

2 СЛАЙД: В последние десятилетия алмаз вызвал большой интерес как альтернатива проводящим металлическим и полупроводниковым холодным катодам. Попытки создать матрицы на основе алмазов и алмазоподобных излучателей для работы в качестве дисплеев с полевой эмиссией, в конечном итоге были коммерчески неудачными, но потенциал использования алмазного нанокристалла, в качестве точечного источника электронов, не был систематически исследован ранее. Непрерывный интерес к алмазной электронике основан на превосходных свойствах материалов, с помощью которых возможно сделать устройства высокой мощности. На данный момент такие устройства невозможны с обычными полупроводниками и другими широкозонными полупроводниками. Алмаз - это перспективный материал и изучению его свойств пока уделено недостаточно внимания, как в России, так и за рубежом, остается много неизвестных нюансов. Так до сих пор остаются вопросы в области радиационной физики алмаза при электронном и ионном облучении. А одним из ключевых вопросов является радиационная стойкость и механизм дефектообразования и влияние этого механизма на процесс зарядки алмаза пучками заряженных частиц. Поэтому в последующей работе будет исследован механизм зарядки алмаза синтезированного в ТИСНУМ.

3 СЛАЙД: На фото представлены реальные образцы синтетического алмаза полученного в ТИСНУМе, коротко об основных физических свойствах алмаза: минерал, кубическая аллотропная форма углерода. При нормальных условиях метастабилен, то есть может существовать неограниченно долго. В вакууме или в инертном газе при повышенных температурах постепенно переходит в графит. Главные отличительные черты алмаза - высочайшая среди минералов твёрдость, наиболее высокая теплопроводность среди всех твёрдых тел, большой показатель преломления и дисперсия. Алмаз является широкозонным полупроводником. Сингония кубическая, кристаллическая решётка - кубическая гранецентрированная.

4 СЛАЙД: Для экспериментального исследования зарядки алмазов был использован электронно-зондовый комплекс на базе растрового электронного микроскопа (РЭМ), который позволяет фиксировать основные параметры зарядки, а именно, поверхностный потенциал $V_S(t)$, ток смещения I_D (аккумулируемый заряд Q) и ток утечки I_L . Для облучения образцов использовался сканирующий электронный микроскоп LEO - 1455V P, с помощью которого можно осуществлять зарядку образцов с фиксированной плотностью тока в диапазоне энергий от 200 эВ до 30 кэВ. По сдвигу спектра вторичных электронов (ВЭ), полученного с помощью электростатического секторного тороидального спектрометра, определяется поверхностный потенциал зарядки образца. Зависимость тока эмиссии от времени $I_e(t)$ в процессе зарядки сегнетоэлектриков электронными пучками измерялась при помощи полусферического коллектора электронов. Одновременно с этим измерялся ток с образца, который представляет собой сумму токов смещения и утечки $I_{L+D}(t)$. На рисунке представлена Схема экспериментальной установки для изучения зарядки алмаза. Справа – для снятия токов I_D , I_L , слева – для снятия поверхностного потенциала $V_S(t)$. 1 – электронный зонд РЭМ, 2 – диэлектрическая мишень, 3 – металлическая подложка образца, 4 – защитный экранирующий корпус, 5 – сектор тороидального электронного спектрометра, 6 – выходная диафрагма, 7 – МКП, 8 – управляющий ПК, 9 – цилиндр Фарадея, 10 – наноамперметр, 11 – усеченный полусферический коллектор электронов, 12 – электрометр.

5 СЛАЙД: Была проведена серия экспериментов по облучению алмазов электронами разных энергий: 1кэВ, 3кэВ, 5кэВ, 10кэВ, 15кэВ, 20кэВ. Проанализировав график для энергии $E_0=1кэВ$, можно заметить, что потенциал зарядки V_S резко достигает значения $\approx +10$ В и достаточно плавно увеличивается в ходе зарядки до значения чуть менее +15В. Ток вторичной электронной эмиссии I_e и суммарный ток смещения и утечки I_{L+D} в ходе эксперимента поддерживают равновесные значения порядка 0,5 нА и 0,04 нА соответственно. При облучении алмаза электронами с энергией $E_0=3$ кэВ

значение потенциала в начале зарядки резко достигло значения ~ -760 В. Как можно видеть на рис. 4, в дальнейшем потенциал претерпевает спад и ко времени $t=400$ с устанавливается равновесное состояние с $V_S \approx -600$ В. Ток вторичной электронной эмиссии плавно меняет своё значение от $0,9$ нА до $1,1$ нА, ток смещения и утечки поддерживает стабильное значение порядка 5 пА в ходе всего эксперимента

6 СЛАЙД: Интересное поведение показывает ток смещения и утечки в опыте с энергией первичного пучка электронов $E_0=5$ кэВ (рис. 5). В предыдущих экспериментах стремящийся к нулю, в опыте с более высокой энергией он достигает значения порядка $0,4$ нА и выше. Абсолютно симметричное ему поведение показывает ток вторичной электронной эмиссии, меняющий своё значение от $0,8$ нА до $0,6$ нА. Потенциал зарядки ведёт себя уже немного иначе, чем в предыдущих опытах, начиная немонотонный рост со значения $-0,194$ кВ до равновесного значения $-0,22$ кВ. В случае облучения с энергиями $E_0=10$ кэВ; 15 кэВ; 20 кэВ ток смещения и утечки достигает аномальных значений по сравнению с предыдущими опытами ($I_L+D \approx 0,7$ нА), аналогичное поведение показывает и ток вторичной электронной эмиссии лежащий в диапазоне от $0,15$ нА до $0,2$ нА.

7 СЛАЙД: При облучении пучком с энергией $E_0=15$ кэВ потенциал в первой половине эксперимента меняет свое значение в диапазоне от $0,5$ кВ до $0,6$ кВ, после чего ($t=200$ с) наблюдается монотонный спад и установление равновесного значения $V_S=-0,34$ кВ. В случае облучения с энергией $E_0=20$ кэВ потенциал зарядки беспорядочно изменяется в диапазоне от $-0,34$ кВ до $-0,46$ кВ в течение всего эксперимента.

8 СЛАЙД: Из полученных экспериментальных данных можно сделать следующие основные выводы: При зарядке алмаза электронным пучком с относительно низким значением энергии $E_0 \leq 3$ кэВ, важным фактором является высокое значение вторичной электронной эмиссии. Так при энергии $E_0=1$ кэВ измеренный потенциал зарядки составляет $\sim +15$ В, что является очень высоким значением; Для относительно высоких значений энергии

заряжающих электронов сильное влияние оказывает ток утечки, и результирующий потенциал достигает относительно низких по абсолютному значению величин. Основной причиной столь высокого тока утечки может быть две: во-первых, из-за малого размера исследуемых образцов ($3 \times 3 \text{ мм}^2$) значительный размер имеет ток утечки по поверхности. Второй причиной может являться малое количество дефектов, способных захватывать заряжающие электроны пучка, а следовательно электроны будут расталкиваться свободным пространственным зарядом и баллистически проходить на подложку, внося вклад в ток утечки.