

Тонкие плёнки дисульфида вольфрама, полученные жидкофазным методом, для полевых транзисторов

Д. И. Доминский^{*1}, Е. В. Фельдман¹, А. Ю. Омелянович²

¹Физический факультет и Международный лазерный центр, МГУ им. М.В. Ломоносова

²Center for Electrochemical Energy Storage,

Skolkovo Institute of Science and Technology, Skolkovo Innovation Center,

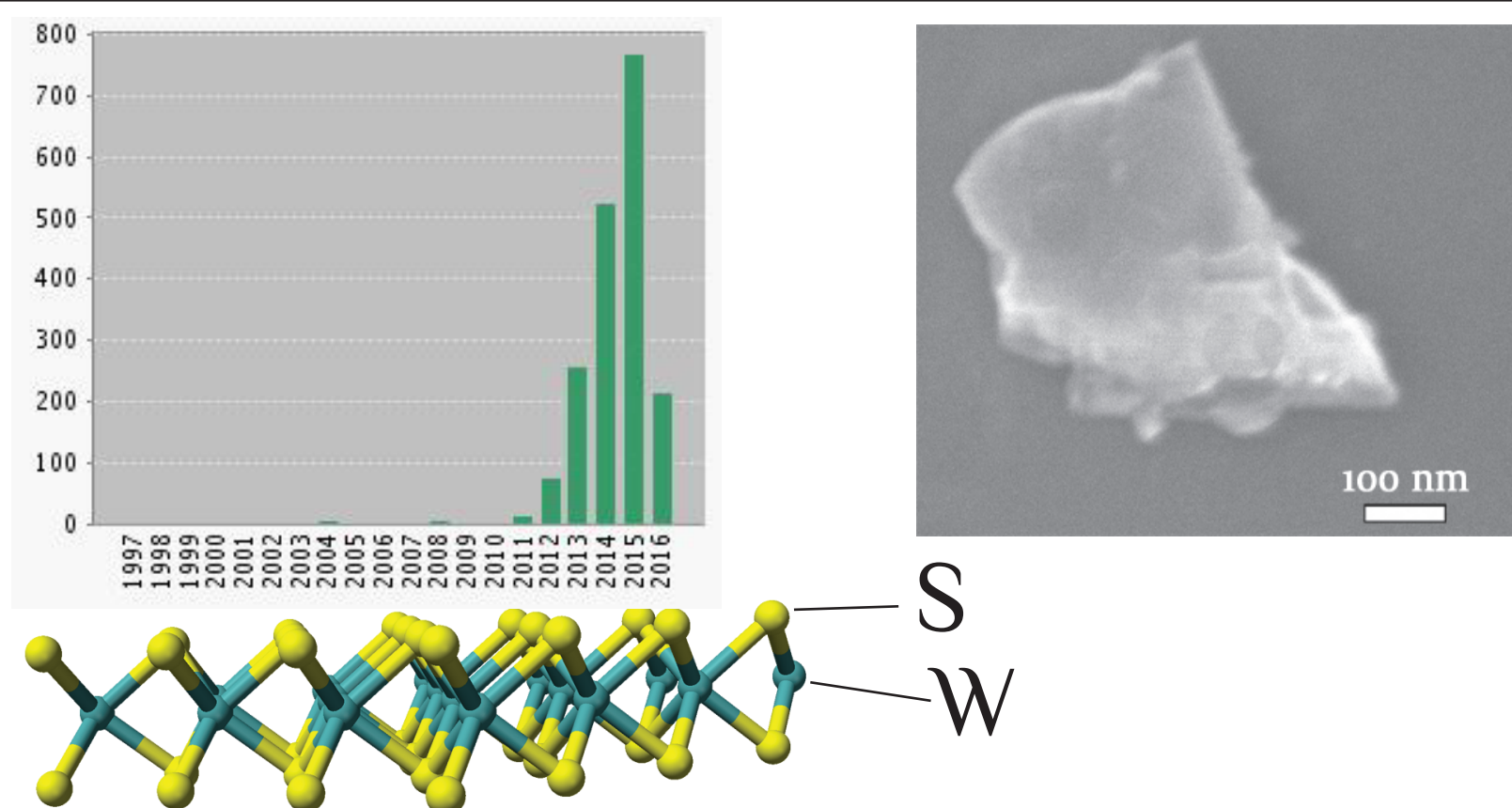
*email: di.dominskiy@physics.msu.ru



Аннотация

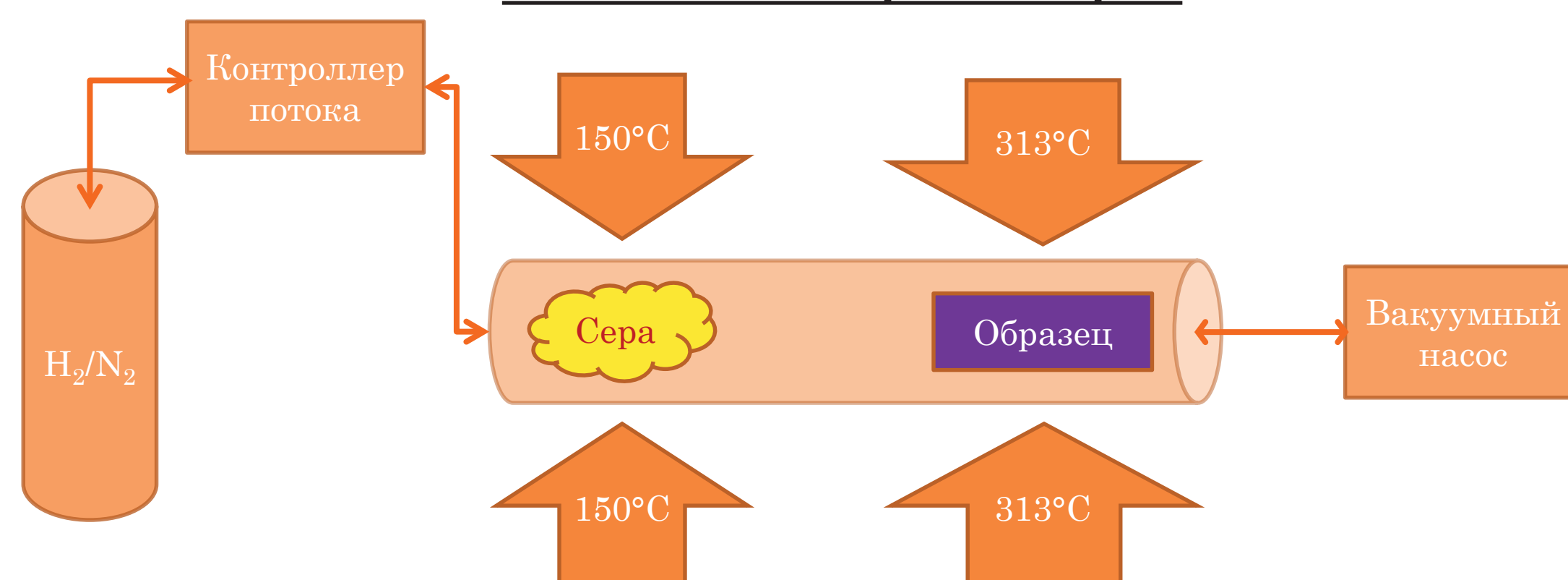
Уникальные свойства графена сильно повысили интерес к двумерным (2D) полупроводящим материалам. За последние несколько лет дихалькогениды переходных металлов (ДПМ) вызывают большой интерес, так как они обладают прямой запрещенной зоной в видимом спектре и предоставляют возможность создания 2D эффективных электронных и оптоэлектронных устройств [1]. Тонкоплёночные полевые транзисторы (ТПТ) - ключевой элемент любого электронного устройства, а подвижность носителей заряда важнейшая характеристика ТПТ. Наивысшие значения подвижности для ТПТ на основе единичной чешуйки ДПМ достигает 60 см²/В*с [2]. Однако все предыдущие исследования проводились на одиночных чешуйках ДПМ, т.е. нанокристаллах образованных из нескольких монослоёв ДПМ, и этот подход едва ли применим к возможной технологии массового производства электронных устройств. В настоящей работе приготовлены тонкие плёнки ДПМ из наночешуек WS₂ с помощью жидкофазного метода и изучены их электрические свойства в составе ТПТ.

Дихалькогениды переходных металлов

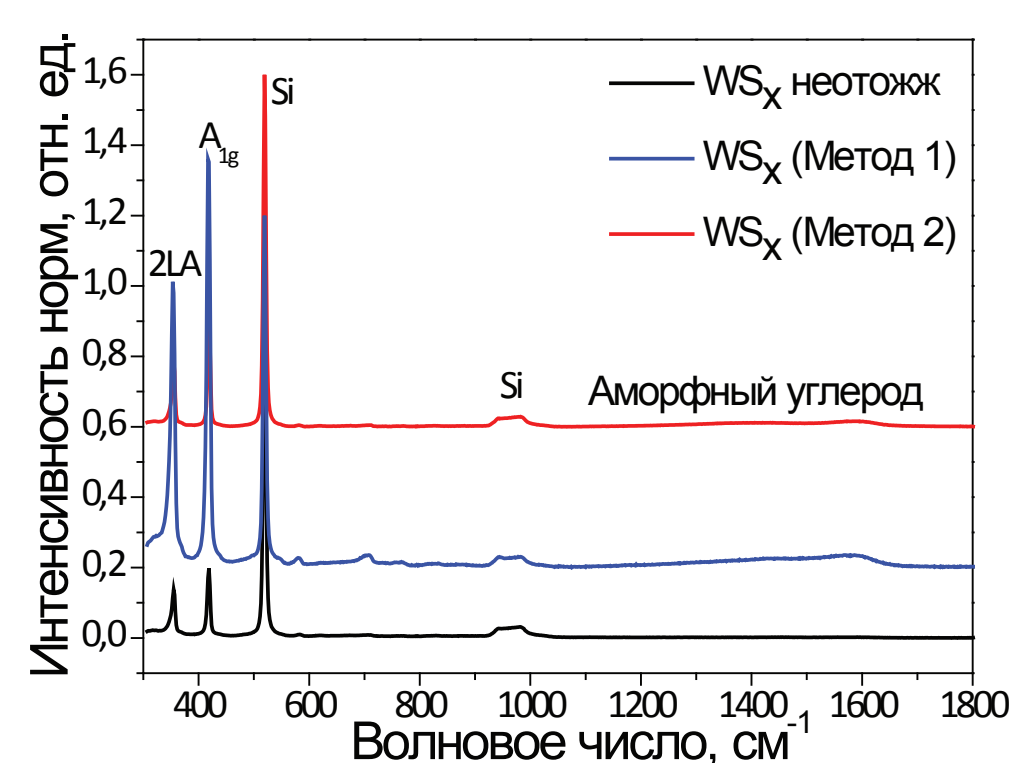


- Транзисторы с n- и p-каналом
- $\mu = 60 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, $I_{\text{on/off}} = 10^8$ (устройства на наночешуйках)
- Подходят для ТПТ на гибких подложках
- Монослои ДПМ могут быть применимы в оптоэлектронике (прямая запрещенная зона $E_g = 1.8 \text{ эВ}$)
- Прозрачность монослоя - 95%, нескольких слоёв - 65%

Отжиг в парах серы

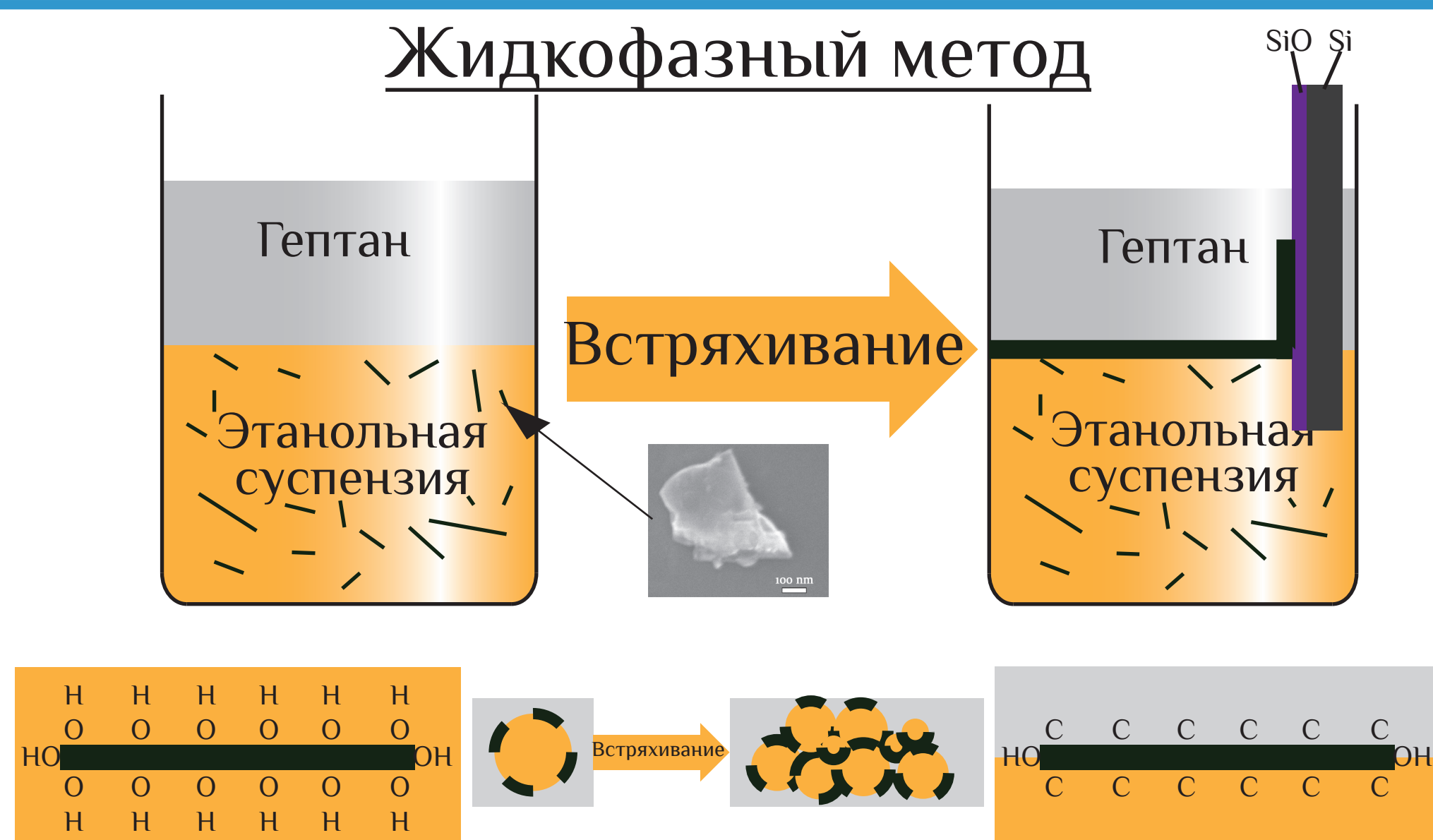


КР анализ



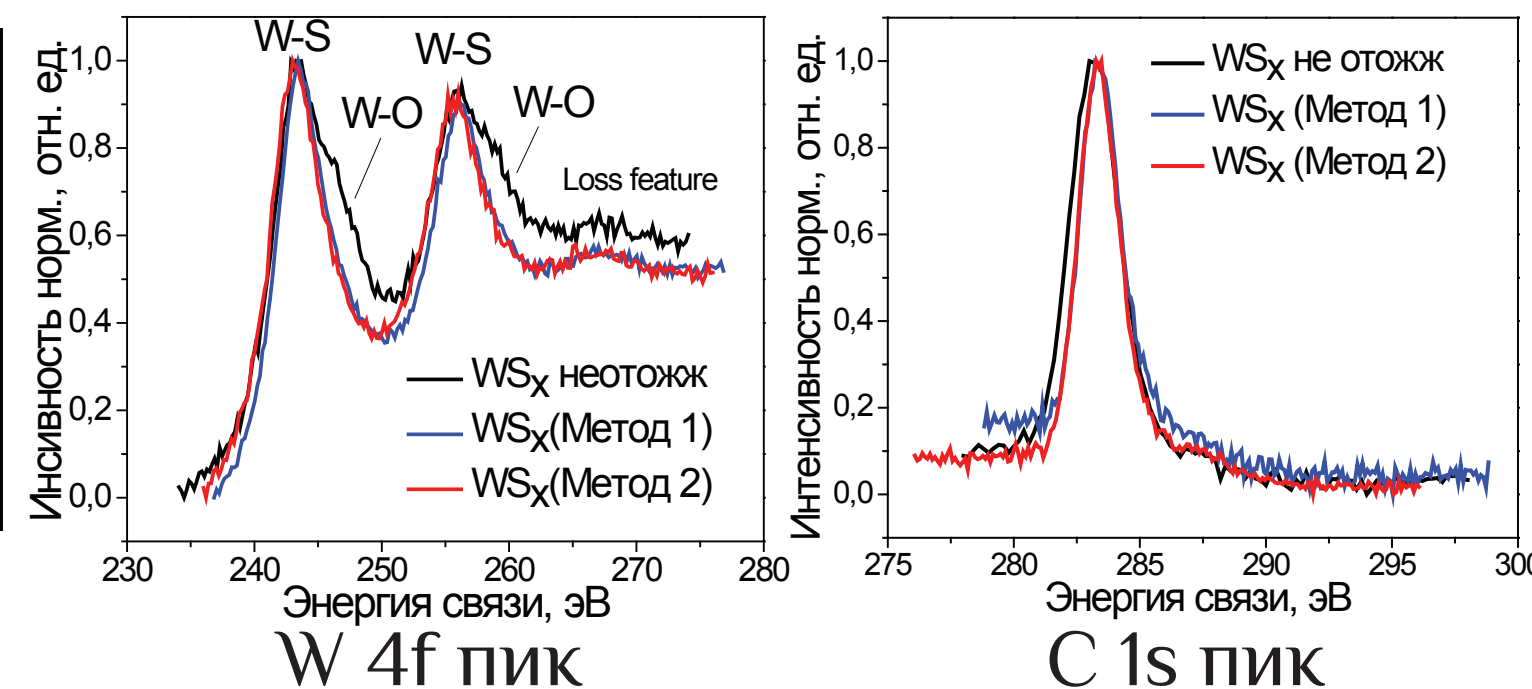
Центр, см ⁻¹	Обозначение	Образец	2LA/A1g
418.30	A _{1g}	WS _x неотожж	0.63
354.56	2LA		
519.43	Si		
353.34	2LA	WS _x (Метод 1)	0.64
417.79	A _{1g}		
519.24	Si		
1433.76	Аморфн С	WS ₂ (Метод 2)	0.61
354.58	2LA		
418.94	A _{1g}		
519.45	Si	WS ₂ (Метод 2)	0.61
1471.74	Аморфн С		

Жидкофазный метод



РФЭС анализ

Sample	WS ₂ as-dep	WS ₂ (Method 1)	WS ₂ (Method 2)
Si 2p, %	12,00	3,80	14,60
O 1s, %	23,10	15,90	35,10
C 1s, %	44,60	34,50	34,20
W 4d, %	9,90	21,20	10,70
S 2p, %	10,30	24,40	5,40
S/W	1,04	1,15	0,50
W/C	0,22	0,61	0,31



Морфология плёнок WS₂

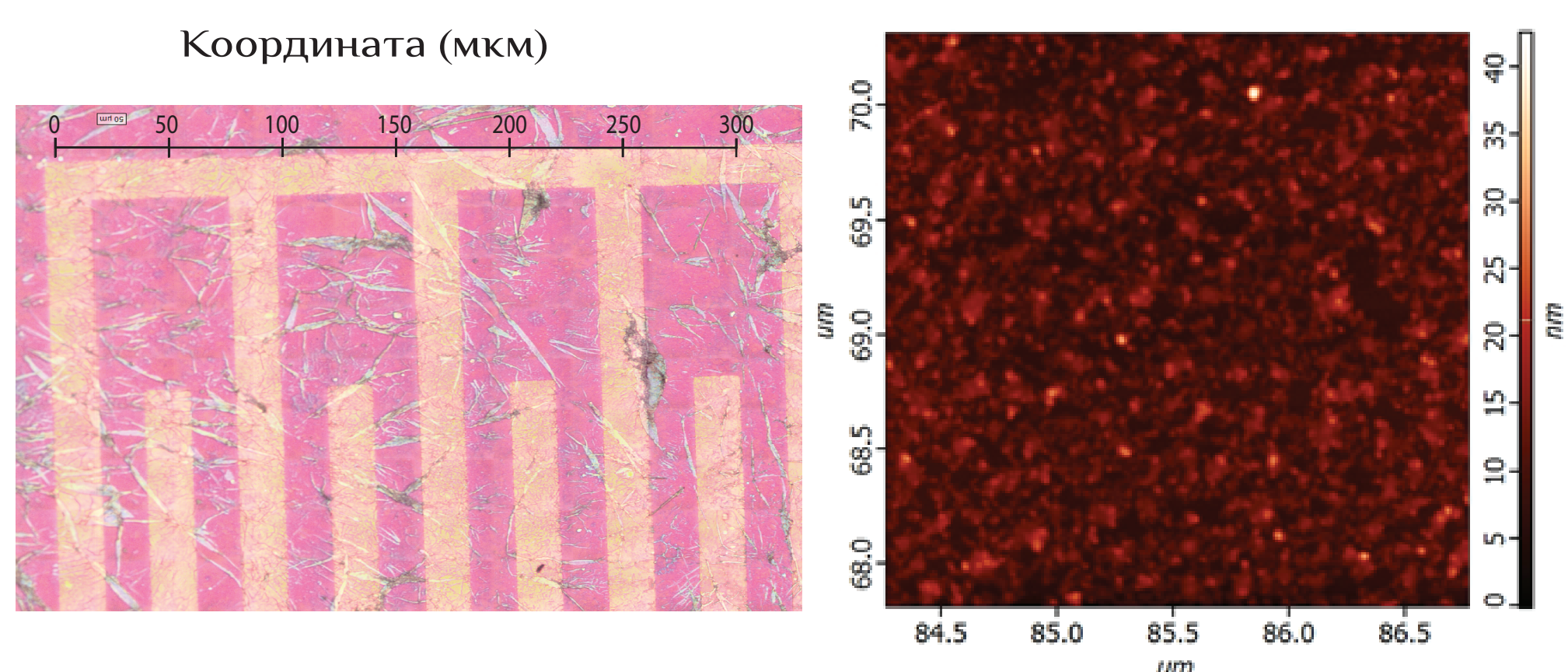
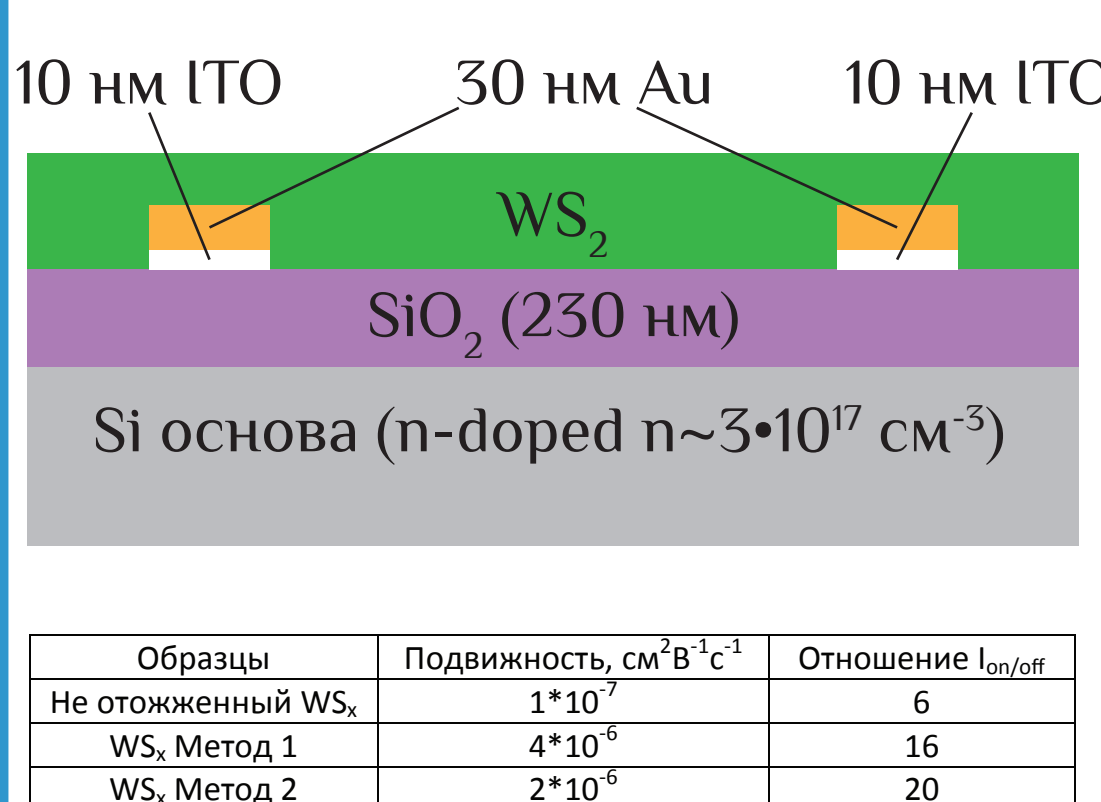


Фото в оптический микроскоп

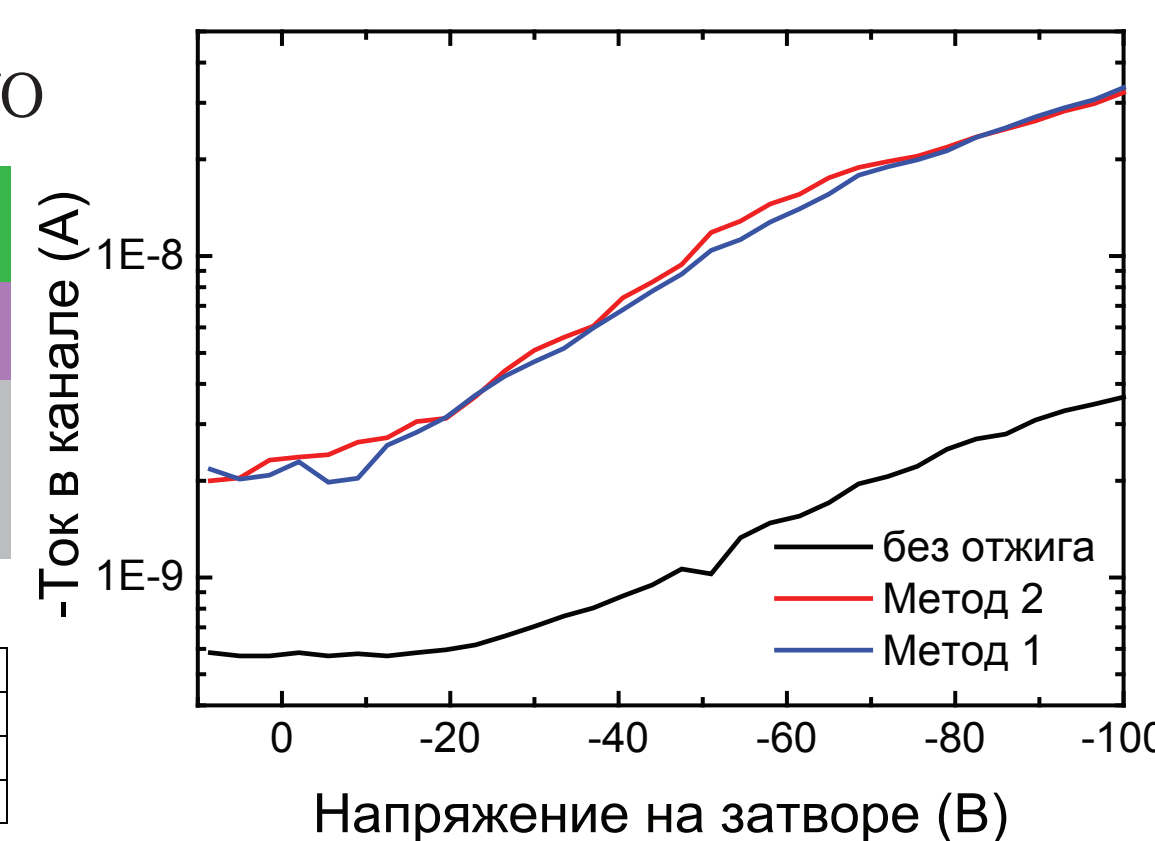
Топология из АСМ

Шерховатость RMS = 8,14 нм

Электрические характеристики



Образцы	Подвижность, см ² В ⁻¹ с ⁻¹	Отношение I _{on/off}
Не отожженный WS _x	1*10 ⁻⁷	6
WS _x Метод 1	4*10 ⁻⁶	16
WS _x Метод 2	2*10 ⁻⁶	20



Результаты

- Тонкие однородные плёнки WS₂ могут быть получены жидкофазным методом из суспензии наночешуек.
- Полевые устройства на WS₂ (FET) показывают проводимость p-типа.
- Характеристики ТПТ вероятно ограничены различными дефектами (большое содержание углерода, контакты наночешуек и т.д.).

Литература

1. Jariwala, Deep, et al, ACS Nano, **8** (2), 1102–1120 (2014)
2. B. Radisavljevic, et al, Nat. Nanotechnol. **6**, 147–150 (2011)
3. W.M. Ranjith Divigalpitiya, et al, Thin Solid Films, **186**, 177 (1990)