

VO 051011

Technische Grundlagen der Informatik

Begleitende Folien zur Vorlesung

Sommersemester 2023

Vortragende: Peter Reichl, Andreas Janecek

Zuletzt aktualisiert: 15. Oktober 2023

03 TRANSISTOR

Überblick

- ① Logische Zustände
- ② Halbleiter
- ③ Transistoren
- ④ Complementary MOS
- ⑤ CMOS-Schaltungen

Literatur

- Grundlagen der Technischen Informatik 5. Auflage (Hoffmann, Hanser-Verlag): Kapitel 2, 5, 7, 8 ,9,
- Eine kurze Geschichte der Technischen Informatik (P. Reichl)
- Mikroprozessortechnik (Wüst): Kapitel 3, 4, 5, 7
- Informatik (Blieberger, Springer-Verlag): Kapitel 5

Analog vs. Digital

Digitalschaltungen

- ...kennen nur die Zustände '0' und '1', z.B. per Spannungsniveau
- ...bestehen aus simplen Bausteinen: **Gatter**, **Speicher**, ...
- ...ermöglichen Aufbau komplexer Schaltungen (CPUs, etc.)
- NB: fundamentale Digitalkomponenten bestehen ihrerseits aus analogen Schalteilen.

Gatter vs. Speicher

- 1 **Gatter implementieren logische Funktion und verändern Daten**
- 2 **Speicher speichern Daten**

Überblick

- 1 Logische Zustände
- 2 Halbleiter
- 3 Transistoren
- 4 Complementary MOS
- 5 CMOS-Schaltungen

Physikalische Realisierung

Wie realisiert man logische Zustände?

- unterschiedliche Spannungsniveaus
- Strom fließt/fließt nicht
- Kondensator geladen/ungeladen
- Position eines elektromagnetischen Relais'
- ...
- Also: viele Arten der Realisierung möglich
→ manche praktisch, manche weniger...

Potential und Spannung

Spannung U = Potentialdifferenz

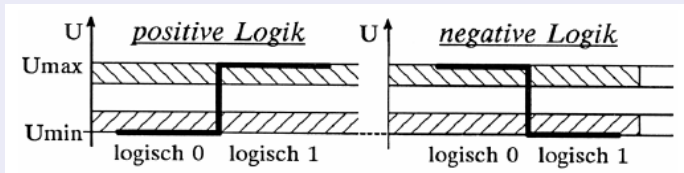
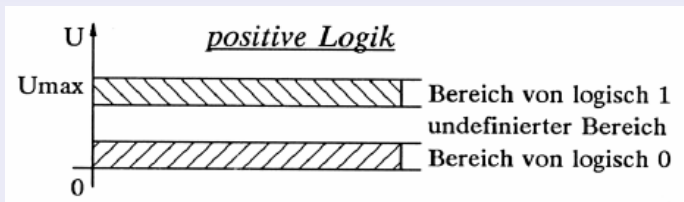
- Physik: elektrisches Feld = Coulombkraft auf Probeladung
- elektrisches Potential = potentielle Energie einer Einheitsladung
- Einheit: Volt; $1\text{ V} = 1\text{ J/C}$ (Energie pro Ladung!)

Wo elektrische Ladung ist, gibt es ein Feld und daher ein Potential.

- **Zwischen zwei unterschiedlichen Potentialen liegt Spannung.**
- **Es muss kein Strom fließen, damit Spannung da ist.**
- Je größer die Spannung, desto mehr Energie trägt jedes Coulomb der Ladungen.

Logische Zustände

Zwei Spannungsniveaus - positive vs negative Logik:



Überblick

- 1 Logische Zustände
- 2 Halbleiter**
- 3 Transistoren
- 4 Complementary MOS
- 5 CMOS-Schaltungen

Halbleiter

Was ist ein Halbleiter?

- elektrischer Leiter: Kristallgitter + freie Elektronen
 - Ladungstransport (Beispiel: Silber, Kupfer, ...)
- Elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern zwischen der von elektrischen Leitern und der von Nichtleitern
- Isolator: Elektronen fest an Atome gebunden

Halbleiter

Dotierung

- Gezieltes Einschleusen von Fremdatomen in die Kristallstruktur
- Zwei Möglichkeiten:
 - *Donatoren* setzen ein Elektron frei
→ bewegliche negative Ladungen (*n-leitend*)
 - *Akzeptoren* binden jeweils ein Elektron
→ Löcher = “positive Ladungen” (*p-leitend*)

Halbleiter

Anwendung: Diode

- Besonders interessant: p-n-Übergang
- Diffusion: Elektronen wandern von n-Zone zur p-Zone
 - elektrisches Feld, bis Gleichgewicht erreicht ist
 - Entstehung einer Sperschicht = Verarmungszone

Halbleiter

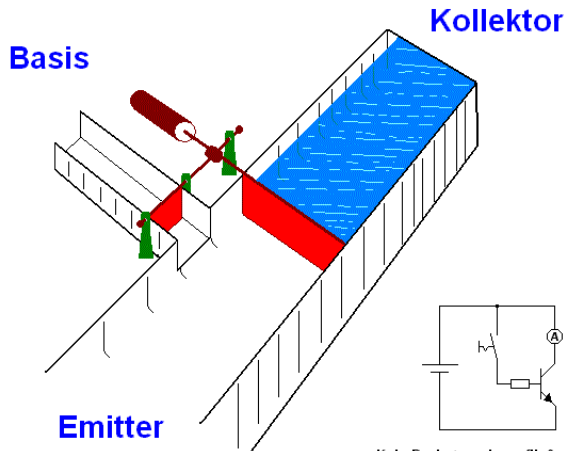
Anwendung: Diode

- Was passiert beim Anlegen einer äußeren Spannung?
 - Durchlassrichtung: Minus an n-Zone, Plus an p-Zone
 - Sperrrichtung: Plus an n-Zone, Minus an p-Zone
- Wichtige Anwendungen:
 - Gleichrichterdiode
 - Bipolartransistor

Überblick

- 1 Logische Zustände
- 2 Halbleiter
- 3 Transistoren**
- 4 Complementary MOS
- 5 CMOS-Schaltungen

Prinzip des Transistors: sperrend

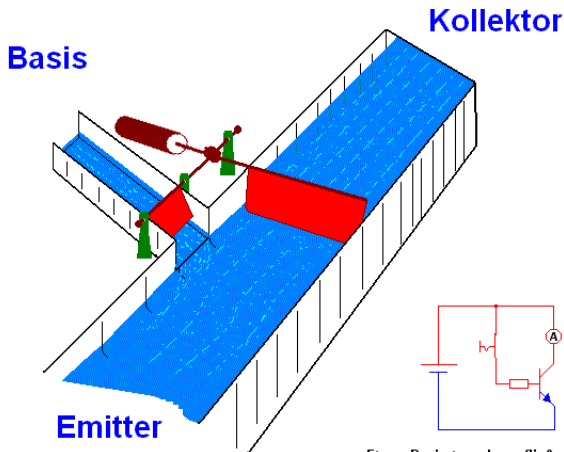


Kein Basisstrom kann fließen;
Der Transistor ist gesperrt.

1

¹ http://de.academic.ru/pictures/dewiki/116/transistor_animation.gif

Prinzip des Transistors: geschaltet

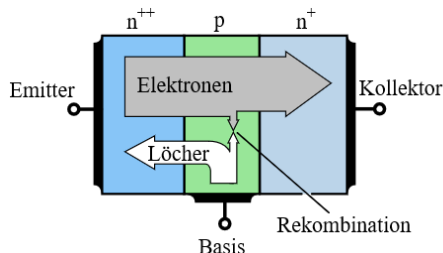


Etwas Basisstrom kann fließen;
Der Transistor schaltet durch.

Bipolartransistor

npn-Transistor (selbstsperrend)

- Idee: n-p- und p-n-Übergang hintereinander
- linke Schicht stark n-dotiert, p-dotierte Schicht (Mitte) relativ dünn, rechte Schicht schwach n-dotiert
- kleiner Basis-Emitter-Strom \rightarrow Emitter-Kollektor-Strom



Bipolartransistor

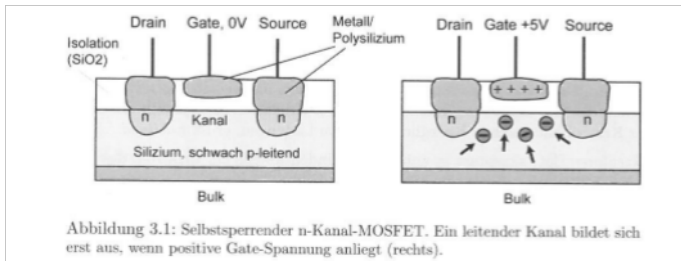


Nachbau des ersten Transistors (Bell Labs 1947) ³

³https://de.wikipedia.org/wiki/Bipolartransistor#/media/File:Nachbau_des_ersten_Transistors.jpg

Feldeffekt-Transistor

MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor



4

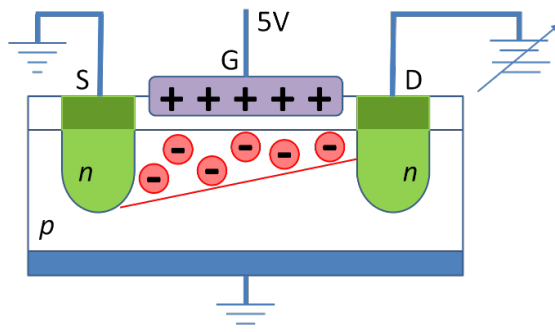
- Vier Anschlüsse: Source - Drain - Gate - Bulk
- Grundsätzliche Varianten: n-Kanal-MOSFET (NMOS) vs. p-Kanal-MOSFET (PMOS)

⁴K. Wüst, Mikroprozessortechnik, 2011, p. 20

Überblick

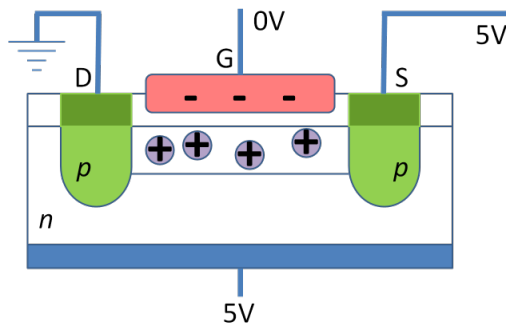
- 1 Logische Zustände
- 2 Halbleiter
- 3 Transistoren
- 4 Complementary MOS**
- 5 CMOS-Schaltungen

Feldeffekt-Transistor: NMOS



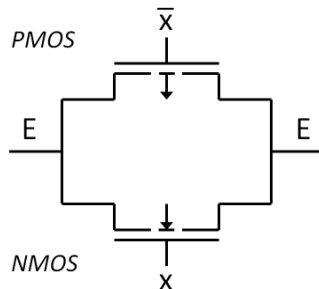
- Gate nicht geladen: keine Ladungen im Kanal, kein Strom von Source nach Drain
- Gate geladen: Kanal leitet
- Aber: zusätzlich p-n-Übergang am Drain → Sperrichtung!
- Also: NMOS leitet niedriges U_{DS} falls hohes U_G

Feldeffekt-Transistor: PMOS



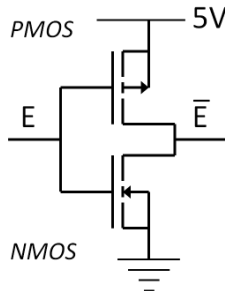
- Im Vergleich zum NMOS alles umgedreht!
- Niedriges Potential am Gate:
Kanal enthält Löcher, keine vollständige Rekombination
- Also: PMOS leitet hohes U_{DS} falls niedriges U_G

Feldeffekt-Transistor



- MOSFET allein noch kein Schalter
(NMOS leitet nur niedriges U_{DS} , PMOS nur hohes U_{DS})
- Idee: kombiniere NMOS + PMOS in einer Schaltung
→ Transfer Gate (= Schalter, Transmission Gate)

CMOS: Complementary MOS

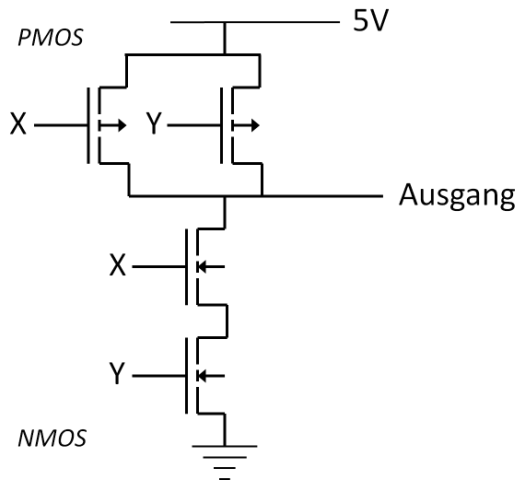


- Kombination von NMOS- (Pull-down-Pfad) und PMOS-Technologie (Pull-up-Pfad) auf gemeinsamem Substrat
- Einfachste CMOS-Schaltung: Inverter
- Viele komplexe Logikschaltungen benötigen Inverter an Ein- bzw. Ausgängen (z.B. XOR)

Überblick

- 1 Logische Zustände
- 2 Halbleiter
- 3 Transistoren
- 4 Complementary MOS
- 5 CMOS-Schaltungen**

CMOS: NAND



CMOS: XOR

