Optimierung der Bedampfungsparameter von Pentacen-Feldeffektransistoren

Andreas Messer

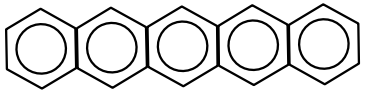
Experimentelle Physik III

14. Juli 2006

Inhalt

1. Warum organische Halbleiter?
2. Pentacen
3. Funktionsweise Feldeffekttransistor
4. Probenherstellung
5. Ergebnisse

Was sind organische Halbleiter?



- Kohlenwasserstoffverbindungen (evtl. Funktionelle Gruppen mit O,S. . .)
- Leitfähigkeit durch Überlapp der Elektronenorbitale in geeigneter Anordnung
- Beweglichkeit μ im Bereich von $10^{-4} - 10^{1}$ $\mathrm{cm}^2/\mathrm{Vs}$ (nicht metallisch)

Vergleich:

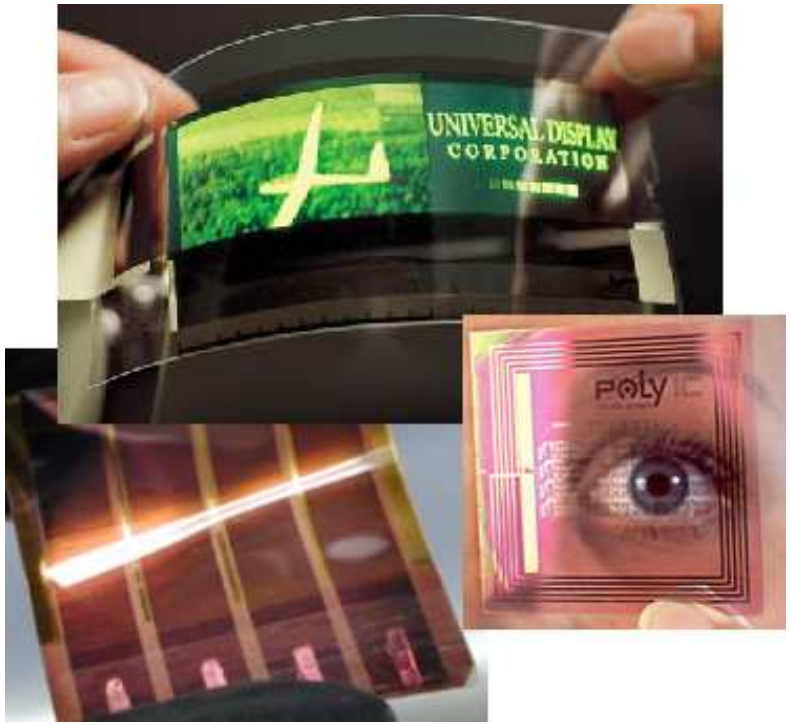
	μ $[\mathrm{cm}^2/\mathrm{Vs}]$
Si kristallin	bis 10^3
Si amorph	$10^0 - 10^1$

- Van-der-Waals-Bindung $\Rightarrow$ thermisch aktiviertes Hopping

Anwendungen organischer Halbleiter

Vorteile

- leicht zu prozessieren
- flexibel
- durchsichtig

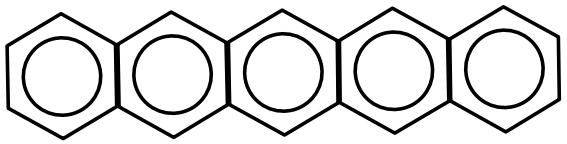


Nachteile

- Alterung
- geringere Leistungsfähigkeit

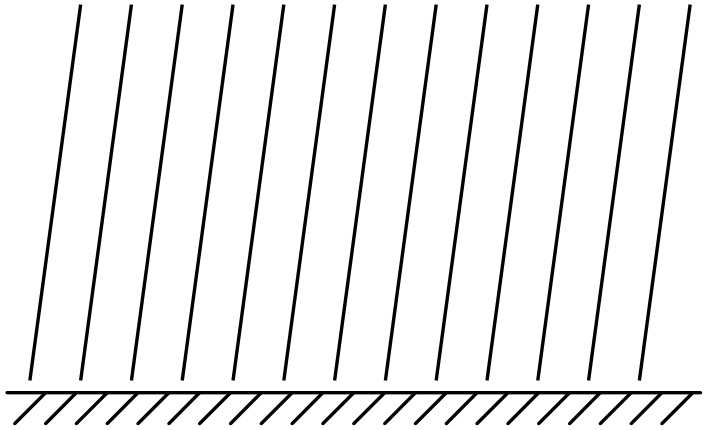
$\Rightarrow$ **Verwendung in "low cost" Anwendungen mit geringen Leistungsanforderungen (RFID, Solarzellen, Displays...)**

Pentacen



- Molekülänge 1,64 nm
- reiner Lochleiter
- kondensiert in zwei Phasen:

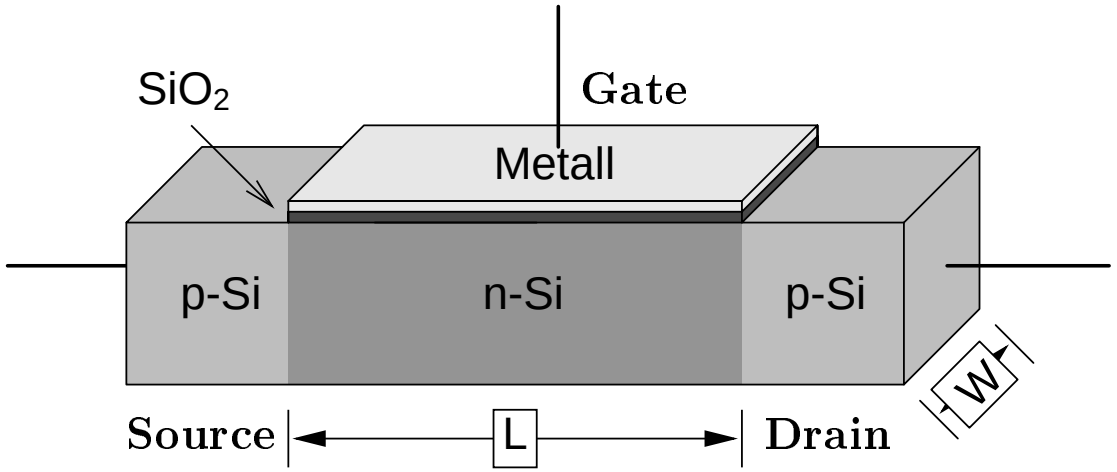
Kristallstruktur von Pentacen



Dünnfilmstruktur von Pentacen

$\Rightarrow$ **beste Beweglichkeit bei Dünnfilmstruktur**

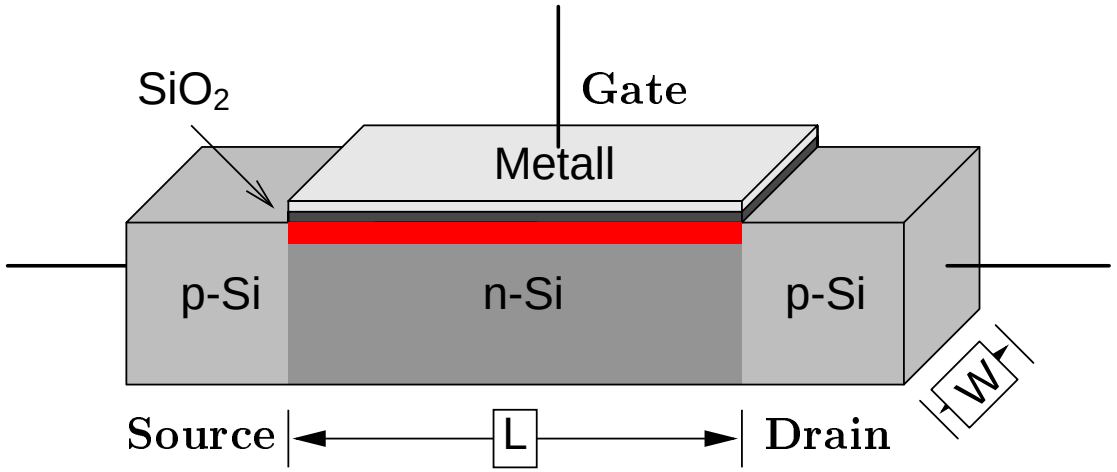
Feldeffekttransistor



Schematischer Aufbau eines MOSFET

- feldgesteuertes Bauelement
- Anlegen einer elektrischen Spannung an das Gate bewirkt Ladungsträgerinversion
- Verlustfreies Schalten
- Kenngrößen sind Ladungsträgerbeweglichkeit μ und Schwellspannung U_{th}

Feldeffekttransistor

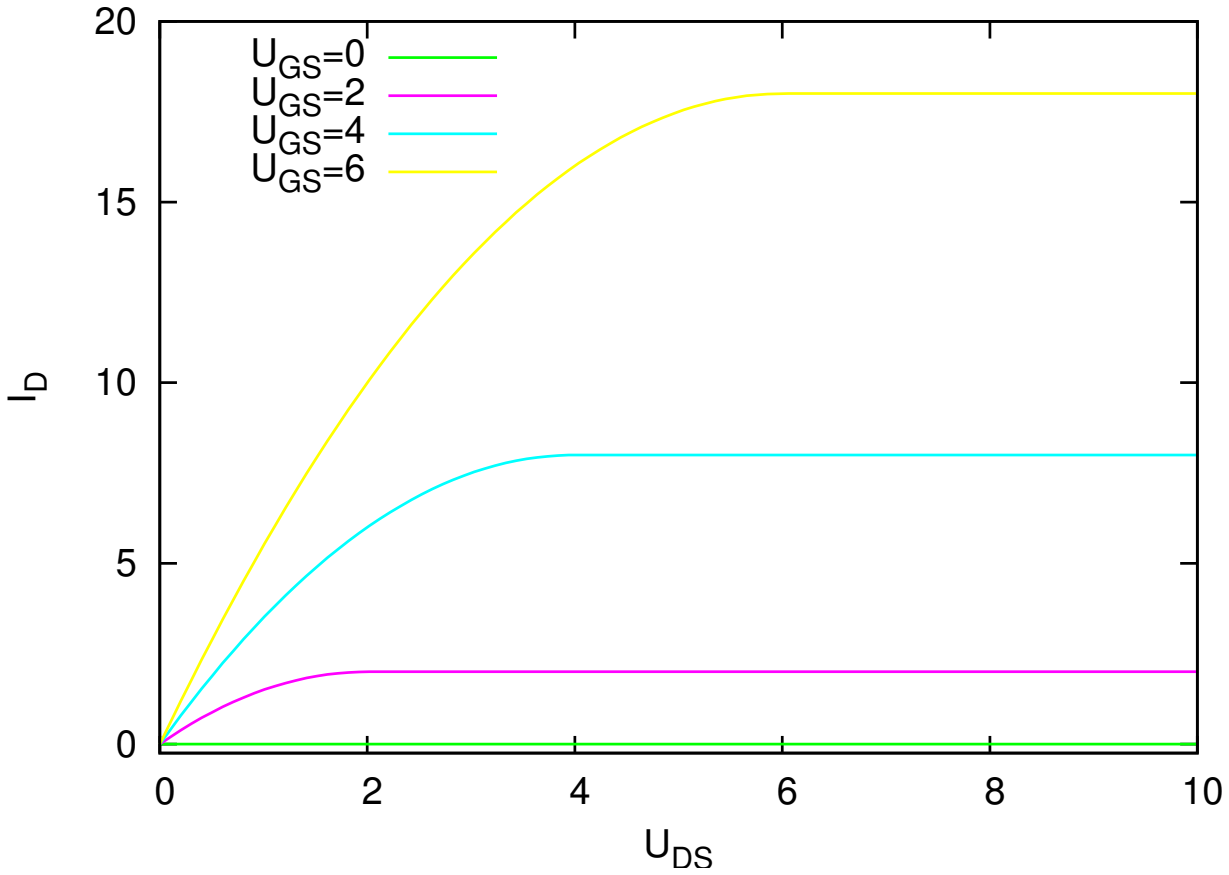


Schematischer Aufbau eines MOSFET

- feldgesteuertes Bauelement
- Anlegen einer elektrischen Spannung an das Gate bewirkt Ladungsträgerinversion $\Rightarrow$ leitender Kanal
- Verlustfreies Schalten
- Kenngrößen sind Ladungsträgerbeweglichkeit μ und Schwellspannung U_{th}

MOSFET-Theorie

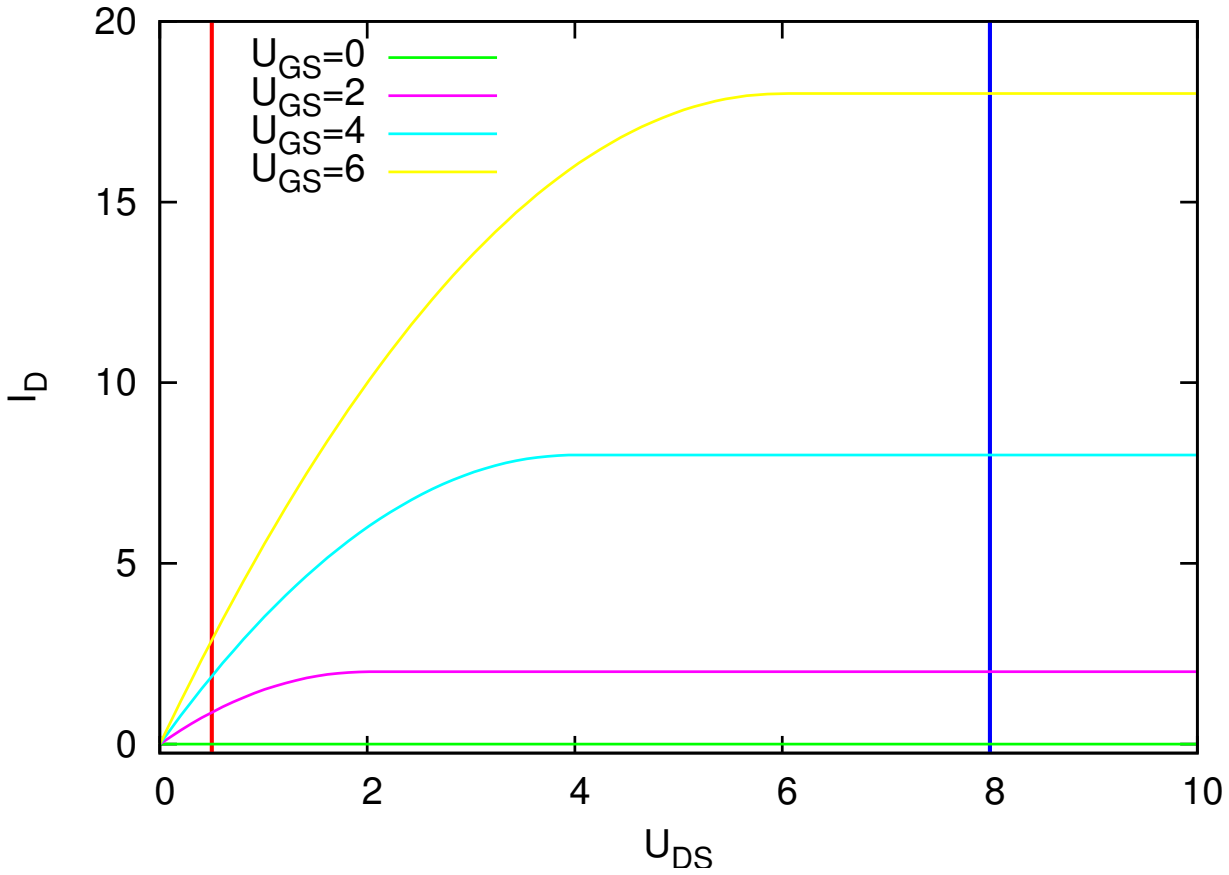
Ausgangskennlinien (U_{GS} = const)



- Drainstrom sättigt für $U_{DS} > U_{Dsat}$

MOSFET-Theorie

Ausgangskennlinien (U_{GS} = const)

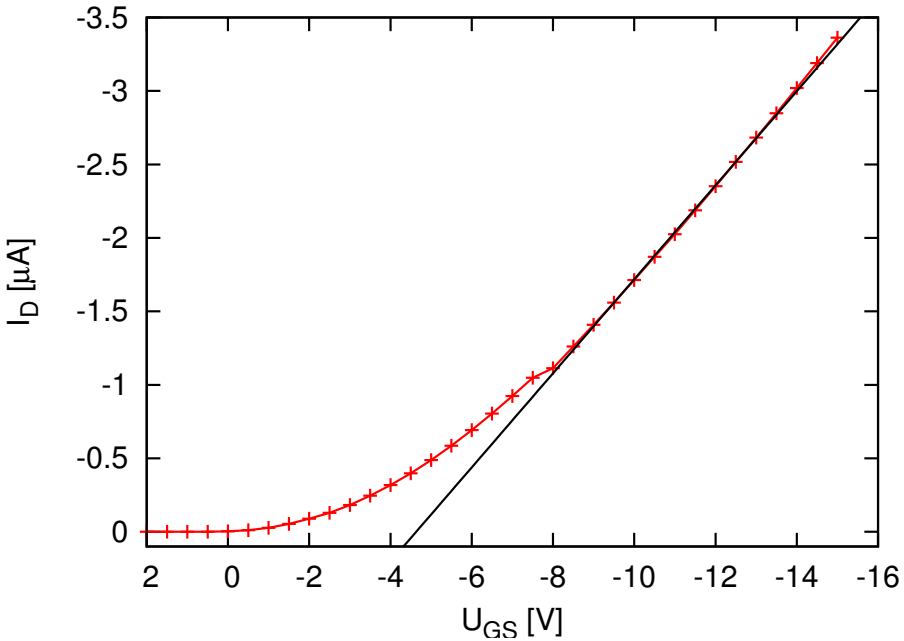


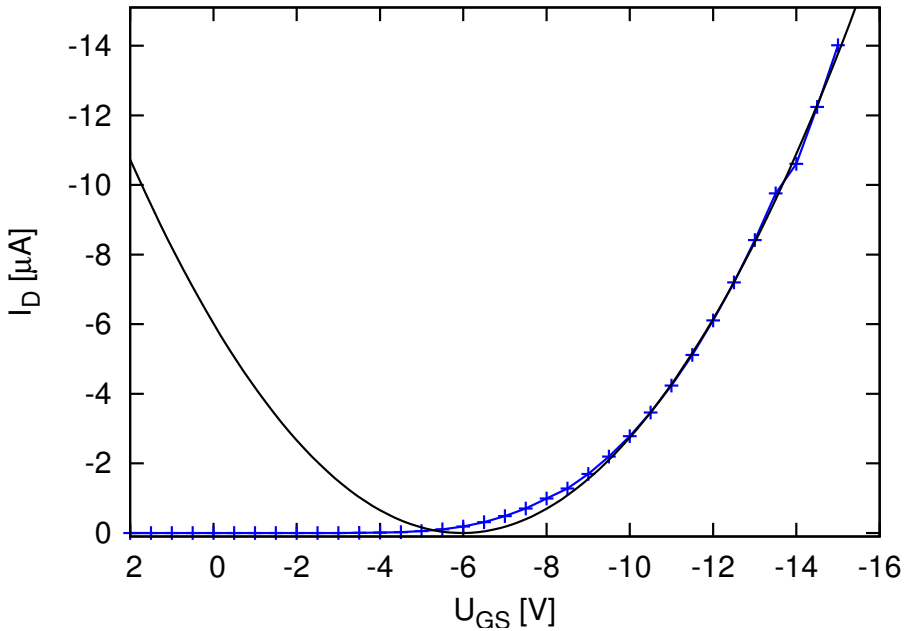
- Drainstrom sättigt für $U_{DS} > U_{Dsat}$

$\Rightarrow$ **Unterteilung in linearen und gesättigten Bereich**

MOSFET-Theorie

Transferkennlinien (U_{DS} = const)



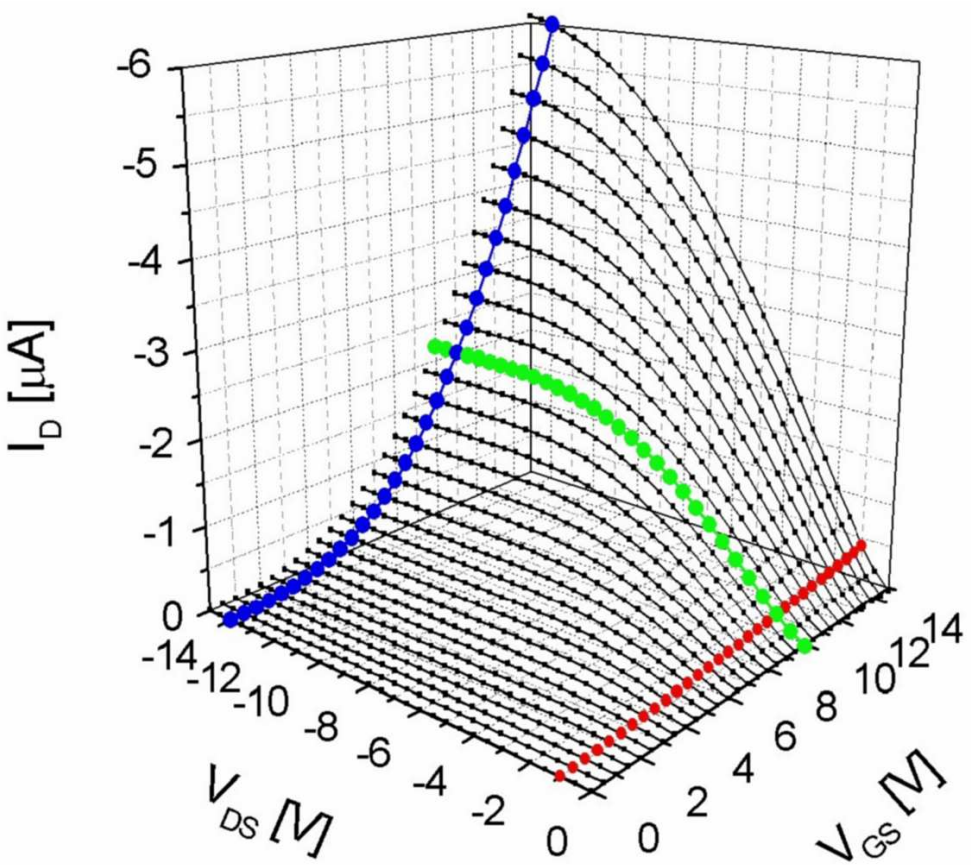


$$I_{Dlin} \approx \frac{W}{L} \mu_p C_i \left(U_{GS} - U_{th}\right) U_{DS}$$

$$I_{Dsat} \approx \frac{W}{2L} \mu_p C_i \left(U_{GS} - U_{th}\right)^2$$

$\Rightarrow$ **Bestimmung der Kenngrößen μ und U_{th}**

Organischer Feldeffekttransistor

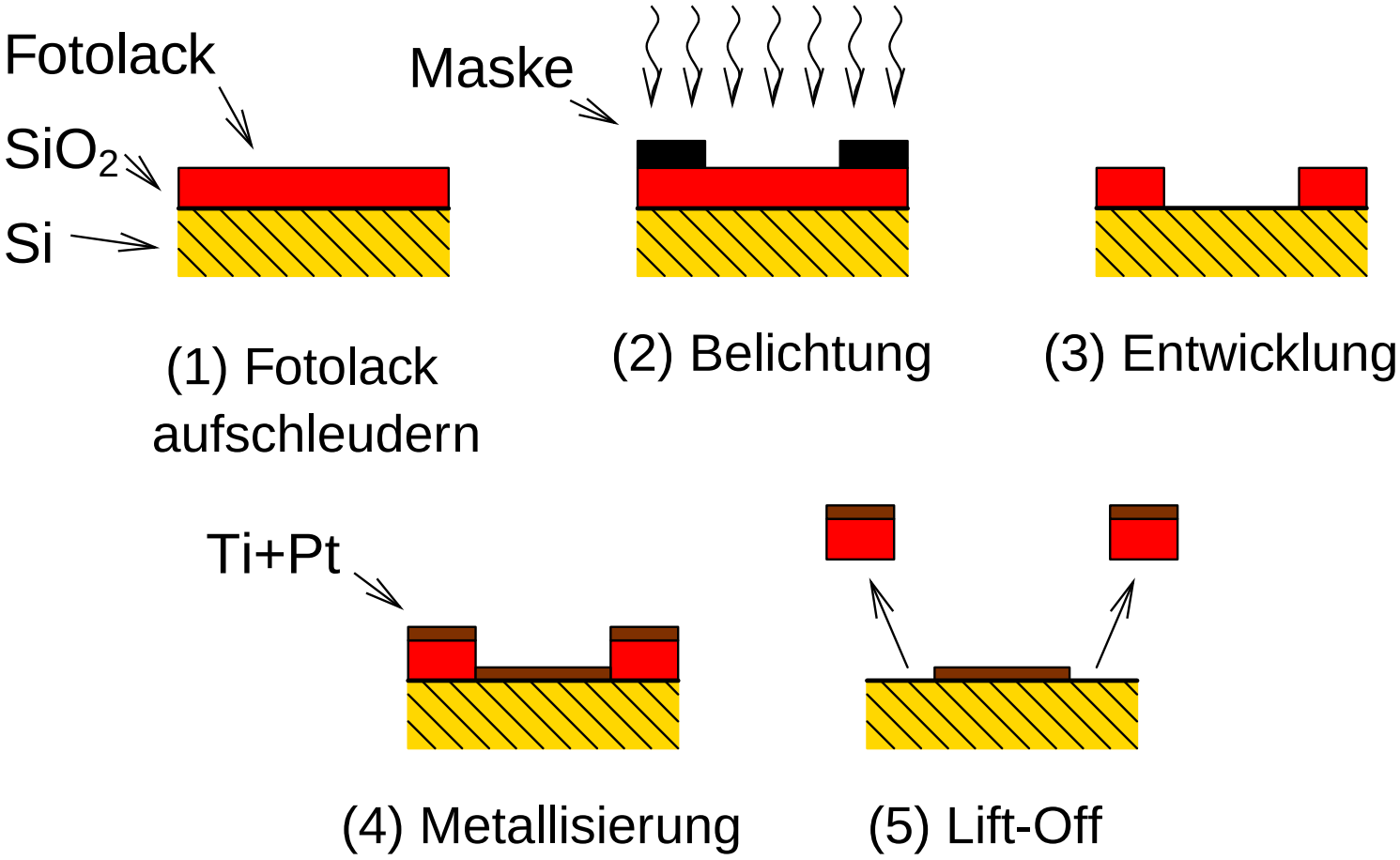


⇒ **ideales MOSFET-Verhalten auch an organischen FET**

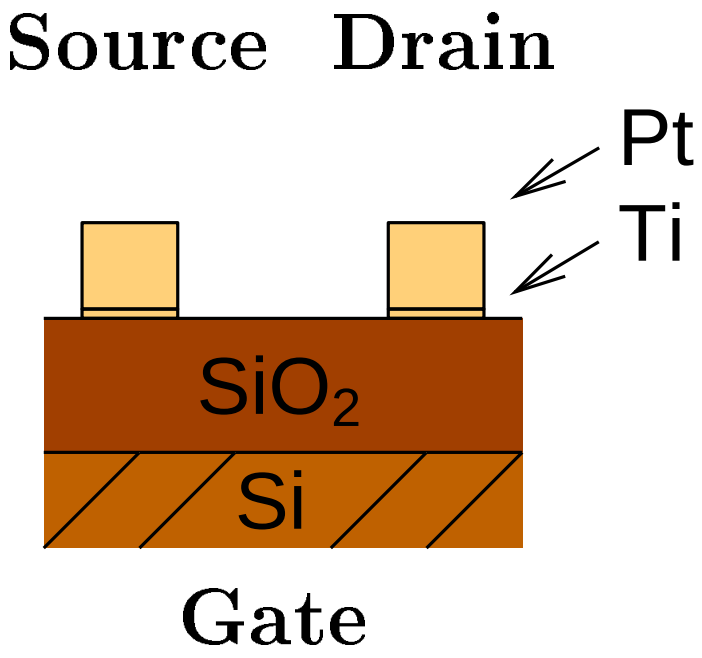
Herstellung der Proben

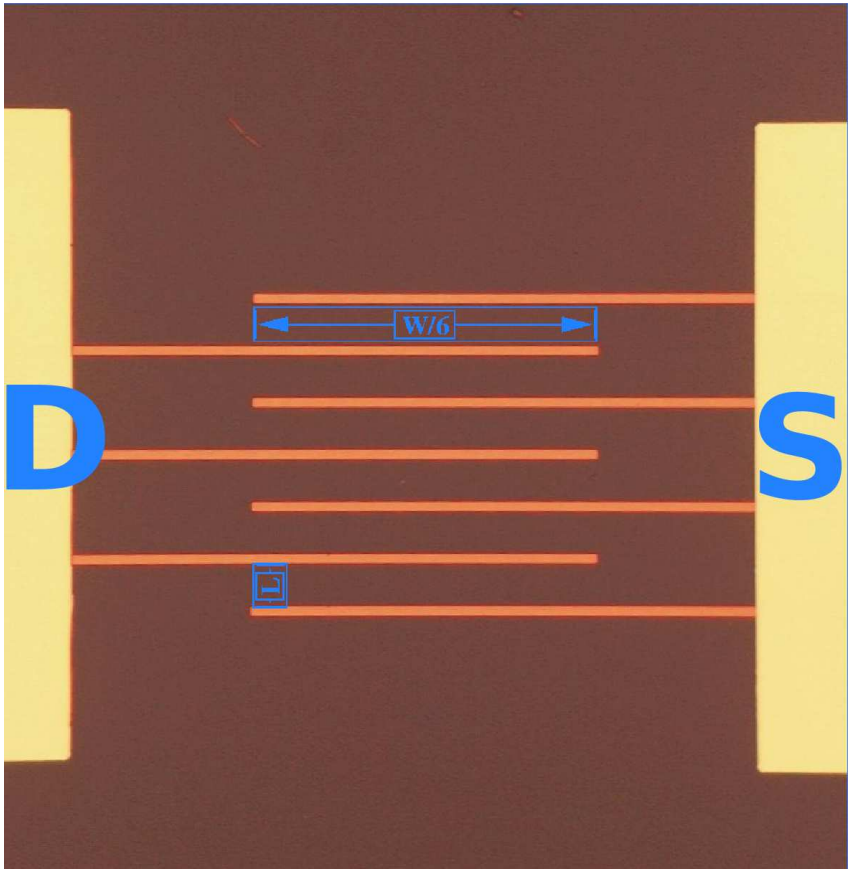
1. Lithographie der Source- und Drainstrukturen
2. Oberflächenbehandlung
3. Aufbringen des organischen Halbleiters mittels *organischer Molekularstrahldeposition* (OMBD)

Optische Lithographie



Elektrodenstruktur



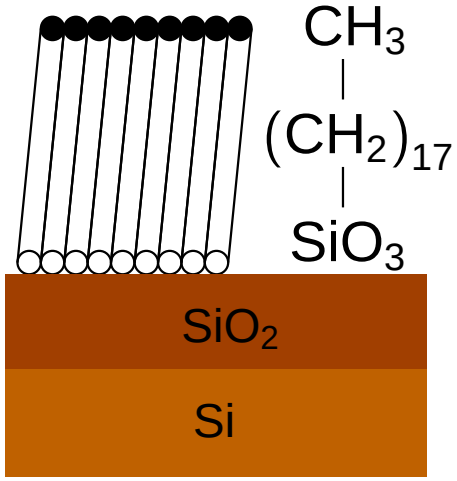


$\Rightarrow$ **Bottom-Gate mit Source- und Drainelektroden in Kammstruktur zur Verbreiterung des Kanals**

Oberflächenbehandlung

Ziel:
Herstellung hochgeordneter organischer Filme als aktive Schicht

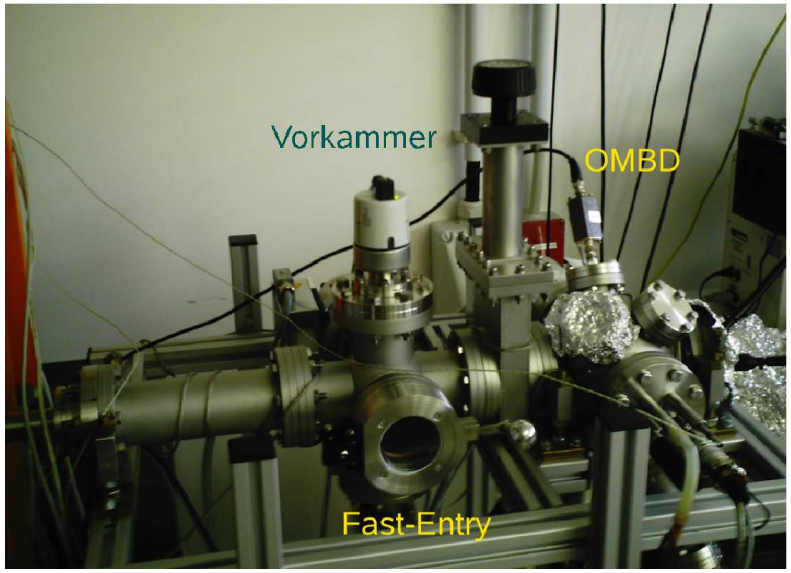
- Piranha (1/4 H_2O_2, 3/4 H_2SO_4)
  $\rightarrow$ Reinigung, OH-Terminierung
- Octadecyltrichlorosilan (OTS)
  $\rightarrow$ hydrophobe Oberfläche



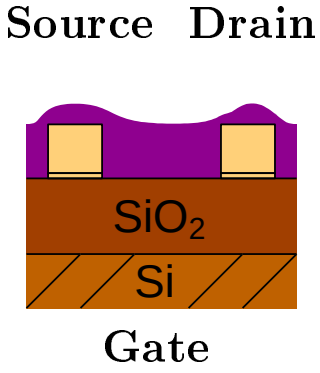
$\Rightarrow$ **geordneteres Wachstum der Organikdünnschicht**

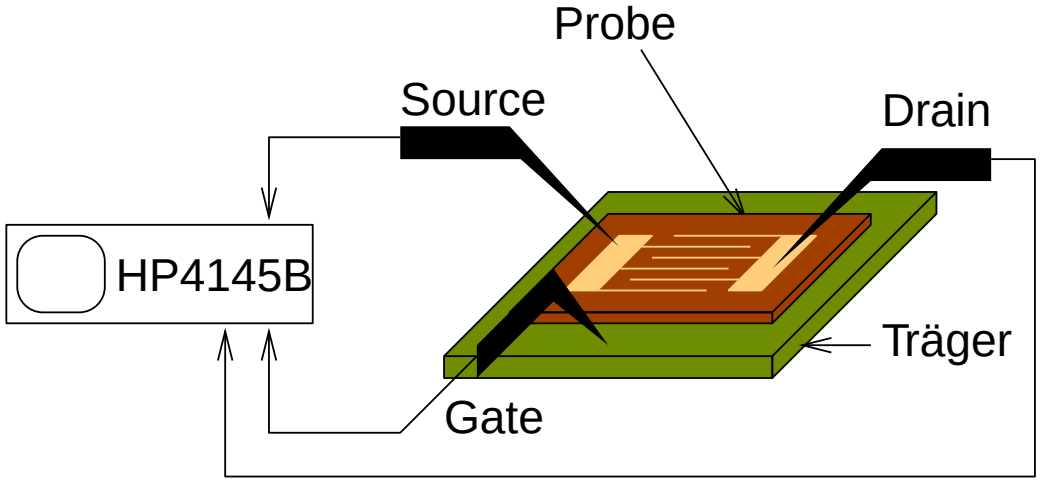
Organische Molekularstrahldeposition (OMBD)

- Aufbringen des OHL mittels OMBD
- Sublimation des OHL im UHV (10^{-9} mbar)
- Temperatur der Pentacen-Zelle $170^{o}C - 210^{o}C$
- Schichtdickenüberwachung mit Schwingquartz
- 6-7 Schwingquartzeinheiten (SQE) entsprechen einer Monolage Pentacen

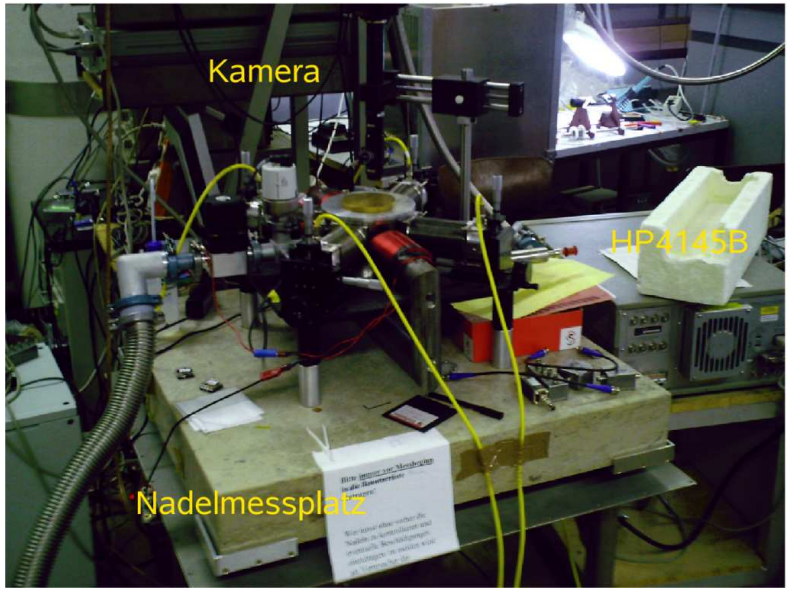


Probencharakterisierung

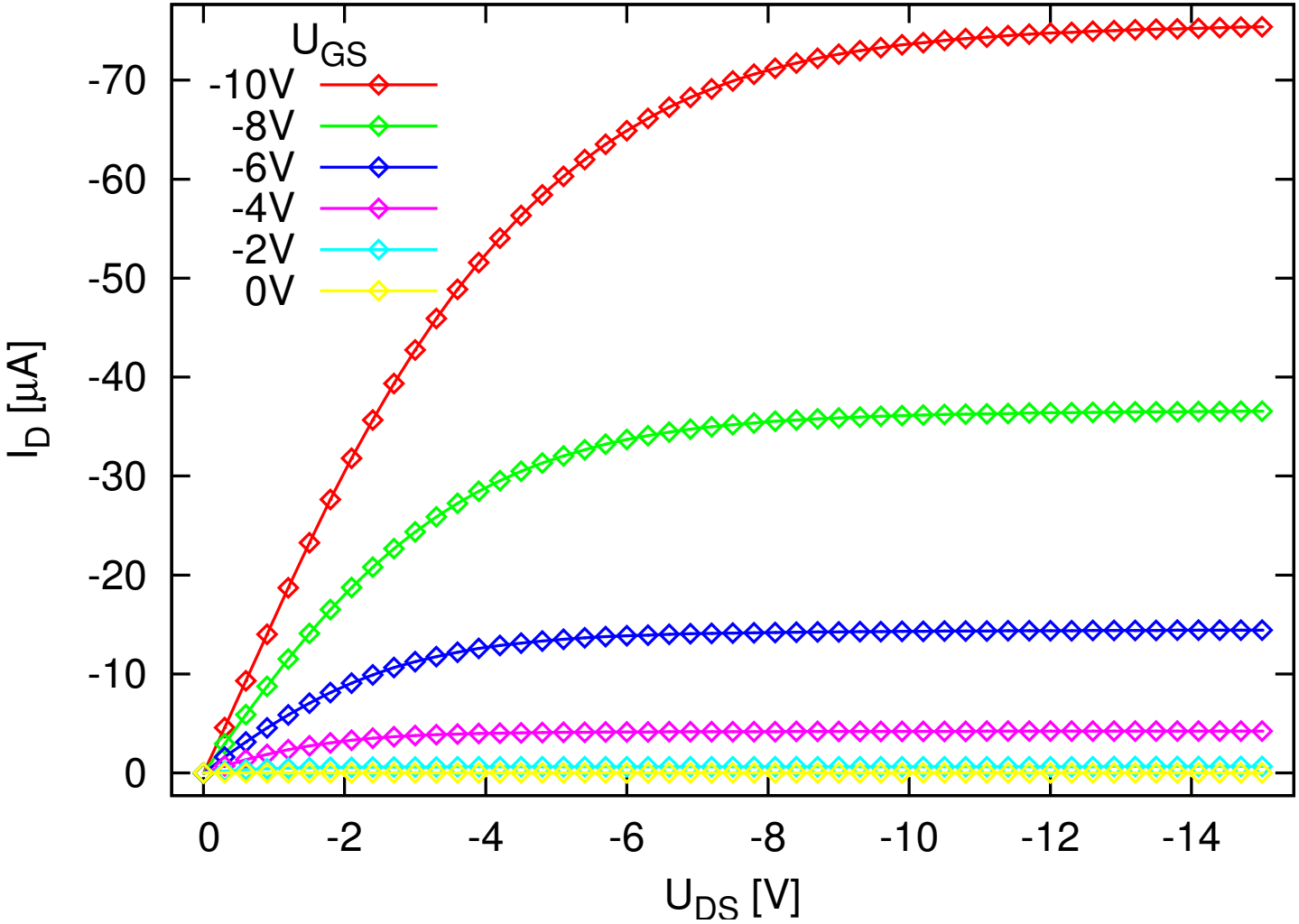




- Kontaktierung am Nadelmessplatz
- Kennlinien mit HP 4145B Semiconductor Analyzer gemessen

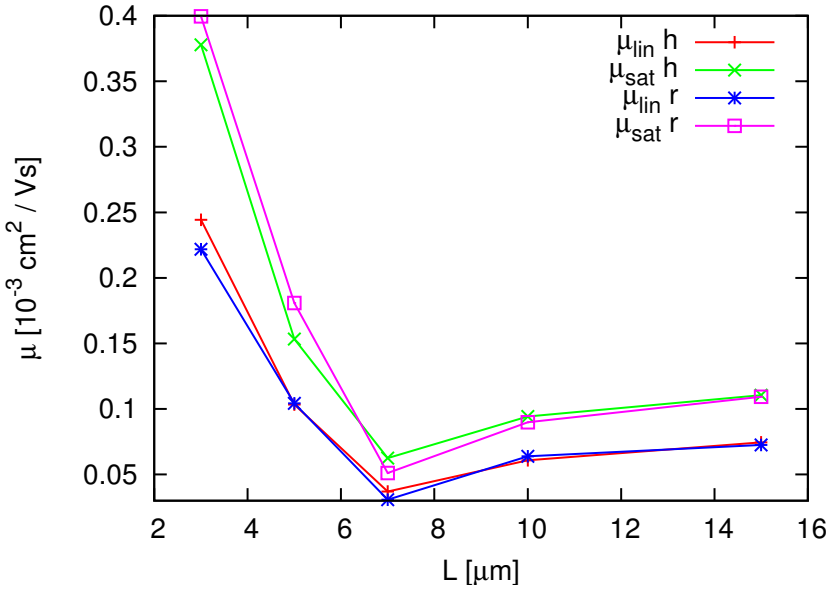


Ausgangskennlinie



Probe FO110d & FO110c

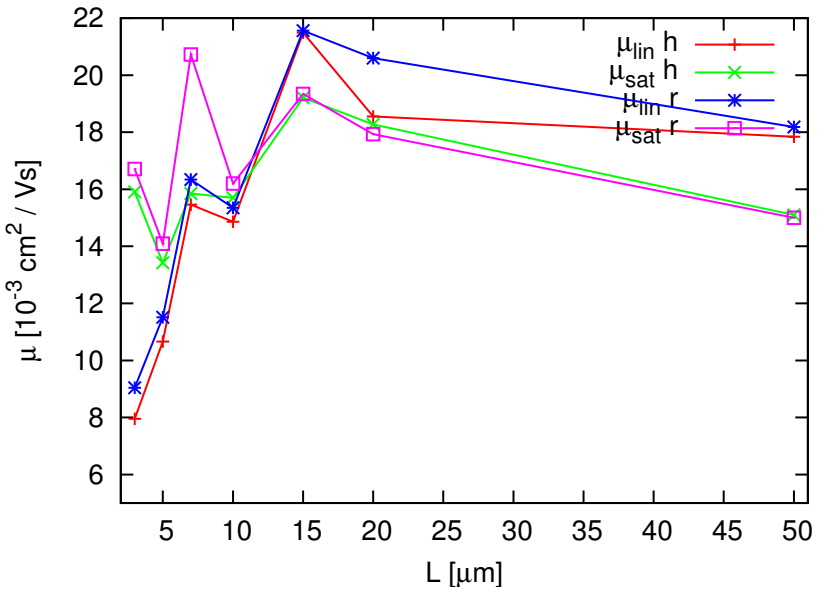
- Bedampfung mit niedriger Aufdampfrate von $0{,}24 - 0{,}31$ SQE/min , Pentacen-Zellentemperatur 180°C-190°C
- nur wenige Transistoren funktionsfähig
- polykristalline Struktur mit kleiner Korngröße
- sehr kleine Beweglichkeiten im Bereich von 10^{-4} cm^2/Vs



Beweglichkeiten FO110d

Probe FO112 & FO113

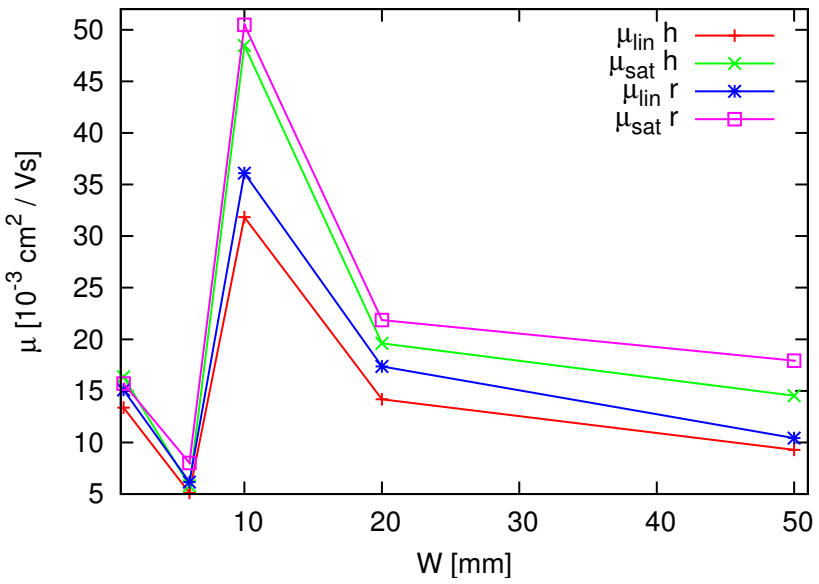
- Erhöhung der Aufdampfrate auf 0,95 SQE/min (FO112) und 3,63 SQE/min (FO113) , Pentacen-Zellentemperatur 195°C, 210°C
- Beweglichkeiten im Bereich von 10^{-2} cm^2/Vs



Beweglichkeiten FO112

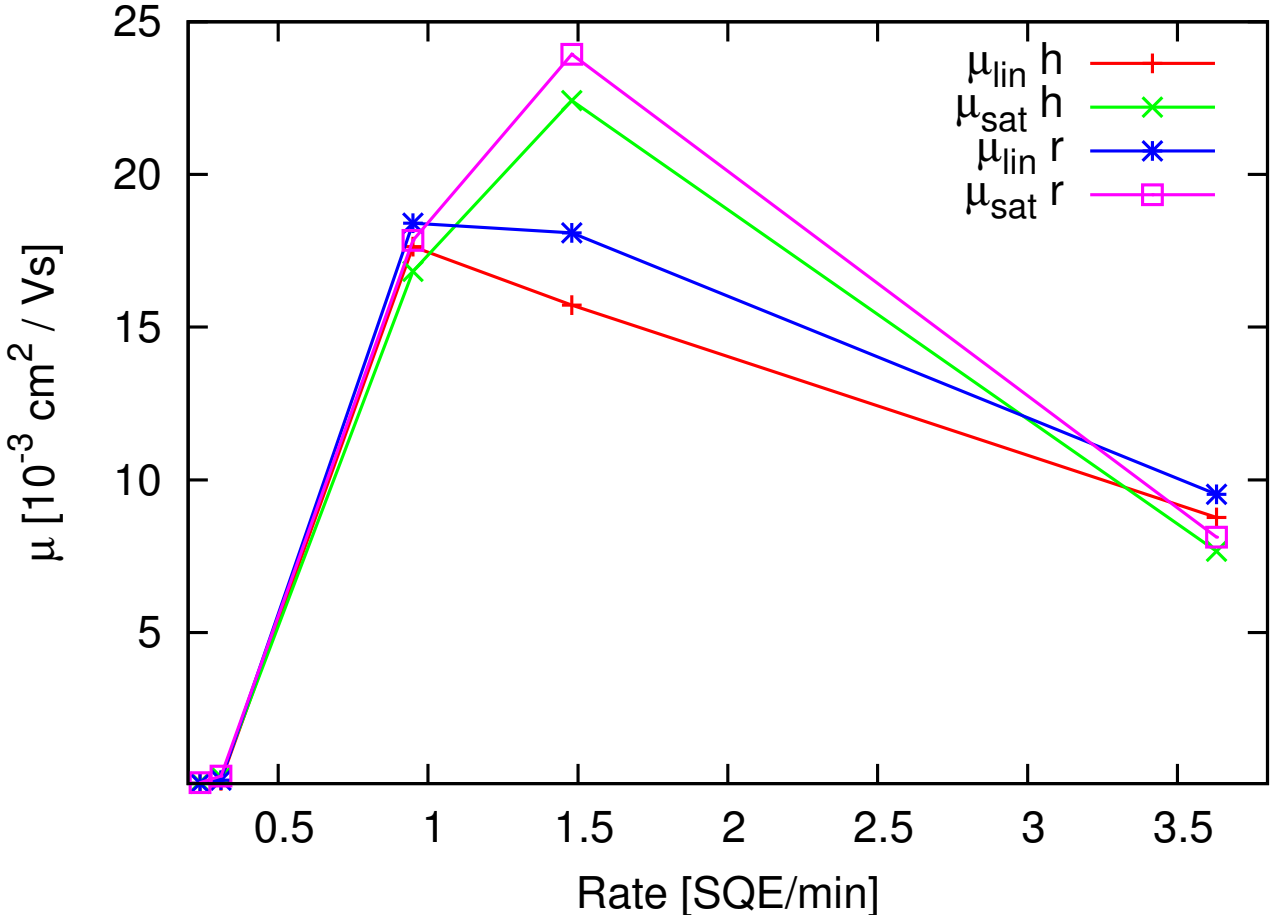
Probe FO116 & FO117

- Aufdampfrate 1,48 SQE/min (FO116) und 1,42 SQE/min (FO117) , Pentacen-Zellentemperatur 200°C
- Beweglichkeiten im Bereich von 10^{-2} cm^2/Vs
- Probe FO116 erreichte höchste Beweglichkeit in meinem Praktikum



Beweglichkeiten FO116

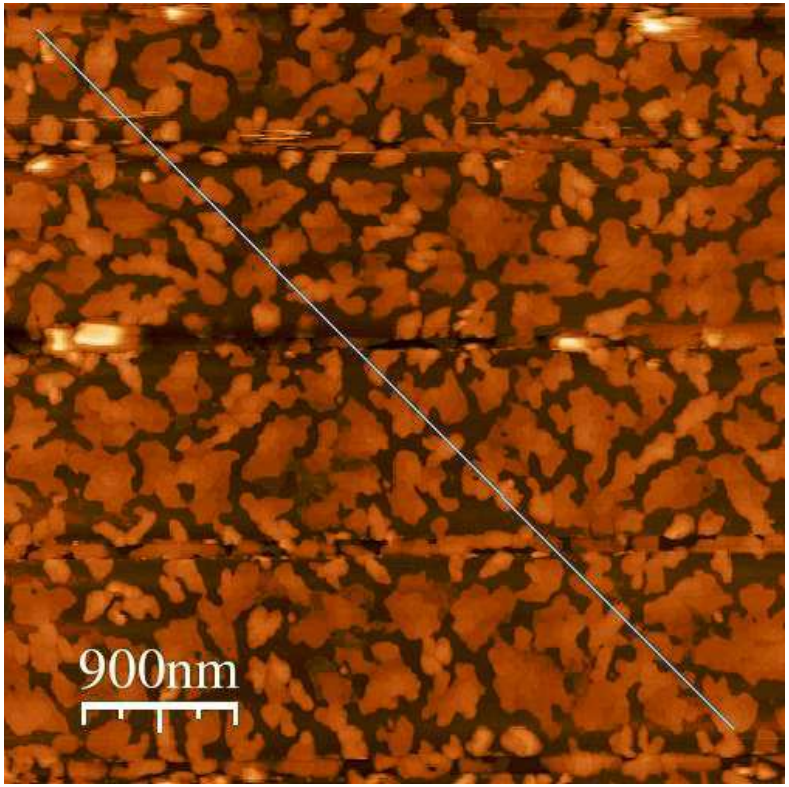
Vergleich



⇒ **Bei einer Aufdampfrate von 1/4 Monolage/min wurden die besten Ergebnisse erzielt**

Zusammenfassung

- Herstellung organischer FET mit Pentacen als aktives Material
- hohe Aufdampfraten begünstigen Bildung einer hohen Ordnung
  $\Rightarrow$ hohe Beweglichkeit
- Qualität der Metallisierung wirkt sich stark auf die erreichten Beweglichkeiten aus
- hohe Beweglichkeiten anderer Forschungsgruppen wurden nicht erreicht
  Grund: Verunreinigungen im Ausgangsmaterial Pentacen

ToDo

- Pentacen durch Umsublimation reinigen
- Genauere Strukturuntersuchung mit AFM