

Halbleitertechnologie von A bis Z

Bauelemente

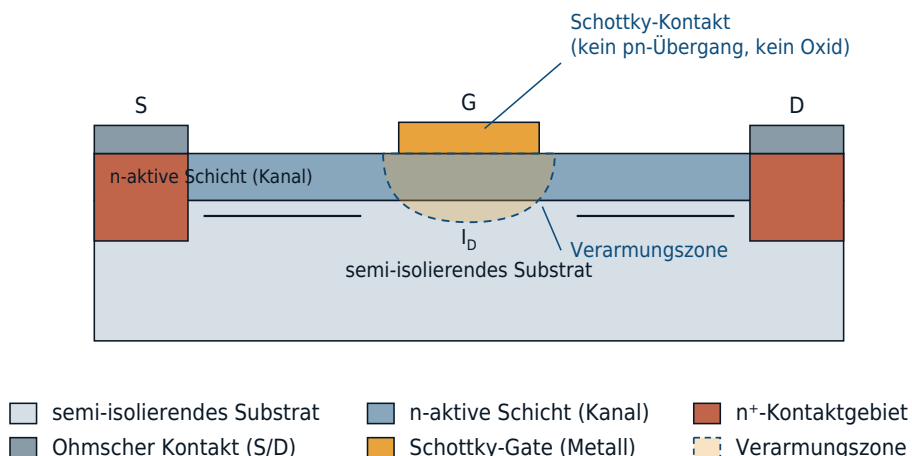
Der Metall-Halbleiter-FET (MESFET)	3
Aufbau	3
Funktionsweise: Schottky-Barriere und Verarmungszone	3
Betriebsarten: D-MESFET und E-MESFET	4
Materialsystem, Vor- und Nachteile	4
Anwendungen und Ausblick	4

Der Metall-Halbleiter-FET (MESFET)

Aufbau

Der MESFET wird typischerweise auf einem semi-isolierenden Substrat (bei GaAs meist chromdotiert oder undotiert mit tiefen Störstellen) gefertigt, das im unbeschalteten Zustand praktisch keinen Strom leitet. In dieses Substrat wird eine dünne, leicht dotierte aktive Schicht eingebracht, meist mittels Ionenimplantation oder Epitaxie – sie bildet den eigentlichen Leitungskanal. Source und Drain werden über stark dotierte Bereiche mit ohmschen Kontakten angeschlossen. Das Gate besteht aus einem direkt auf den Halbleiter aufgetragenen Metall, das mit dem darunterliegenden Kanal einen Schottky-Kontakt bildet – anders als beim JFET gibt es hier also keinen pn-Übergang und anders als beim MOSFET keine isolierende Oxidschicht zwischen Gate und Kanal.

Aufbau eines MESFET (Metal-Semiconductor FET)
Schottky-Gate auf semi-isolierendem GaAs-Substrat



Das Gate-Metall bildet direkt mit dem n-Kanal einen Schottky-Kontakt. Bereits ohne äußere Spannung bildet sich darunter eine Verarmungszone; eine negative Gate-Spannung vergrößert sie und schnürt den Kanal ein – analog zum JFET, jedoch ohne pn-Übergang oder Gate-Oxid.

Funktionsweise: Schottky-Barriere und Verarmungszone

An jedem Metall-Halbleiter-Übergang mit ausreichender Barrierenhöhe bildet sich bereits ohne äußere Spannung eine Verarmungszone im Halbleiter aus,

deren Breite von der eingebauten Schottky-Barrierenspannung abhängt. Legt man eine negative Gate-Source-Spannung an, vergrößert sich diese Verarmungszone und schnürt den darunterliegenden Kanal zunehmend ein – das Funktionsprinzip entspricht damit im Kern dem des JFET, nur mit einem Schottky- statt einem pn-Übergang als Steuerelement. Auch beim MESFET gilt näherungsweise die Shockley-Beziehung zwischen I_D , V_{GS} und einer Abschnürspannung V_p , wobei die genaue Kanalgeometrie (Dicke und Dotierung der aktiven Schicht) die Kennwerte bestimmt.

Betriebsarten: D-MESFET und E-MESFET

Ist die aktive Schicht dick bzw. hoch genug dotiert, dass bei $V_{GS} = 0\text{ V}$ bereits ein leitfähiger Restkanal existiert, spricht man vom Verarmungstyp (D-MESFET, „normally-on“) – der klassische, in der HF-Technik dominierende Fall. Wird die aktive Schicht dagegen so dünn und schwach dotiert ausgelegt, dass die eingebaute Verarmungszone den Kanal bei $V_{GS} = 0\text{ V}$ bereits vollständig ausfüllt, entsteht ein Anreicherungstyp (E-MESFET, „normally-off“), der erst durch eine positive Gate-Spannung leitfähig wird. Diese Kombination aus D- und E-MESFETs auf einem Chip ermöglichte in den 1980er/90er Jahren die sogenannte DCFL-Logik (Direct Coupled FET Logic) – eine schnelle, wenn auch leistungshungrige GaAs-Digitaltechnik, die u. a. in frühen Supercomputern und Satellitenanwendungen eingesetzt wurde.

Materialsystem, Vor- und Nachteile

MESFETs werden nahezu ausschließlich in III-V-Verbindungshalbleitern wie GaAs oder InP gefertigt, da diese Materialien – anders als Silizium – kein stabiles, defektarmes natives Oxid bilden, das für einen MOS-Aufbau geeignet wäre; der Schottky-Kontakt umgeht dieses Problem elegant. Die im Vergleich zu Silizium deutlich höhere Elektronenbeweglichkeit von GaAs ermöglicht sehr hohe Grenzfrequenzen und geringes Rauschen bei hohen Frequenzen. Nachteilig sind ein im Vergleich zum MOSFET höherer Gate-Leckstrom (der Schottky-Kontakt sperrt weniger gut als eine Oxidschicht), eine ausgeprägte Empfindlichkeit gegenüber Oberflächenzuständen und Traps im Substrat, die zu Drift- und Verzögerungseffekten führen können, sowie eine begrenzte Skalierbarkeit der Gate-Länge, da bei sehr kurzen Kanälen Kurzkanaleffekte und eine schlechtere Steuerbarkeit des Kanalpotentials auftreten.

Anwendungen und Ausblick

MESFETs waren über Jahrzehnte die dominierende Transistortechnologie für

Hochfrequenz- und Mikrowellenanwendungen wie Satellitenkommunikation, Radartechnik und rauscharme HF-Verstärker (LNAs). In den letzten Jahrzehnten wurden sie in vielen dieser Anwendungen zunehmend durch den HEMT (High-Electron-Mobility-Transistor) verdrängt, der durch eine heterostruktur-basierte Kanalbildung (z. B. AlGaAs/GaAs oder GaN-basiert) noch höhere Elektronenbeweglichkeiten und Grenzfrequenzen erreicht. Dennoch bleibt der MESFET als konzeptioneller Vorläufer und wegen seines vergleichsweise einfachen Fertigungsprozesses in bestimmten Nischenanwendungen relevant.