

Эффективная фотоэмиссия электронов из легированных фосфором нанокристаллических алмазных пленок

Вихарев А.Л.¹, Горбачев А.М.¹, Радищев Д.Б.¹, Лобаев М.А.¹, Богданов С.А.¹, Потемкин А.К.¹, Краев С.А.¹, Востоков Н.В.¹, Архипова Е.А.¹, Дроздов М.Н.¹, Вуль А.Я.², Дидейкин А.Т.², Швидченко А.В.²

val@ipfran.ru

¹ ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия

² ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Экспериментально исследованы легированные фосфором нанокристаллические алмазные (NCD) пленки, осажденные CVD методом на проводящие кремниевые подложки. NCD пленки осаждались при низком содержании метана ($\text{CH}_4/\text{H}_2 = 0.1\%$) в газовой смеси, а в качестве затравки использовался детонационный наноалмаз с размером частиц порядка 3 нм. Суспензия с такими наночастицами позволила создать на подложке высокую плотность центров нуклеации и вырастить однородные пленки толщиной порядка 100 нм. Пленки характеризовались высоким содержанием алмазной фазы углерода, в таких пленках при легировании (во время роста) встраивание атомов фосфора преобладало в алмазные кристаллиты по сравнению с границами кристаллитов. В сильно легированных пленках концентрация фосфора достигала $2 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Легированные и нелегированные NCD пленки содержали высокие концентрации примеси водорода порядка $2 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и дефектов, которые являлись ловушками и вели себя как акцепторы. Легированная и нелегированная as-grown NCD пленки демонстрировали различные фотоэмиссионные свойства под воздействием лазерного излучения на длине волны 258 нм и пикосекундной длительности 6 пс. Для нелегированных плёнок эмитируемый заряд возрастал с ростом энергии лазерного импульса по линейному закону, тогда как для плёнок, легированных фосфором, – по квадратичному. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что именно наличие фосфора в легированной пленке приводило к смене характеристики с линейной на квадратичную. Предложено объяснение наблюдаемого нелинейного увеличения эмитируемого заряда с ростом энергии лазерного импульса при воздействии излучения с энергией кванта 4,8 эВ меньше ширины запрещенной зоны 5,47 эВ. За счет формирования в запрещенной зоне алмаза мелкого донорного уровня и глубоких акцепторных уровней возникает взаимосвязь процессов транспорта носителей заряда между этими уровнями (наиболее сильно проявляющаяся в компенсированном полупроводнике), в том числе и на ловушки с высокой скоростью захвата. В целом as-grown сильно легированные фосфором пленки толщиной 100 нм демонстрировали высокую квантовую эффективность до 2×10^{-5} и являются перспективными для создания фотокатодов (обладающих долговечностью и не критичных к вакууму и загрязнениям) в фотоинжекторах ускорителей.