

*Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования*
**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**
Факультет физики
Бакалавриат
Образовательная программа «Физика» 03.03.02

О Т Ч Е Т
по учебной практике

по теме:

***«Зародышеобразование и рост двумерных пленок
йодида никеля на поверхности Ni(110)»***

Выполнил студент группы БФЗ183
Захаров Сергей Дмитриевич

Проверил:

к.ф.-м.н., доцент Базовой кафедры
квантовых технологий
при Институте общей физики
им. А.М. Прохорова РАН
факультета физики НИУ ВШЭ
Комаров Никита Сергеевич

31 декабря 2021 г.

Москва
2021 г.

Содержание

1	Актуальность работы	3
2	Цели и задачи	3
3	Экспериментальная установка	3
4	Используемые образцы и методы подготовки чистой поверхности	4
5	Очистка поверхности Ni(110) и последующее йодирование	4

1 Актуальность работы

В последнее время двумерные (2D) галогениды металлов привлекли к себе огромное внимание из-за возможности управления их механическими, электронными, магнитными и топологическими свойствами, в значительной степени пополняя семейство 2D-ван-дер-Ваальсовых (ВДВ) материалов. Особый интерес представляют магнитные двумерные материалы, которые являются перспективными для создания устройств спинтроники [1–4].

Следует отметить, что для синтеза 2D ВДВ материалов в настоящее время в основном используется т.н. «скотч-технология» (механическое отщепление тонких слоев от соответствующих объемных кристаллов). Однако отщепленные слои обычно загрязнены внешними примесями и часто имеют большое количество внутренних дефектов, которые приводят к деградации материала. В результате приборы на основе таких слоев имеют плохо воспроизводимые параметры. В этой связи, в качестве технологии создания 2D ВДВ материалов крайне актуальным и перспективным являются сверхвысоковакуумные технологии на основе поверхностных химических реакций и ван-дер-Ваальсовой эпитаксии. В реакции взаимодействия молекулярных галогенов с поверхностью металлов, тонкий слой галогенида формируется как естественный продукт реакции.

2 Цели и задачи

Цель работы: провести сравнительное исследование морфологии и атомной структуры пленок двумерного йодида никеля (NiI_2) на подложке $\text{Ni}(111)$, полученных как йодированием, в результате прямой адсорбции молекулярного йода, так и путем напыления из эффузионной ячейки.

Для достижения поставленной цели решались задачи:

1. Подготовка чистой поверхности $\text{Ni}(110)$.
2. Роста двумерной пленки йодида никеля с использованием поверхностной химической реакции $\text{Ni}(110) + \text{I}_2$.
3. Охарактеризации поверхности йодида никеля методами электронной оже-спектроскопии, дифракции медленных электронов, сканирующей туннельной микроскопии, термодесорбции. Установить наличие/отсутствие полиморфных фазы NiI_2 на поверхности $\text{Ni}(100)$.
4. Роста двумерной пленки йодида никеля с использованием напылительной ячейки NiI_2 .
5. Охарактеризации поверхности йодида никеля методами электронной оже-спектроскопии, дифракции медленных электронов, сканирующей туннельной микроскопии, термодесорбции.

3 Экспериментальная установка

На Рисунке 1 представлена схема сверхвысоковакуумной установки, в которой были выполнены все исследования, представленные в данной работе. Установка состоит из аналитической камеры (1), СТМ-камеры (3) и шлюзовой камеры (2), использовавшейся для загрузки/выгрузки образцов и зондов (СТМ-игл) сканирующего туннельного микроскопа. Аналитическая камера оснащена оже-спектрометром (5) с анализатором типа «цилиндрическое зеркало» (Riber OPC-200), квадрупольным масс-спектрометром (6) (Riber Q-156), сканирующей ионной пушкой (7) (Riber CI-50) и системой напуска газов (8). В СТМ-камере находится вакуумный модуль СТМ

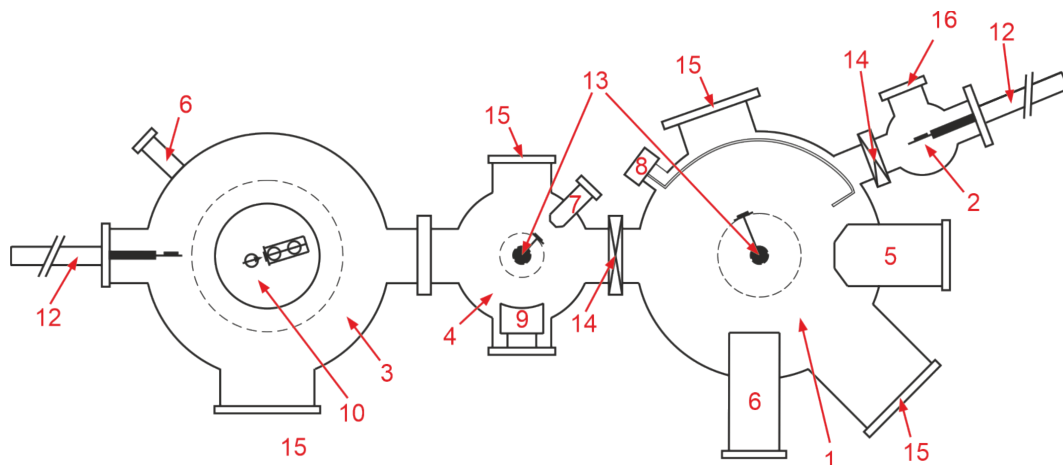


Рис. 1: Схемы СВВ-установки. Вид сверху: (1) аналитическая камера, (2) плузовая камера, (3) СТМ-камера, (4) ДМЭ-камера, (5) оже-спектрометр, (6) масс-спектрометр, (7) ионная пушка, (8) пьезокерамический натекаль для напуска молекулярного йода, (9) дифрактометр медленных электронов, (10) вакуумный модуль СТМ, (11) электронная пушка, (12) магнитный линейный шток, (13) универсальный манипулятор с пятью степенями свободы, (14) шиберный затвор, (15) смотровое окно, (16) фланец быстрой загрузки, (17) универсальный манипулятор с четырьмя степенями свободы. Картинка взята из работы [5]

(10) (СТМ-GPI300) и дифрактометр медленных электронов (9) с трехсеточным анализатором электронов (Riber OPR 304). Аналитическая камера отделена от СТМ-камеры и плузовой камеры шиберными затворами (14). Аналитическая камера и СТМ-камера оснащены системой откачки, включающей в себя магниторазрядный и титановый сублимационный насосы. Базовое давление в обеих камерах составляет 1×10^{-10} Торр.

4 Используемые образцы и методы подготовки чистой поверхности

В эксперименте использован монокристаллический образец никеля Ni(110). Образец изготовлен фирмой Surface Preparation Laboratory (Голландия). Точность ориентации поверхности относительно заявленной грани была не хуже 0.1° . Кристалл никеля имеет гранецентрированную кубическую решетку с периодом $a = 3.523 \text{ \AA}$, пространственная группа $Fm\bar{3}m$.

Для очистки поверхности Ni(110) применялась серия циклов, состоящих из последовательного ионного травления ионами аргона в течении 30 минут при давлении аргона в камере $2 \cdot 10^{-4}$ Торр и последующего прогрева при температуре 600°C в течении 30 минут.

5 Очистка поверхности Ni(110) и последующее йодирование

Чистота поверхности контролировалась по оже-спектрам. На рисунке 2 представлен оже-спектр поверхности Ni(110), полученный после внесения образца в сверхвысоковакуумную установку. Видно, что помимо оже-пигов никеля (низкоэнергетичный пик 61 эВ, серия пиков около 848 эВ) на рисунке присутствует оже-пик хлора (180 эВ). В качестве критерия химической чистоты поверхности было взято отношение интенсивностей оже-пигов характерных примесей к

интенсивности пика никеля. Для чистой поверхности эти отношения составляло порядка 1%.

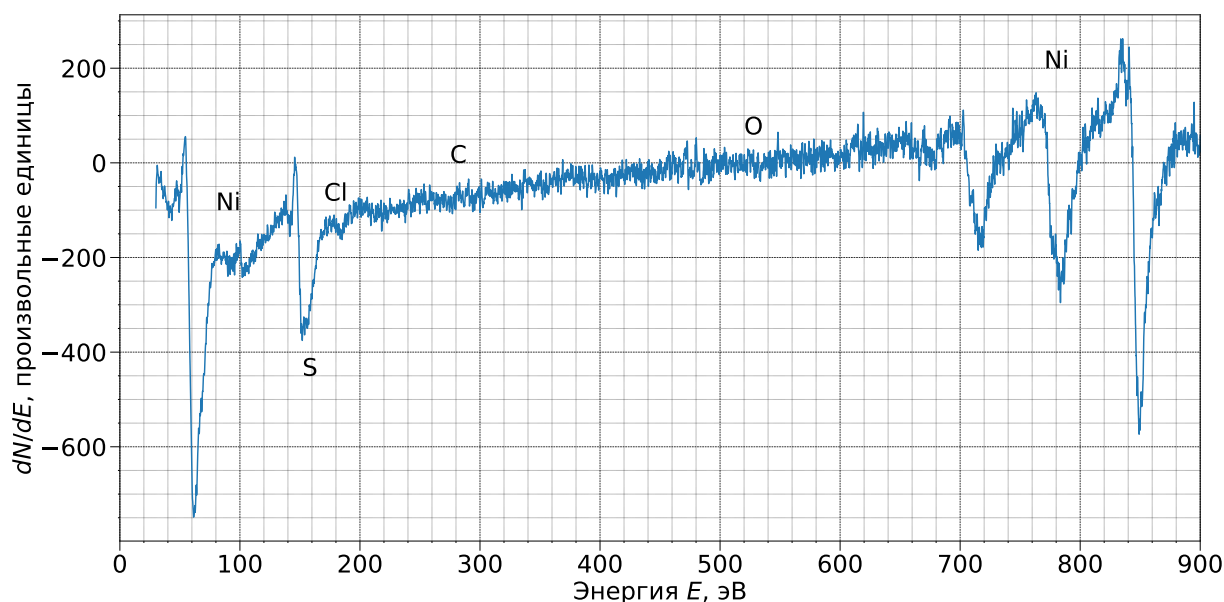


Рис. 2: Оже-спектр поверхности Ni(110) сразу после внесения образца в сверхвысоковакуумную камеру. $I_e = 2500$ мА, $E_p = 2500$ эВ.

Поверхность Ni(110) обладает высокой химической активностью, и поэтому достаточно быстро становится непригодной для последующей адсорбции молекулярного йода. Для предотвращения загрязнения чистой поверхности Ni(110) адсорбция молекулярного йода проводилась непосредственно после отжига. Данная процедура приводит к формированию пассивирующего слоя йода, который защищает поверхность от нежелательных загрязнений. Напуск йода производился через капилляр на переднюю плоскость образца. Давлении в камере при напуске йода не опускалась ниже $4 \cdot 10^{-9}$ Торр.

На рисунке 3 представлен оже-спектр поверхности Ni(110), полученный после очистки и напуска йода. Видно, что после очистки поверхности образца оже-пики примесей полностью исчезли. Также на рисунке присутствует отчетливый оже-пик йода (511 и 520 эВ), что свидетельствует об успешном покрытии поверхности йодом.

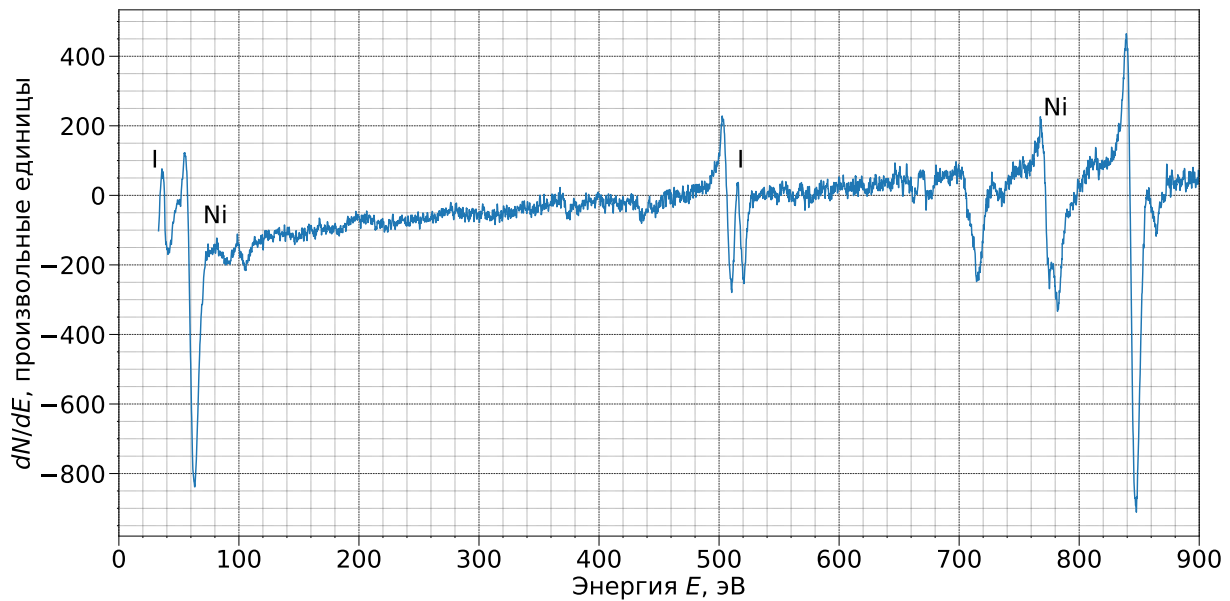


Рис. 3: Оже-спектр поверхности Ni(110) после очистки и напуска йода. $I_e = 2500$ мА, $E_p = 2500$ эВ.

Список литературы

- [1] Two-dimensional spintronics for low- power electronics. X. Lin, W. Yang, K. L. Wang, W. Zhao, Nat. Electron. 2, 274 (2019).
- [2] Intrinsic Van Der Waals Magnetic Materials from Bulk to the 2D Limit: New Frontiers of Spintronics. H. Li, S. Ruan, Y. J. Zeng, Adv. Mater. 31, 1900065 (2019).
- [3] Prospects and Opportunities of 2D van der Waals Magnetic Systems. Wang, M., Huang, C., Cheung, C., Chen, C., Tan, S. G., Huang, T., Zhao, Y., Zhao, Y., Wu, G., Feng, Y., Wu, H., Chang, C., Annal. Phys. 532, 1900452 (2020).
- [4] Magnetism in two-dimensional van der Waals materials. Burch, K.S., Mandrus, D. Park, J. Nature 563, 47–52 (2018).
- [5] Комаров Н.С. Атомные структуры на поверхности монокристаллов никеля при воздействии молекулярного йода : дис. к.ф.-м.н.: 01.04.07. - ИОФ РАН, Москва, 2021.