

6. Dielektrika und Optik

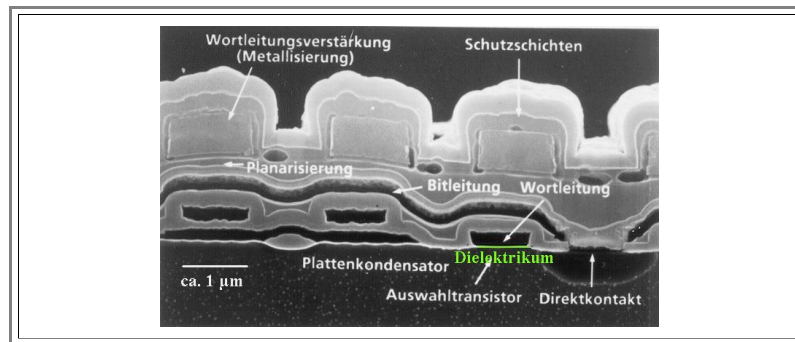
6.1 Warum Dielektrika wichtig sind

6.1.1 Feldstärke, Stromdichte und Zeitkonstanten

Was für einen Chip wirklich wichtig ist

Im Bild unten sehen wir den Querschnitt durch eine Speicherzelle eines **1 Mbit** Speichers (**DRAM**), ca. Baujahr **1986**. Heutzutage sieht das ganz anders und ca. einen Faktor **5** kleiner aus; dummerweise kann man dann aber nicht mehr so leicht das Wesentliche sehen:

- Das **Dielektrikum** (also ein *Isolator*; hier grün markiert) zwischen dem "Gate" des Transistors (mit "Wortleitung" bezeichnet, also jedenfalls ein Leiter) und dem **Si** Substrat (ein Halbleiter, aber doch noch leitend), ist recht dünn. Hier so um **10 nm**; die Strichdicke oder selbst die weißen Partien im **REM** Bild) geben hier nicht die wirkliche Dicke wieder).

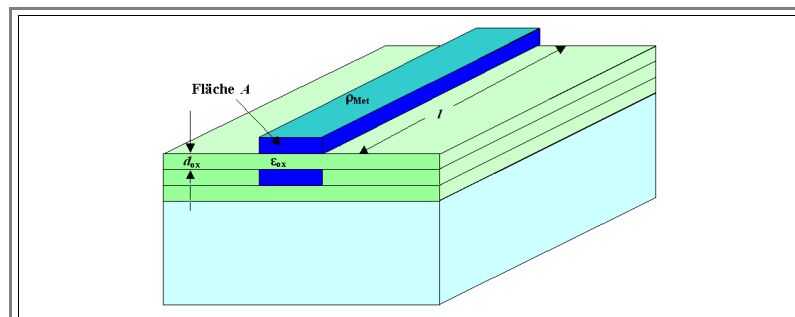


- Die **Feldstärke E** in einer Schicht der Dicke d mit angelegter Spannung = Potentialdifferenz U (man denke an den Plattenkondensator) ist bekanntlich $E = U/d$.
- Wie groß ist denn so die Feldstärke in typischen Dielektrika des täglichen Lebens und in unserem Chip? Was hält ein dielektrisches Material so aus? Es ist jetzt *wichtig*, dass jeder und jede sich den ersten Teil der folgenden Übung anschaut und zumindest ein bißchen nachdenkt!

Übung - Schnelle Fragen

Aufgabe 6.1-1

- Erraten! Die **Feldstärken**, die in Materialien in einem Chip auftreten, sind *viel* größer als im täglichen elektrotechnischen Leben! Und das, obwohl die **Spannung**, mit der ein Chip betrieben wird, nur ein paar Volt beträgt!
- Für **Strom** und **Stromdichte** gilt dasselbe. Die Graphik unten zeigt zwei typische **Leiterbahnen** auf einem **IC**. Der in einer Leiterbahn fließende Strom liegt allenfalls im μA Bereich. Interessant ist die **Stromdichte**, d. h. die A/cm^2 .
- Es ist Zeit, auch darüber kurz nachzudenken!



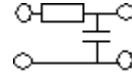
Wenden wir uns einer anderen Frage zu. Wir nehmen mal an, die untere Leiterbahn im Bild oben liegt gerade auf Potential **0 V**, d.h. auf Masse. In die obere Leiterbahn speisen wir ein Rechtecksignal ein. Sagen wir **+ 3 V** für **5 ns**. Was kommt hinten raus?

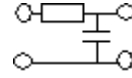
- Wem das nicht auf Anhieb klar ist möge bedenken, dass die beiden Leiterbahnen zusammen einen **parasitären Kondensator** darstellen, den wir zwar nicht wollen, aber trotzdem haben. Außerdem ist zwischen Eingang und Ausgang der ohmsche **Widerstand der Leiterbahn**.
- Das schreit nach einer Übung!

Rechenübung

Aufgabe 6.1-2

Warum Dielektrika wichtig sind



OK - der **ET&IT** Ingenieur weiß auch ohne Übung, dass wir eine Schaltung der Art  vorliegen haben, und dass die **Zeitkonstante** $\tau = RC$ die **Grenzfrequenz** f_{\max} , d.h. die maximale Frequenz mit der Information übertragen werden kann, auf ungefähr $f_{\max} \approx 1/\tau$ limitiert.

- In der Kapazität steckt die **relative Dielektrizitätskonstante** ϵ_r ; für das in solchen Fällen übliche **SiO₂** gilt $\epsilon_r(\text{SiO}_2) \approx 3.7$.
- Damit wissen wir auch, wie man die relative Dielektrizitätskonstante (**DK**) mißt: Steck das Zeug in einen **Plattenkondensator** mit Plattenfläche **A** und Plattenabstand **d**. Seine Kapazität wird dann von $C_0 = \epsilon_0 \cdot A/d$ auf $C_{\text{mat}} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A/d$ ansteigen

Damit haben wir uns schon zwei hinreichend gute Gründe erarbeitet, warum Dielektrika und Dielektrizitätskonstanten in der **ET&IT** wichtig sind. Es gibt aber noch viel mehr Gründe; wir zählen mal die wichtigsten auf:

- "Dielektrikum" ist *erstmal* nur ein anderes Wort für **Isolator**. Ohne Isolatoren keine **ET&IT**. Es sind aber nicht alle Isolatoren gleich - auf die Eigenschaften des Dielektrikums kommt es schon an. **IC** Technik ist mindestens so viel "Dielektrikumstechnik" wie Halbleitertechnik.
- Dielektrizitätskonstanten sind wichtig für alle **Kondensatoren** – absichtliche oder unabsichtliche (= parasitäre). Die **parasitären Kapazitäten** in **ICs** limitieren jetzt schon die **Grenzfrequenzen**. Dielektrika mit kleineren Dielektrizitätskonstanten werden verzweifelt gesucht!
- Die Grundstruktur des **MOS** Transistors beruht kritisch auf seinem "Gate" Dielektrikum. Hier liegt der Schlüssel zu immer kleineren und schnelleren Transistoren!
- Der **Mikrowellenofen** nutzt die dielektrischen Eigenschaften des (relativ schlechten Isolators) "Wasser".
- **Piezoelektrische** und **ferroelektrische** Materialien, ohne die keine Elektronik (und kein modernes Autos) mehr auskommt, sind spezielle Dielektrika..
- Die gesamte **Optik** incl. der optischen Nachrichtenübertragung über **Glasfasern** mit **Lasern** beruht auf dem Brechungsindex **n** der optischen "**Gläser**". Für **n** gilt aber die untenstehende extrem einfache Gleichung, die die "Optik" zurückführt auf die dielektrischen Eigenschaften des Materials

$$n^2 = \epsilon_r$$

Wir sollten also mal überlegen, was wir über Dielektrika eigentlich wissen *möchten* oder *müssen*.

Fragebogen

Schnelle Fragen zu 6.1.1