

Изучение структурных свойств углеродных материалов для электроники с помощью поляризационного микроскопа

МАОУ Лицей 5

Индивидуальный итоговый
проект

Выполнил:

Канаев Иван, 11 «Б»

Научный руководитель:

Бабинцев В. А.

Актуальность темы



Углеродные нанотрубки являются перспективным материалом для создания элементов микро- и нанoeлектроники. Например их используют при создании полевых транзисторов. Это обусловлено их уникальными свойствами.

В микроэлектронике при использовании одностенных углеродных нанотрубок необходимо получать плёнки из ориентированных углеродных нанотрубок, чтобы улучшить их проводимость.

С помощью поляризационной микроскопии мы можем быстро оценивать анизотропию свойств (упорядоченность).

Цели и задачи проекта



- 1) Разработать доступный метод идентификации массивов из упорядоченных углеродных нанотрубок с помощью поляризационной микроскопии
- 2) Исследовать массивы из разупорядоченных и упорядоченных углеродных нанотрубок с помощью оптической поляризационной микроскопии, электроизмерительных приборов
- 3) Научиться работать с профессиональным научно-исследовательским оборудованием. Получить навыки по работе с научной литературой и обработке экспериментальных данных (результатов).

Обоснование выбранных способов и методов



Ориентированные УНТ (углеродные нанотрубки), в отличие от разупорядоченных, оптически анизотропны. Образец упорядоченных УНТ при просвете линейно-поляризованного света выступает в роли поляризатора. Если поляризатор поворачивать, то будет меняться интенсивность линейно-поляризованного света после прохождения сквозь образец. Изменение интенсивности основано на законе Малюса.

Закон Малюса

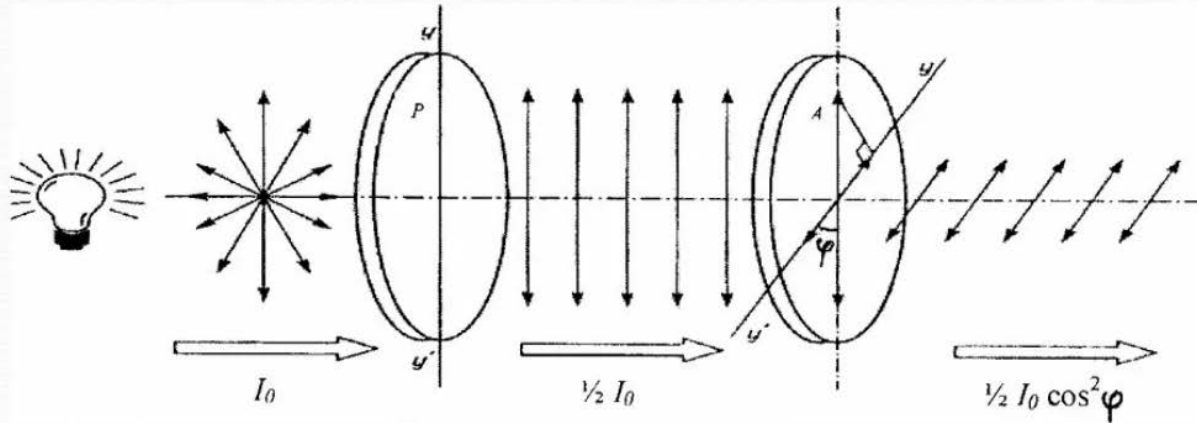


$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

I_0 – интенсивность света, падающего на анализатор,

I – интенсивность света, вышедшего из анализатора,

φ – угол между главными плоскостями анализатора и поляризатора.



Основные выполненные этапы



1. Изучены научные статьи, материалы, формулы – **ноябрь 2022 года**
2. Согласована дата посещения лаборатории – **январь 2023 года**
3. Сделаны фотографии ориентированных и разупорядоченных УНТ с помощью поляризационного микроскопа Альтами ПОЛАР 3 - **февраль 2023 года**
4. Измерена яркость участков изображений с помощью двух фоторедакторов Photoshop и GIMP – **май, октябрь 2023 года**
5. Освоено специализированное приложение OriginPro 8.5 для построение графиков – **июнь 2023 года**
6. Измерено поверхностное сопротивление трубок обоих типов с помощью прибора jandel rm3000 – **сентябрь 2023 года**

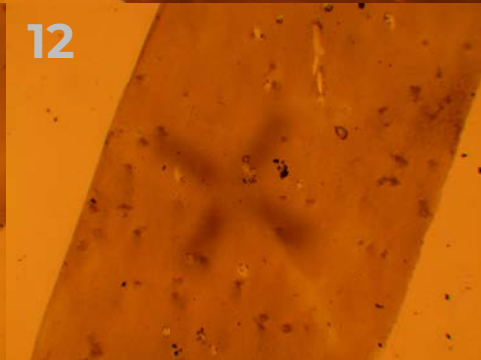
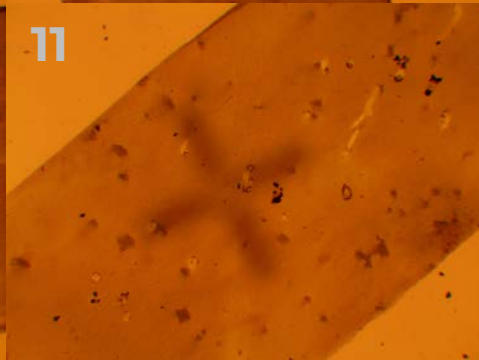
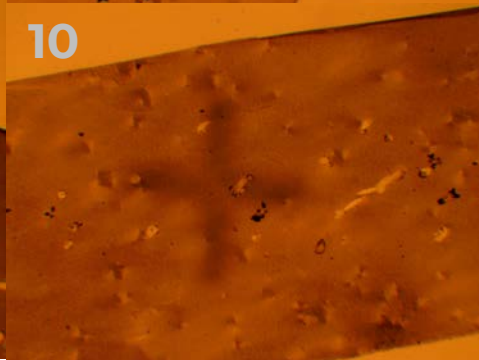
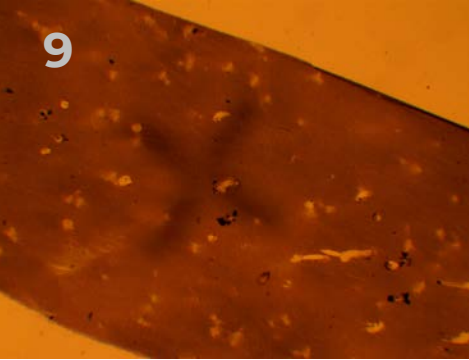
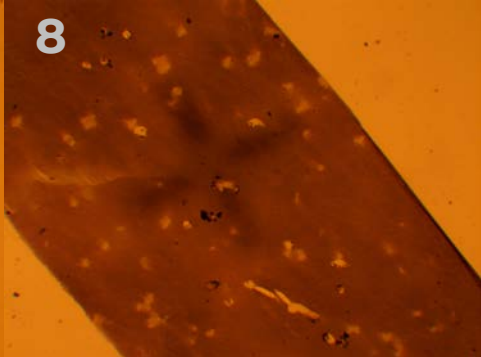
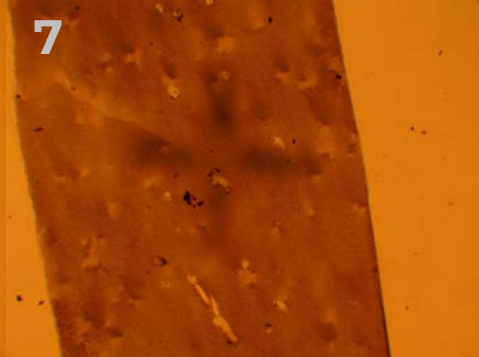
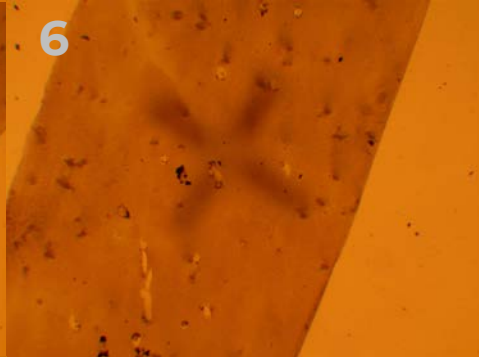
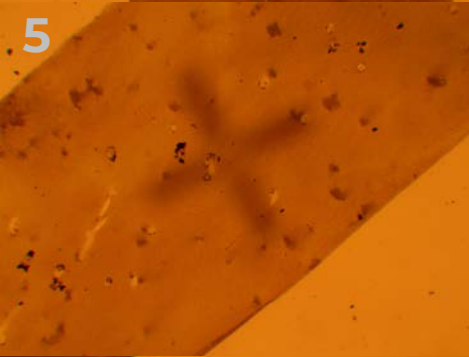
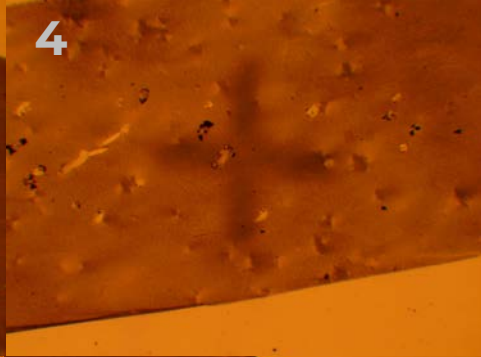
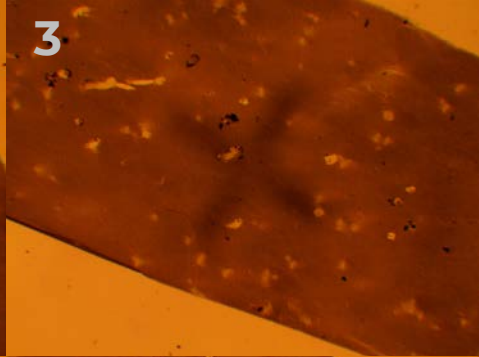
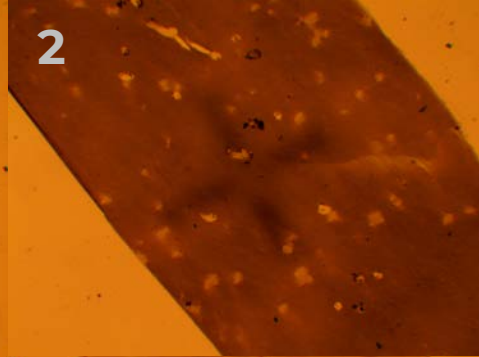
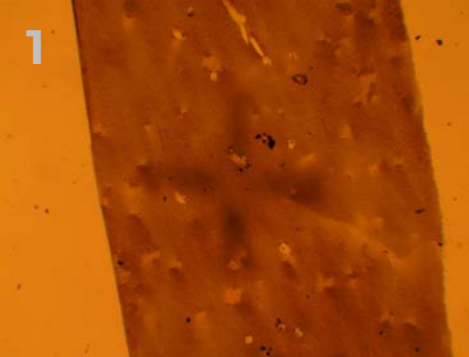
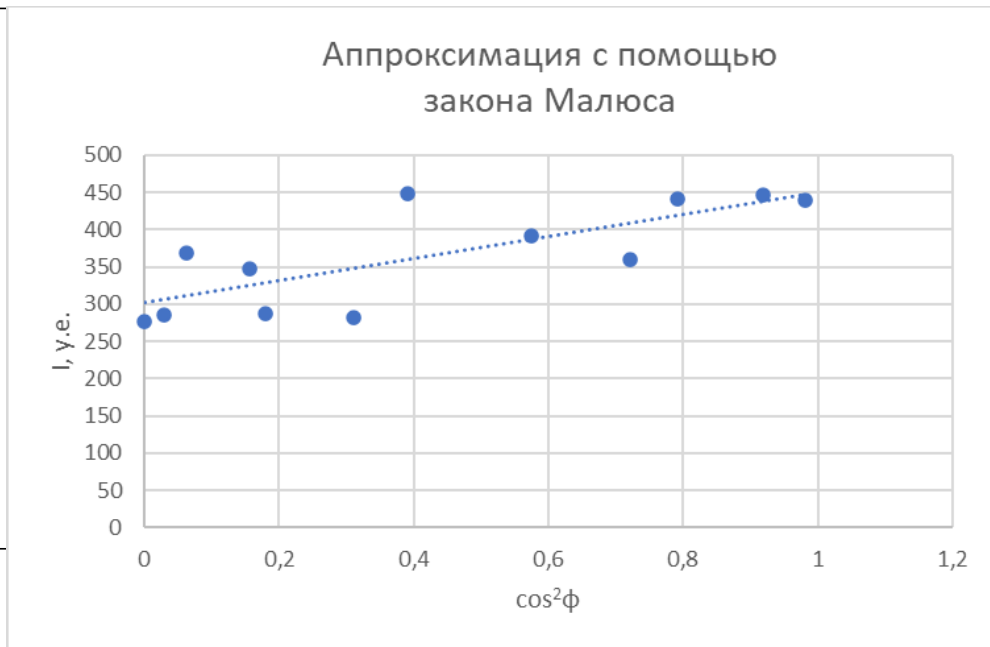
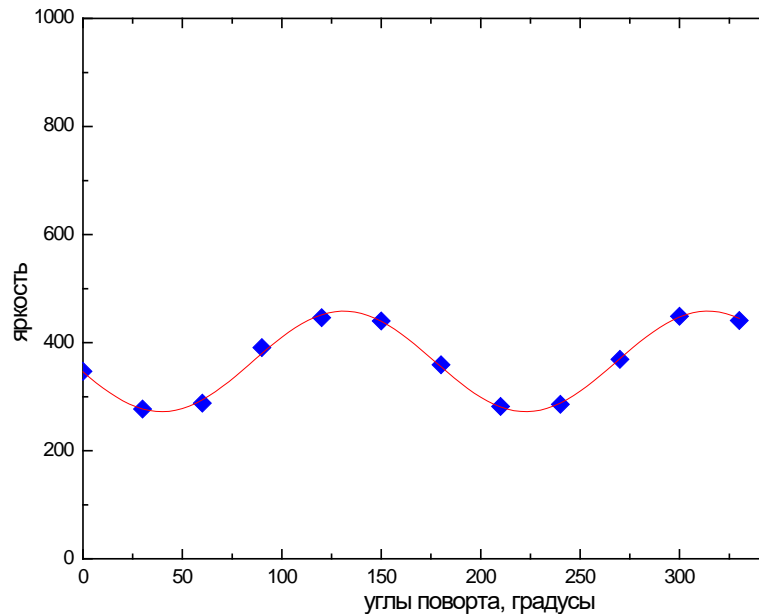


График зависимости интенсивности света (яркости) от угла поворота образца ориентированных нанотрубок



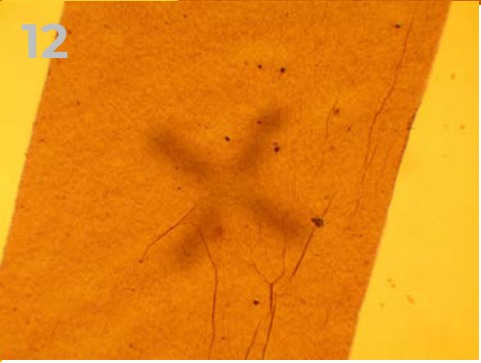
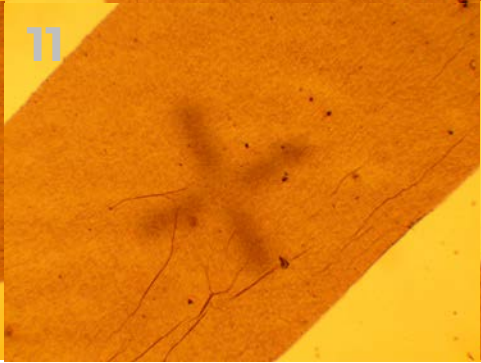
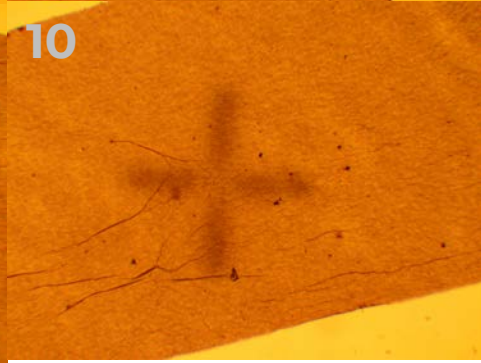
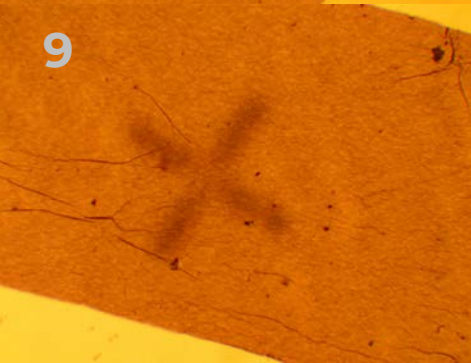
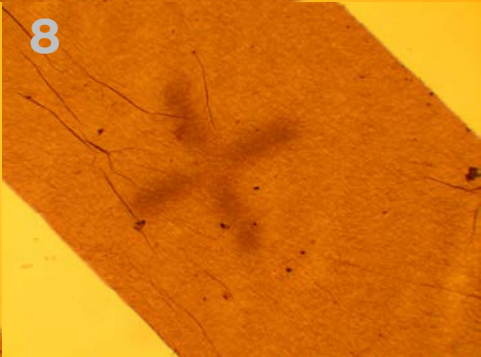
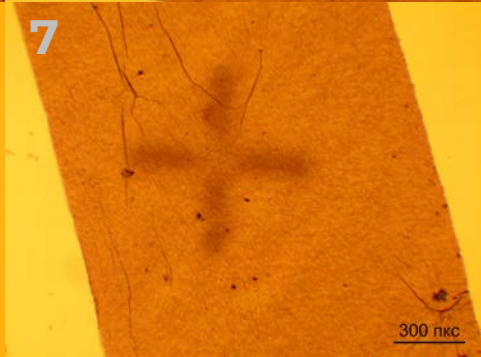
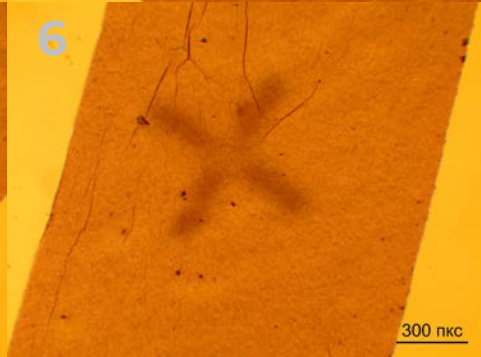
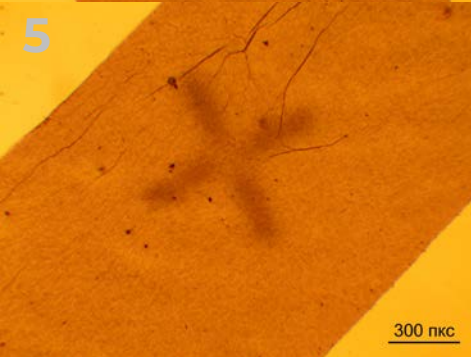
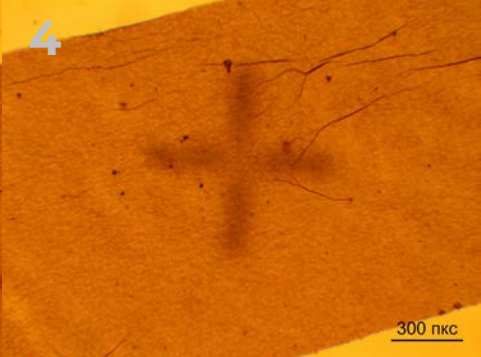
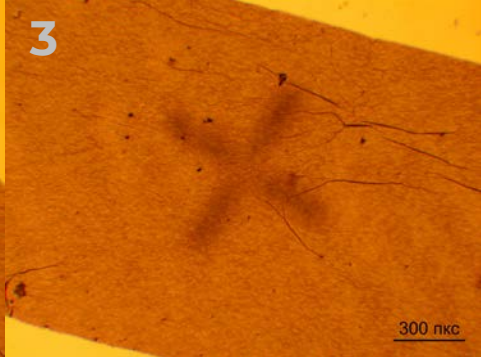
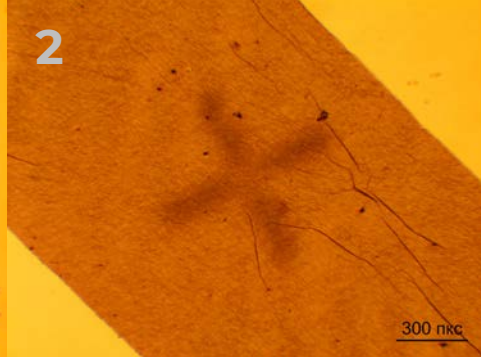
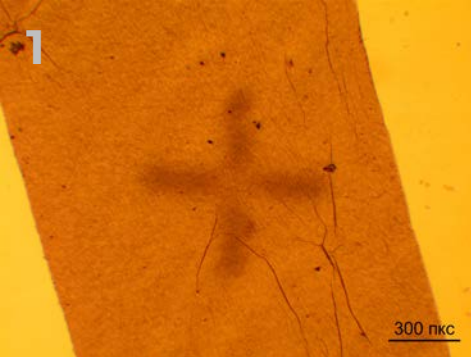
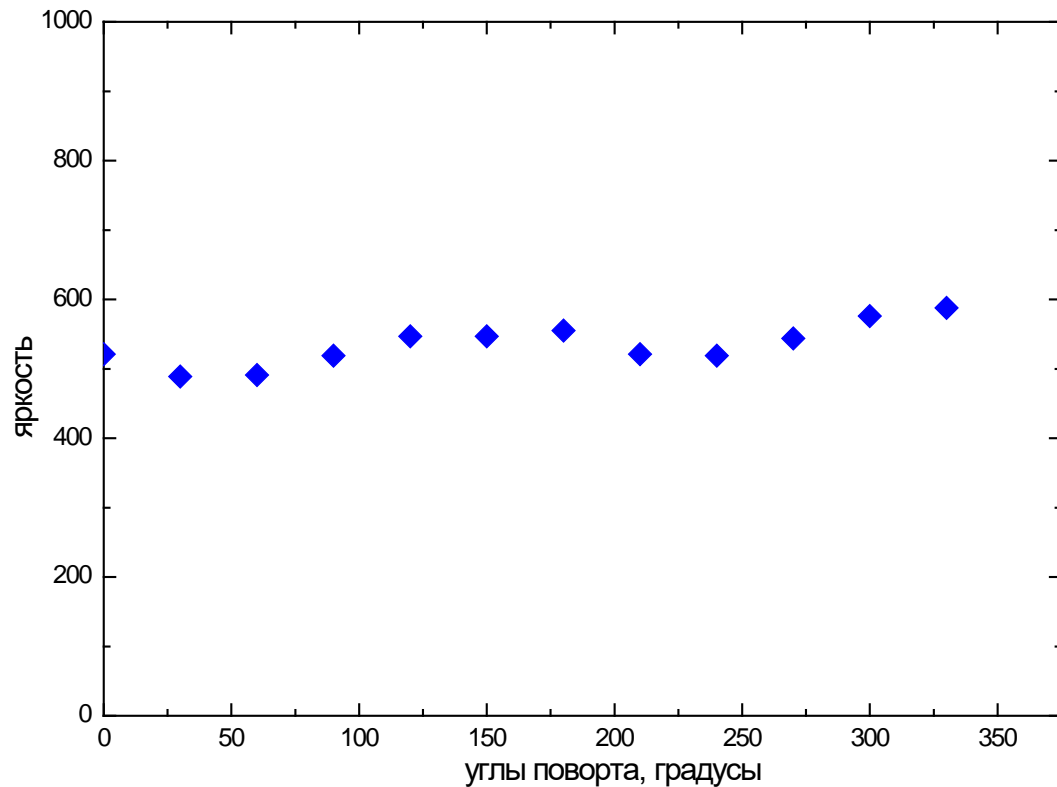


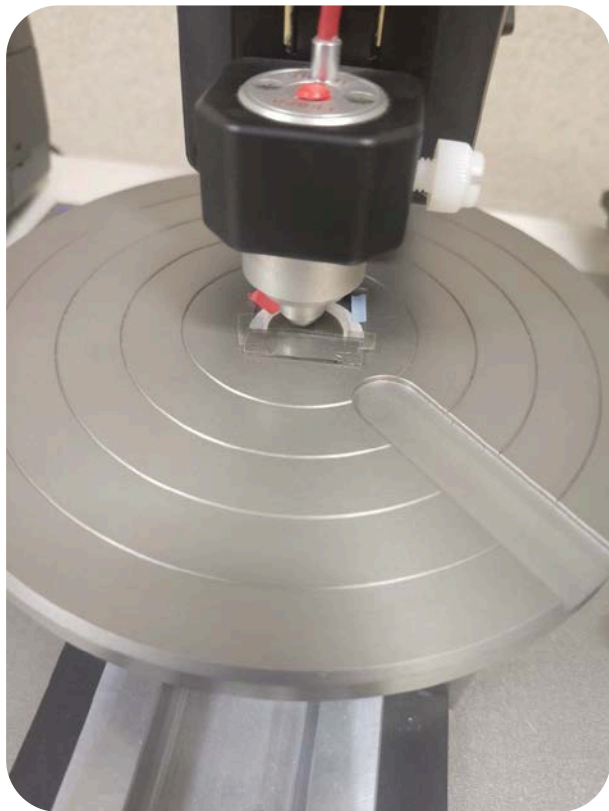
График зависимости интенсивности света (яркости) от угла поворота образца разупорядоченных нанотрубок



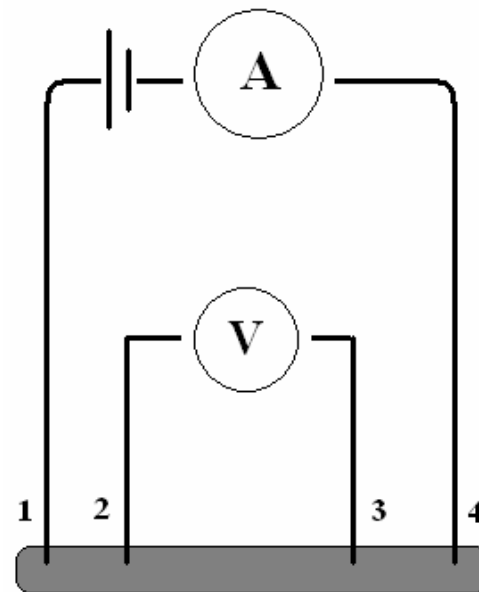
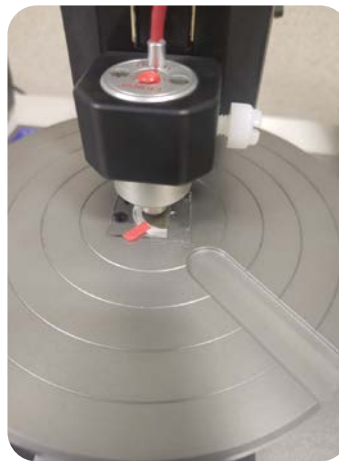
Измерения поверхностного сопротивления упорядоченных УНТ



1



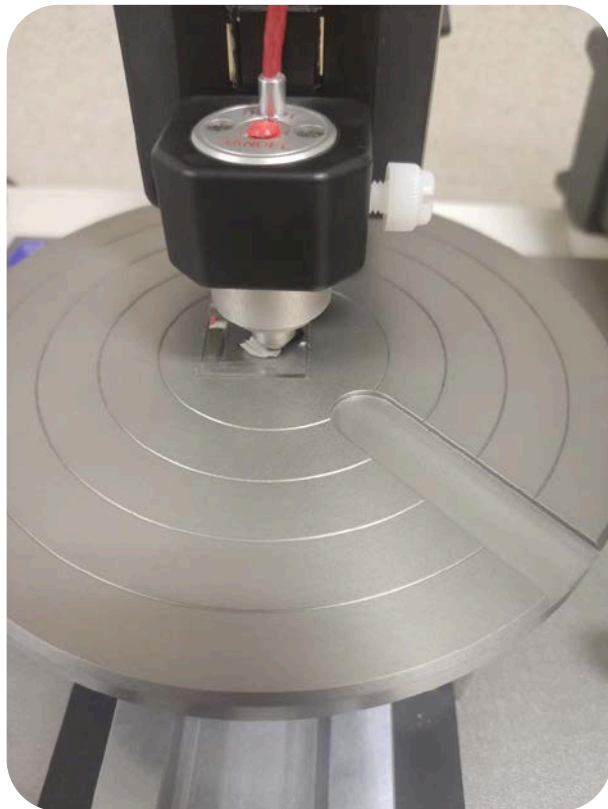
2



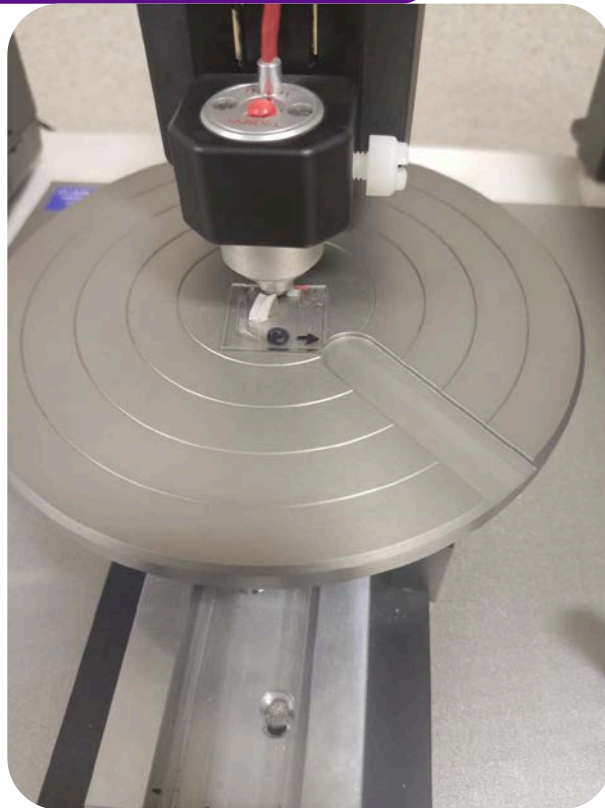
Измерения поверхностного сопротивления разупорядоченных УНТ



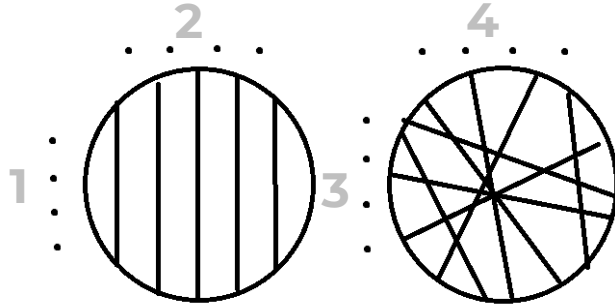
3



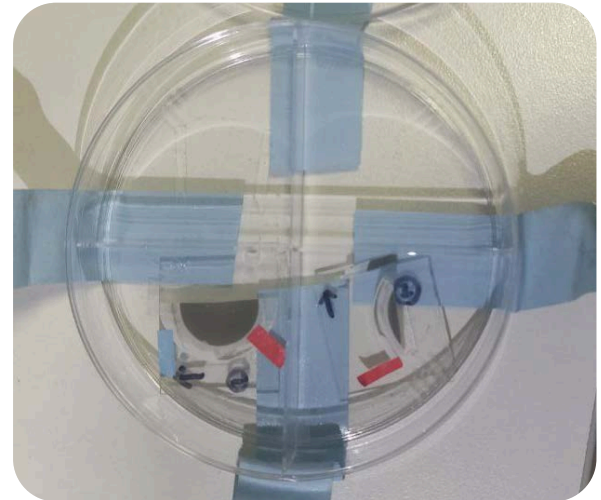
4



Измерения поверхностного сопротивления



номер	Поверхностное сопротивление
1	2.813 $\text{K}\Omega/\square$
2	3.847 $\text{K}\Omega/\square$
3	1.378 $\text{K}\Omega/\square$
4	1.489 $\text{K}\Omega/\square$



Вывод



Проведенные исследования подтвердили гипотезу, что с помощью оптического метода облучения образца линейно поляризованным светом и метода измерения электрического сопротивления образца при прохождении тока под разными углами (минимум 3) можно определить, является образец упорядоченным или нет.

Список литературы



- [1] X. Li, L. Zhang, X. Wang, I. Shimoyama, X. Sun, W.-S. Seo, H. Dai. Langmuir–Blodgett Assembly of Densely Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes from Bulk Materials. *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 4890. <https://doi.org/10.1021/ja071114e>
- [2] M. Engel, J. P. Small, M. Steiner, M. Freitag, A. A. Green, M. C. Hersam, P. Avouris. Thin Film Nanotube Transistors Based on Self-Assembled, Aligned, Semiconducting Carbon Nanotube Arrays. *ASC Nano* 2008, 2, 2445. <https://doi.org/10.1021/nn800708w>
- [3] X. He, W. Gao, L. Xie, B. Li, Q. Zhang, S. Lei, J. M. Robinson, E. H. Hároz, S. K. Doorn, W. Wang, R. Vajtai, P. M. Ajayan, W. W. Adams, R.H. Hauge, J. Kono. Wafer-scale monodomain films of spontaneously aligned single-walled carbon nanotubes. *Nat. Nanotechnol.* 2016, 11, 633. <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.44>
- [4] W. Gao, J. Kono, Science and applications of wafer-scale crystalline carbon nanotube films prepared through controlled vacuum filtration. *R. Soc. Open Sci.* 2019, 6, 181605. <https://doi.org/10.1098/rsos.181605>
- [5] J. S. Walker, J. A. Fagan, A. J. Biacchi, V. A. Kuehl, T. A. Searles, A. R. Hight Walker, W. D. Rice. Global Alignment of Solution-Based Single-Wall Carbon Nanotube Films via Machine-Vision Controlled Filtration. *Nano Lett.* 2019, 19, 7256. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b02853>
- [6] N. R. Arutyunyan, A. I. Chernov, K. M. Kuznetsov, E. D. Obraztsova. Post-Growth Alignment of Single-Wall Carbon Nanotubes Through Self-Assembly. *J. Nanoelectron. Optoelectron.* 2012, 7, 1. <https://doi.org/10.1166/jno.2012.1211>
- [7] N. R. Arutyunyan, A. I. Chernov, E. D. Obraztsova. Anisotropic macrostructures formed of single-walled carbon nanotubes. *Phys. Stat. Solidi b* 2010; 247, 2814. <https://doi.org/10.1002/pssb.201000204>

Перспективы развития проекта



1. Построить модель, позволяющую количественно оценить степень разупорядоченности, проверить ее на опыте