

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В АЛМАЗНЫХ ДАТЧИКАХ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНО-ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В. А. Шепелев, А. А. Алтухов, В. С. Фещенко

ООО «ПТЦ "УралАлмазИнвест"»

Введение

Преимущества алмаза как материала электроники нового поколения были осознаны еще в 80-х годах прошлого века. Алмаз является перспективным материалом для применений в электронике и применяется при разработке и изготовлении следующих элементов электроники:

- пассивные элементы электроники (теплоотводы, оптические окна, подложки и др.);
- диоды и транзисторы;
- оптоэлектронные приборы (датчики УФ-излучения, оптоэлектронные коммутаторы, фотоэлектронные умножители и др.);
- детекторы ядерных и ионизирующих излучений.

Использование алмазов в электронике связано с типовыми электронными свойствами, приведенными в таблице [1] для алмазов 2а-типа.

Электронные свойства природного алмаза 2а-типа в сравнении со свойствами других материалов – кремний, арсенид галлия и карбид кремния

Параметр	Si	GaAs	β -SiC	Алмаз 2а-типа
Дрейфовая скорость насыщения, v_s , см/с	10^7	10^7	$2 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^7$
Электрическая прочность, F_c , В/см	$3 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^7$
Дрейфовая подвижность ($\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$) при 300 К для электронов, μ_e	1350	8500	1000	2500
для дырок, μ_h	480	450	60	2100
Теплопроводность при 300 К, χ , Вт/см·К	1,4	0,81	2,8	20–25

Алмаз является непрямозонным материалом с большой шириной запрещенной зоны, равной 5,5 эВ при температуре 300 К. Структура типовых примесных уровней в алмазных материалах представлена на рис. 1. Положение уровней идеализировано. В реальных кристаллах уровни размыты по энергии и образуют некий рельеф плотности состояний. Рельеф плотности состояний зависит от количественного содержания разных типов примесных дефектов в каждом кристалле. Содержание примесей и характер дефектов может быть уникальным для каждого кристалла природного алмаза, делая уникальным и его электронные свойства.

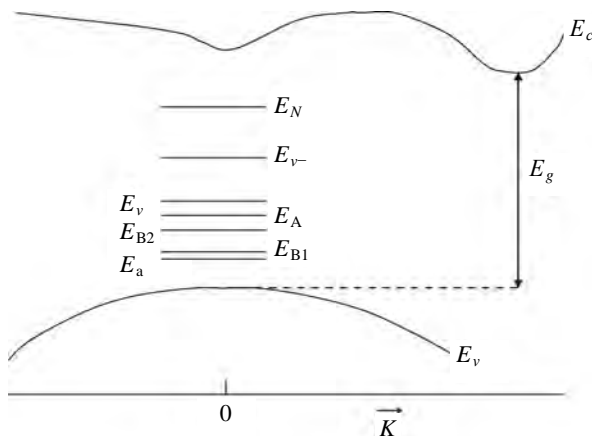


Рис. 1. Схематическая диаграмма энергетических уровней в запрещенной зоне алмаза. Представленные уровни имеют стандартные обозначения, взятые из работы [1]

Проблема уникальности свойств каждого образца природного алмаза может быть решена получением экспериментальных данных для каждого кристалла или, в случае применения алмаза для создания УФ-датчика, испытанием каждого созданного образца датчика на природном алмазе. В первую очередь речь идет об измерении спектральных характеристик фоточувствительности УФ-датчиков и об оценке влияния различных физических процессов на данную характеристику.

Испытуемый алмазный датчик УФ-излучения

Для проведения измерений использовался УФ-датчик, изготовленный в «Производственно-технологическом центре "УралАлмазИнвест"» по собственной технологии. Структуру данного датчика (рис. 2, 3) условно можно назвать сэндвичеподобной благодаря технологии последовательного создания слоев металлов на передней и задней сторонах алмазной пластины, как видно из рисунков. Полупрозрачный слой платины на передней пластине выполняет роль переднего электрода и обладает достаточным пропусканием в спектральной области чувствительности УФ-датчиков на основе алмазов 2а-типа. Алюминиевая точка на слое платины служит промежуточным звеном для точечной сварки проволоки от площадки корпуса до структуры датчика. Алюминиевый слой на задней стороне пластины выполняет роль заднего электрода.

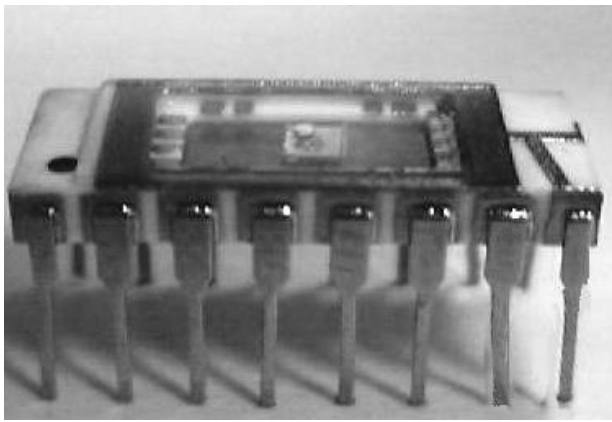


Рис. 2. Внешний вид «сэндвичеобразного» УФ-датчика

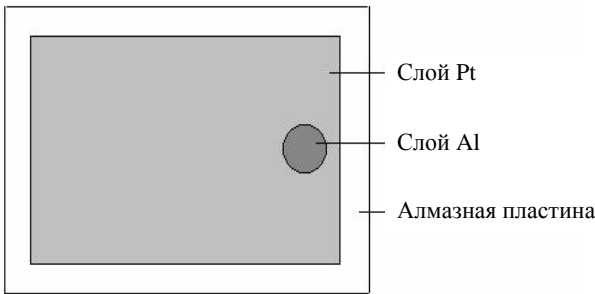
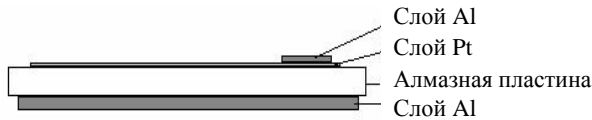


Рис. 3. Схематическое изображение слоев металлов на используемой алмазной пластине для «сэндвичеобразного» УФ-датчика

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Была проведена серия измерений спектральных характеристик fotocувствительности УФ-датчика на основе алмаза 2а-типа при значениях напряжений смещения между электродами от 0 до 150 В с шагом 10 В при переходе от спектра к спектру. На рис. 4 приведены некоторые из снятых спектральных характеристик, нормированные на максимальное значение выходного фотосигнала (фототока) для каждого спектра. Как видно из рисунка, датчик обладает разными формами спектральных характеристик при разных значениях приложенного напряжения смещения. Иными словами, величины фототока при различных длинах волн падающего излучения различным образом изменяются при изменении напряжения смещения.

Для установления необходимой формы спектральной чувствительности под какую-либо конкретную задачу, например для данного образца, необходимо подобрать соответствующий режим работы

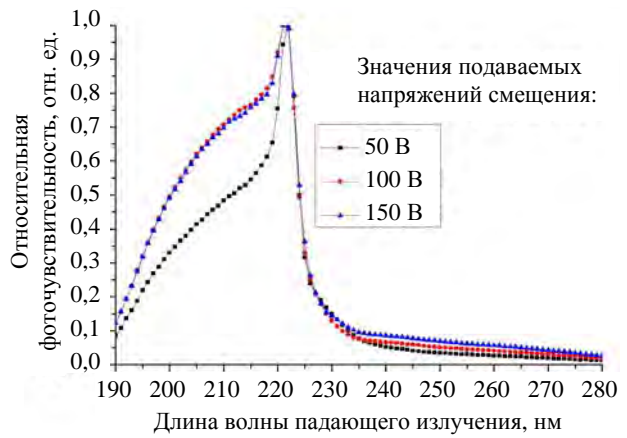


Рис. 4. Относительные спектральные характеристики fotocувствительности алмазного УФ-датчика, полученные при подаче различных значений напряжения смещения. Представленные значения нормированы на максимальное значение fotocувствительности для каждого представленного спектра

датчика по напряжению смещения. Для удобства такого подбора, а также для выбора способа изготовления алмазного УФ-датчика необходимо исследовать физические процессы, происходящие в датчиках под действием УФ-излучения и приводящие к изменению форм спектральных и вольт-амперных характеристик. Также исследование данных процессов может быть полезно при выявлении свойств алмазных материалов, актуальных для изготовления и других элементов электроники.

Построение спектральных характеристик fotocувствительности алмазного датчика при различных значениях напряжения смещения на одном двухмерном графике позволяет наглядно оценить способность датчика менять спектральную характеристику при изменении напряжения смещения, но не позволяет понять суть процессов, приводящих к данным изменениям. Суть таких процессов помогают понять трёхмерные графики, образованные добавлением дополнительной оси – оси напряжения смещения. Такие графики можно назвать спектрально-вольт-амперными характеристиками (СВАХ). СВАХ, построенная на основе измеренных спектров, представлена на рис. 5.

Нормировка СВАХ на спектральную характеристику, соответствующую наибольшему значению напряжения смещения, позволяет оценить зависимость формы световой вольт-амперной характеристики от длины волны падающего излучения. Получаемую СВАХ после такой нормировки исходной СВАХ можно назвать семейством нормированных световых вольт-амперных характеристик, полученных при разных длинах волн падающего излучения. Такое представление данных помогает оценить относительный вклад того или иного процесса в спектральную fotocувствительность для разных длин волн падающего излучения. Семейство вольт-амперных характеристик для данного образца представлено на рис. 6.

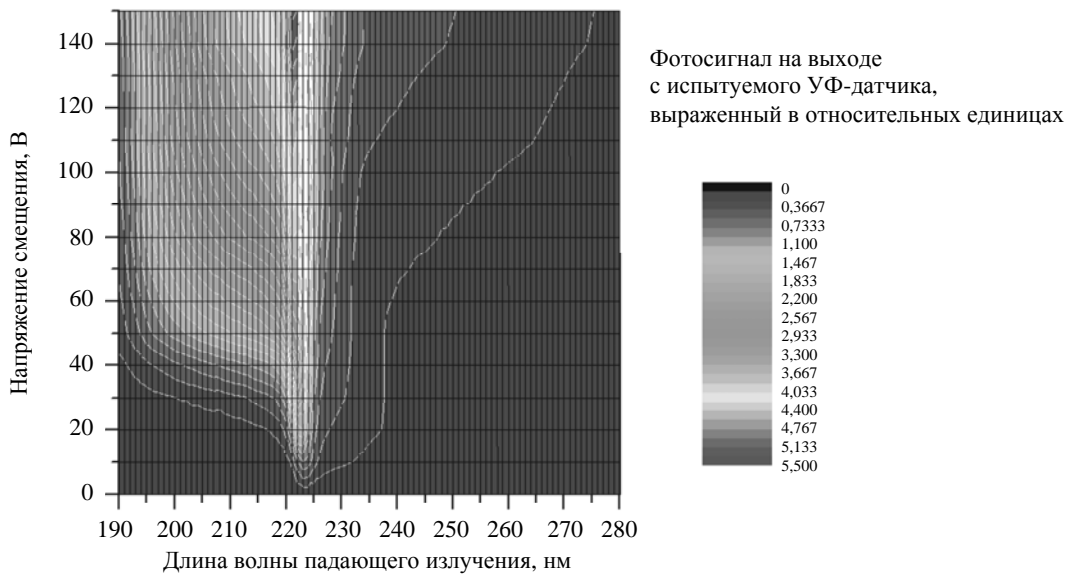


Рис. 5. Спектрально-вольт-амперная характеристика фоточувствительности алмазного УФ-датчика

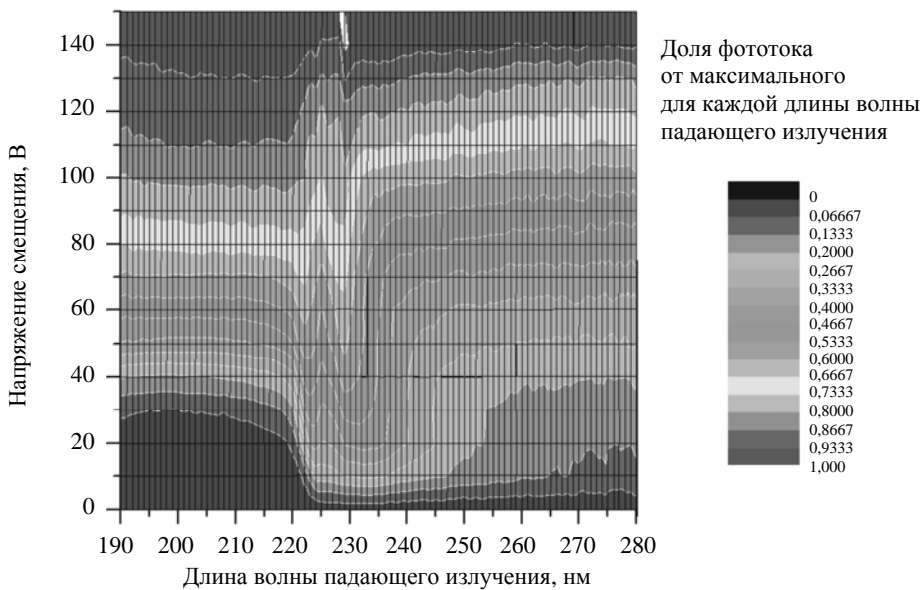


Рис. 6. Семейство нормированных вольт-амперных характеристик освещаемого алмазного УФ-датчика

Некоторые вертикальные сечения трехмерного графика, представленного на рис. 6, даны на рис. 7. На примере данных нормированных вольт-амперных характеристик можно сделать следующие предположения относительно физических процессов, возникающих в испытанном датчике:

- Поскольку основные примеси в алмазе являются донорными и их уровни располагаются вблизи потолка валентной зоны, при облучении квантами излучения с энергией меньше ширины запрещенной зоны (например, при длине волны 260 нм) происходит образование электронного тока с большим относительным вкладом в общий фотосигнал, чем при межзонном поглощении (например, при длинах волн падающего излучения 200 или 223 нм). Преобладание доли электронного фототока и приводит к отно-

сительной прямизне вольт-амперной характеристики при относительно больших длинах волн падающего излучения (260 нм, например), поскольку нелинейность зависимости дрейфовой скорости дырок от напряженности электрического поля достигается при меньших полях.

- Провал вольт-амперной характеристики при относительно больших длинах волн падающего излучения (260 нм, например) связан с влиянием заряженных доноров на рассеяние «медленных» носителей.

- Влияние приложения напряжения смещения на процесс поверхностной рекомбинации неравновесных носителей заметно при относительно коротких длинах волн падающего излучения (200 нм, например), когда поглощение происходит в особенно тонком слое материала. Этот эффект обуславливает

особое поведение вольт-амперных характеристик при относительно невысоких напряжениях смещения и при данных длинах волн падающего излучения.

Особенности вольт-амперных характеристик, на основе которых сделаны данные предположения, являются характерными, поскольку проявляются и на других образцах. Нормировка вольт-амперных характеристик позволяет выявить характерный доле-вой вклад различных физических процессов в образование фотосигнала. Количественный вклад разных процессов является уникальным для каждого образца природного алмаза.

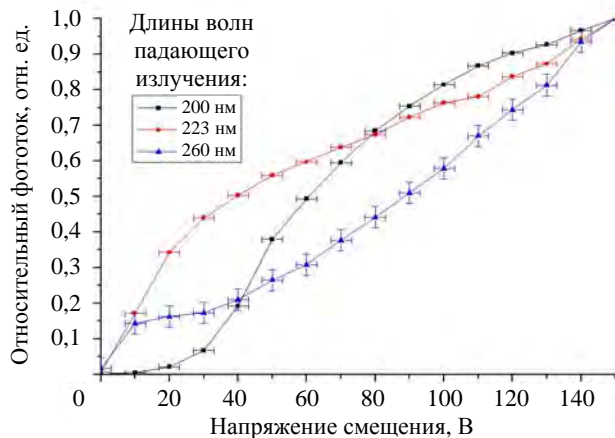


Рис. 7. Нормированные вольт-амперные характеристики алмазного УФ-датчика, полученные при различных значениях падающих длин волн излучения

Выводы

1. Относительные спектральные характеристики фоточувствительности алмазных датчиков УФ-излучения могут существенным образом различаться в зависимости от величины подаваемого напряжения смещения.

2. Предложен метод исследования физических процессов в алмазных датчиках УФ-излучения с помощью нормирования спектрально-вольт-амперных характеристик.

3. Нормировка полученной спектрально-вольт-амперной характеристики позволяет установить наличие следующих эффектов в алмазном датчике:

- различие характера насыщения дрейфовой скорости для разных типов носителей при увеличении приложенного поля;
- рассеяние медленных носителей на заряженных примесях;
- поверхностная рекомбинация носителей, преодолеваемая приложением высокого напряжения смещения.

Литература

1. Природные алмазы России / Под ред. В. Б. Кваскова. М.: Полярон, 1997.