min

Allgemeines: 4 Teile mit je 25 Punkten; kein Formelzettel, keine Kofferklausur!!!; Taschenrechner und Zeichenmaterial erlaubt.

Technologie:

Nennen Sie mind. 2 Vorteile von Siliziumdioxid für die Herstellung und den Betrieb von MOS Bauelementen.

Welche Eigenschaften müssen Dotierstoffe für Silizium erfüllen?

Warum hat reines GaAs eine kleinere Ladungsträgerlebensdauer als reines Si oder Ge?

Befindet sich ein Kristall mit einer bestimmten Grunddotierung der Konzentration N_B in einem Reaktionsraum mit einem intern Gas bei einer Temperatur zwischen 800 und 1200°C, so wandern (diffundieren) Dotieratome aus Kristall in den Gasraum aufgrund des Konzentrationsunterschiedes (Ausdiffusion). Wird in einem Ausgangskristall mit einer Grunddotierung B ein Dotierstoff A eindiffundiert, so findet gleichzeitig mit der Eindiffusion von A eine Ausdiffusion von B statt. ($D_B = D_A$)

- a) Wie sieht der ortsabhängige Konzentrationsverlauf $N(x)$ aus?
- b) Wie verschiebt sich die pn-Tiefe unter Berücksichtigung der Ausdiffusion?

Ionenimplantation ist das modernste und dominierende Verfahren zur Dotierung von Halbleiterkristallen in der Technologie der Mikroelektronik

- a) Nennen Sie drei Aufgaben des Ionenimplantationsprozesses!
- b) Zeigen Sie die Verteilung der Dotierstoffatome (Konzentration N) in Abhängigkeit von der Eindringtiefe x im Halbleiter durch Ionenimplantation!
- c) Welcher Schritt ist notwendig um bei einer Ionenimplantationsanlage den Prozess abzuschließen?

Physikalische Grundlagen

Ein Halbleiter wird mit einer durchdringenden Strahlung bestrahlt, so dass sich im Halbleiter überall die konstante Überschussgenerationsrate G einstellt.

- a) Welche Voraussetzungen müssen für die Anregung in einem homogenen Halbleiter erfüllt sein?
- b) Was hat die homogene Anregung für die Stromgleichung zur Folge?
- c) Zeichnen Sie für diesen Fall das Bändermodell inklusive der Quasi-Fermienergieebenen W_{Fn} , W_{Fp} einmal bei schwacher Injektion und einmal bei starker

Injektion!

- d) Welche Formel beschreibt den Zusammenhang zwischen Quasi-Ferminiveaus und den Majoritäts- bzw. den Minoritätsträgerdichten

Zeitliches Abklingen der Elektronenüberschussdichte:

- a) Wie lautet die Bilanzgleichung für Elektronen für die Elektronenkonzentration n bzw. Überschussladungsträgerkonzentration Δn ?
- b) In diesem feldfreien Halbleiterkristall werde nun die optische Generation von Ladungsträgern zum Zeitpunkt $t=0$ unterbrochen. Leiten Sie das Zeitgesetz her, nach dem die Überschussladungsträger abklingen! Geben Sie dabei auch die Überschussladungsträgerkonzentration zum Zeitpunkt $t=0$ an.
(Tip: die Bilanzgleichung hilft weiter!)

Wie vereinfacht sich die Stromgleichung unter Verwendung der Quasiferminiveaus. (2 Punkte)

Was ist das Quasiferminiveau und was beschreibt es?

Bei einer Debye-Scherrer- Aufnahme mit Röntgenlicht der Wellenlänge $1,56\text{\AA}$ werden für Wolfram bei einem Film von $57,3\text{mm}$ Durchmesser folgende Abstände zwischen symmetrisch zur Richtung des Primärstrahls liegenden Linien gemessen: $40,9\text{mm}$, $58,8\text{mm}$, $73,3\text{mm}$, $87,5\text{mm}$, $101,2\text{mm}$, $115,3\text{mm}$, $131,3\text{mm}$, $153,1\text{mm}$.

- a) Indizieren Sie diese Linien! Hinweis: Es sind die kleinsten Indizes zu suchen, deren Quadratsumme geradzahlig ist.
- b) Bestimmen Sie die Gitterkonstante!

Welcher Rekombinationsprozess dominiert in Silizium bei kleiner Dotierung?

PN-Übergang:

Zeichnen Sie die Stromdichte-Spannungskennlinie $J(U)$ von zwei unterschiedlichen Metall/Halbleiterkontakten: einem gleichrichtenden Schottky-Kontakt und einem Kontakt mit ohmschem Verhalten. Begründen Sie den Unterschied im Verlauf mit den jeweiligen Besonderheiten im Bändermodell.

Stellen Sie die $I(U)$ -Kennlinie für einen realen pn-Übergang in Flussrichtung in halblogarithmischer Darstellung dar und markieren Sie die drei wichtigen Bereiche. Nennen Sie die physikalischen Ursachen, die eine Abweichung dieser Kennlinie von der idealen Diode nach dem Shockley-Modell bewirken.

Wie lautet der allgemeine Ansatz, um den Einfluss von Rekombination oder Generation in der Raumladungszone zu beschreiben?

Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild, das den Nichtidealitäten einer realen Diode für alle Strombereiche Rechnung trägt. Ordnen Sie die verwendeten Komponenten den drei Bereichen zu.

Wie lassen sich die $I(U)$ -Gleichungen des Diffusionsstrombereichs und des Rekombinationsstrombereichs kombinieren, so dass eine resultierende Gleichung für beide Bereiche gültig ist. Wie ist dabei der Größenvergleich von j_{01} und j_{02} einzuordnen?

MOS-Transistor

Ein MOS-Varaktor bestehe aus der Schichtenfolge Aluminium, Siliziumdioxid und p-Substrat. Zeichnen Sie das Energiebändermodell von der Oberfläche eines p-Substrates bis in das neutrale Volumen für den Fall der starken Inversion. Markieren Sie das Volumenpotential φ_B und die Bandverbiegung Ψ_s . Kennzeichnen Sie den Midgap-Punkt. Wie groß ist die Bandverbiegung beim Übergang von schwacher zu starker Inversion? (2 Punkte)

Der Subthreshold-Bereich von MOSFETs ist wichtig für analoge Schaltungen, die mit niedriger Spannung bzw. geringer Leistung arbeiten.

- Wie wird der Subthreshold-Bereich definiert? Stellen Sie die Eingangskennlinien halblogarithmisch für den Subthreshold-Bereich dar.
- In welchem Zustand sind die Ladungsträger in dem Kanal, wenn der Transistor im Subthreshold-Bereich arbeitet und welcher Mechanismus ermöglicht den Stromfluss?

Die Schwellspannung des Kurzkanaltransistors kann durch diese Gleichung berechnet werden:

$$U_{IK} = U_{FB} + 2\varphi_F + \gamma \sqrt{2\varphi_F + U_{SB}} \left[1 - \frac{\alpha_1}{L} \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{qN_A}} \left(\sqrt{2\varphi_F + U_{SB}} + \frac{\alpha_2 U_{DS}}{\sqrt{2\varphi_F + U_{SB}}} \right) \right]$$

Erklären Sie den Einfluss der Source-Bulk- (U_{SB}) und Drain-Source-Spannung (U_{DS}) in Abhängigkeit von der Kanallänge (L) auf die Schwellspannung!