

# 1 Abstract

Within this thesis, the possibility of induced uniaxial crystallisations of vapour deposited organic semiconductors has been investigated. In particular, the structure inducing effects of graphene nanoribbons were studied.

7-armchair graphene nanoribbons (7-aGNRs) have been synthesised in an ultrahigh vacuum system on Au (788) single crystals. By using these crystals, the graphene nanoribbons were synthesised in a uniaxial aligned fashion due to the preferred orientation of the used precursor molecule (DBBA) along the Au(788) terraces. The uniaxially aligned graphene nanoribbons were transferred to a target substrate while retaining the alignment, which was then shown by polarisation dependent Raman spectroscopy.

The resulting quasi 1-dimensional GNR template was used to investigate the uniaxially induced crystallisation of six organic semiconductors, including merocyanine dyes and hydrocarbon compounds like TIPS-pentacene. For this, the semiconductors were vapour deposited on the template within the low evaporation rate and high substrate temperature regime. The uniaxial alignment was experimentally determined by performing polarisation dependent absorbance spectroscopy, atomic force microscopy, and X-ray diffraction measurements. Especially the linear dichroism has been used to evaluate the degree of alignment.

It could be demonstrated that the uniaxial alignment is caused by an anisotropic crystallisation of the OSCs on the 7-aGNR template. The anisotropy of the crystallisation rate could be shown to decrease with decreasing interaction strength between the template and the adsorbate (semiconductor). The interaction strength was estimated by the ratio of the work of adhesion and the surface tension of the used organic molecule  $W_{Ad}/\gamma_{org}^t - 1$ . The work of adhesion was experimentally determined by contact angle measurements.

The anisotropy of the crystallisation could be correlated with the structural anisotropy of the used armchair GNRs. It could further be shown that the interaction strength  $W_{Ad}/\gamma_{org}^t - 1$  affects the applicable substrate temperature. Especially, the hydrogenated edges of the GNR template could be identified as structure inducing element. By using graphene nanoribbon possessing different length to width ratios (LWR), the anisotropy of the hydrogenated edges could be shown as major influence on the observed linear dichroism.

Further, the alignment effect as function thicknesses (up to 120 nm) was investigated. A linear dichroism increase with increasing thickness could be observed for the merocyanine dye HB238 for layer thicknesses below 20 nm, which fulfils the surface tension condition for a two-dimensional growth  $W_{Ad}/\gamma_{org}^t - 1 = 1$ . Finally, The uniaxially aligned thin films could finally be implemented in an organic

## 1 *Abstract*

field effect transistor, by which the charge carrier mobility along and perpendicular to the alignment direction was determined. Thereby, the charge carrier mobility could be enhanced by a factor of five compared to isotropic crystalline layers, resulting in a record mobility of  $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  along the alignment direction.

In summary, the alignment effect was shown to be highly dependent on the surface tension of the semiconductor and the used GNR film. Matching surface tensions of the adsorbate and the GNR template, enable the uniaxial crystallisation.

## 2 Kurzzusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die uniaxiale Kristallisation von aufgedampften organischen Halbleitern untersucht. Hierzu wurden die strukturinduzierenden Effekte von Graphen-Nanoribbons untersucht, um uniaxial ausgerichtete, polykristalline Dünnschichten zu erhalten. 7-Armchair-Graphen-Nanoribbons (7-aGNRs) wurden in einem Ultrahochvakuum-System auf Au(788)-Einkristallen synthetisiert. Durch die Verwendung dieser Kristalle wurden die Graphen-Nanoribbons aufgrund der bevorzugten Ausrichtung des verwendeten Moleküls (DBBA) entlang der Au(788)-Terrassen uniaxial ausgerichtet. Die uniaxial ausgerichteten Graphen-Nanoribbons wurden unter Beibehaltung der Ausrichtung auf ein Zielsubstrat übertragen, was durch polarisationsabhängige Raman-Spektroskopie nachgewiesen wurde.

Das resultierende Templat wurde verwendet, um die uniaxial induzierte Kristallisation von sechs organischen Halbleitern zu untersuchen, darunter Merocyanin-Farbstoffe und Kohlenwasserstoffverbindungen wie TIPS-Pentacen. Zu diesem Zweck wurden die Halbleiter auf das Templat aufgedampft. Die uniaxiale Ausrichtung wurde experimentell durch polarisationsabhängige Absorptionsspektroskopie, Rasterkraftmikroskopie und Röntgenbeugungsmessungen bestimmt. Es konnte gezeigt werden, dass der Effekt der uniaxialen Ausrichtung durch eine anisotrope Kristallisationsrate der OSCs auf dem 7-aGNR-Templat verursacht wird. Es konnte gezeigt werden, dass die Anisotropie der Kristallisationsrate mit abnehmender Wechselwirkungsstärke zwischen dem Templat und dem Adsorbat (Halbleiter) abnimmt. Die Wechselwirkungsstärke wurde durch das Verhältnis der Adhäsionsarbeit und der Oberflächenspannung des verwendeten organischen Moleküls  $W_{\text{Ad}}/\gamma_{\text{org}}^{\text{t}} - 1$  abgeschätzt. Die Adhäsionsarbeit wurde experimentell durch Kontaktwinkel Messungen bestimmt.

Die Anisotropie der Kristallisation konnte mit der strukturellen Anisotropie der 7-aGNRs korreliert werden. Des weiter konnte eine Korrelation zwischen der maximalen Substrattemperatur und der Wechselwirkungstärke nachgewiesen werden. Insbesondere die hydrogenierten Kanten des GNR-Templates konnten als strukturinduzierendes Element identifiziert werden. Durch die Verwendung verschiedener Graphen-Nanoribbons mit unterschiedlichen Längen-zu-Breitenverhältnissen, konnte die Anisotropie der hydrierten Kanten als Haupteinfluss auf den beobachteten linearen Dichroismus nachgewiesen werden. Schließlich wurde der Ausrichtungseffekt als Funktion der Schichtdicke (bis zu 120 nm) untersucht. Für den Merocyanin-Farbstoff HB238, der die Oberflächenspannungsbedingung für ein 2-dimensionales Wachstum  $W_{\text{Ad}}/\gamma_{\text{org}}^{\text{t}} - 1 = 1$  erfüllt, konnte eine lineare Dichroismus Zunahme beobachtet

## 2 Kurzzusammenfassung

werden für Schichtdicken unterhalb von 20 nm.

Die uniaxial ausgerichteten Dünnschichten konnten schließlich in einen organischen Feldeffekttransistor implementiert werden, wodurch die Ladungsträgerbeweglichkeit entlang und senkrecht zur Ausrichtungsrichtung bestimmt wurde. Dabei konnte die Ladungsträgerbeweglichkeit um den Faktor fünf gesteigert werden im Vergleich zu isotrop kristallinen Schichten, was zu einer Rekordbeweglichkeit von  $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  entlang der Ausrichtungsrichtung führte.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass der Ausrichtungseffekt stark von der Oberflächenspannung des Halbleiters und des verwendeten GNR Films abhängig ist. Durch passende Oberflächenspannungen der OSCs und des Templates, wird die uniaxiale Kristallisation induziert.