

14. Алмазный поликристаллический композиционный материал для оснащения бурового инструмента / Шульженко А. А., Богданов Р. К., Гаргин В. Г. и др. // Сб. науч. тр. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 189–196.

Поступила 26.05.16

УДК 538.911(04)

К. Хайдаров, канд. физ-мат. наук; **О. Соронбаев**, **К. С. Чолоков**

*Институт физико-технических проблем и материаловедения им. академика Ж. Жеенбаева
НАН КР, г. Бишкек*

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА

Изучено изменение электросопротивления монокристаллов синтетического алмаза от комнатной температуры до 700К.

Ключевые слова: электросопротивление, температурная зависимость, алмаз, габитус

Введение

В настоящее время материаловедческая база электроники близка к насыщению, а рабочие параметры традиционных материалов твёрдотельной электроники, так называемых алмазоподобных полупроводников кремния и германия, применяемых в полупроводниковых приборах – к предельному физическому уровню. В этой связи для расширения областей применения и совершенствования полупроводниковых приборов микроэлектроники необходимы новые материалы твёрдотельной электроники.

В этом плане алмаз как «праотец» известных полупроводников в последние годы все больше привлекает внимание учёных в качестве материала твёрдотельной электроники. Это связано с тем, что преимущества алмаза как материала для полупроводниковой электроники в первом приближении определяются близкими к предельным значениями дрейфовой скорости носителей тока и напряженности поля электрического пробоя в алмазе.

Прогресс в создании полупроводниковых приборов на алмазе тесно связан с возможностью использования высококачественных кристаллов, в том числе целенаправленно выращенных монокристаллов синтетического алмаза (СА).

Таким образом, исследование электрофизических свойств монокристаллов синтетического алмаза в целях создания перспективного полупроводникового материала и электронно-дырочных возбуждений в твёрдых телах для электронной техники является весьма актуальной задачей современной физики конденсированного состояния.

В настоящей работе приводятся экспериментальные результаты исследования температурной зависимости удельного электрического сопротивления монокристаллов

синтетического алмаза в диапазоне температуры от комнатной до 900 К в продолжение начатого ранее².

Получение и подготовка образцов монокристаллов СА для исследований

Для изучения электрофизических свойств монокристаллов СА выбрали алмазы, выращенные в системе никель–марганец–графит в лаборатории сверхтвердых материалов Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР с использованием техники высоких давлений в области термодинамической стабильности алмаза, когда графит находится в термодинамической метастабильной фазе. Электрофизические свойства монокристаллов СА исследовали структурно-чувствительным методом измерения удельного электрического сопротивления.

Монокристаллы СА, естественно, имели одинаковую кристаллическую структуру, но различались химическим составом, концентрацией примеси, типами дефектов кристаллической решетки и размерами непосредственно кристаллов.

После извлечения монокристаллов алмаза из продуктов синтеза выделили кристаллы для исследования по размерам, форме и прочности. Выделенные образцы соответствовали высокопрочным маркам синтетического алмаза АС80, АС100 и АС125. Здесь обозначения буквенными индексами соответствуют: «А» – алмаз, «С» – синтетический, а добавленные к буквенным обозначениям цифровой индекс выражает среднее арифметическое значение показателей прочности на сжатие всех зернистостей определенной марки в ньютонах.

Зернистость изучаемых в настоящей работе монокристаллов алмаза составляла 630/500 и 500/400. Форма кристаллов алмаза зависит от кристаллохимических особенностей среды, в которой они образуются. Габитус кристаллов – характеристика преобладающей простой кристаллографической формы, определяющей их внешний вид – был преимущественно кубооктаэдрическим (рис. 1).

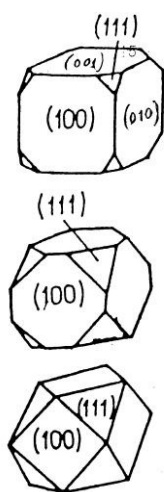


Рис. 1. Кристаллографическая форма исследуемых монокристаллов СА

Исследуемые кристаллы с помощью оптического микроскопа разделяли по цвету МБС-10 на несколько групп – темно-желтые, желтые и бледно-желтые.

Основные характеристики изученных кристаллов приведены в таблице.

Выбранные для исследования под микроскопом образцы предварительно обрабатывали в смеси азотной и соляной кислот («царской водке»), а также перхлоратной кислоте (HClO_4) в целях очищения их поверхности от остатков реакционной смеси: металлов-растворителей-катализаторов и исходного материала для получения алмаза – графита. Затем для получения электрического контакта на противоположные поверхности $\{100\}$ наносили графитовую пасту. Для предотвращения влияния адсорбированной влаги на результаты эксперимента, исследуемые образцы СА перед измерением высушивались при температуре 400–420 К.

² Хайдаров К., Соронбаев, Чолоков К. С. Температурная зависимость электросопротивления монокристаллов синтетического алмаза // Известия НАН КР. – 1996. – № 3. – С. 45–46.

Основные характеристики исследованных монокристаллов СА

Группа	Габитус	Цвет	Примеси
I	Куб, кубооктаэдр по границам роста	Темно-желтый	Неориентированные включения, нитевидные примеси, ориентированные по ребрам пирамид роста
II	Кубооктаэдр, октаэдр и ромбо-додекаэдр	Желтый, бледно-желтый	Включения в виде точек и нити, расположенные на поверхности роста пирамид

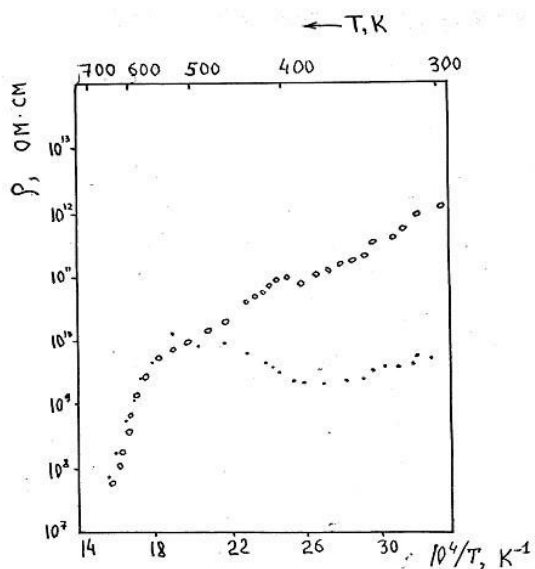


Рис.2. Температурная зависимость удельного электросопротивления алмаза марки АС 125 различных групп: ● – I; ○ – II

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Температурная зависимость удельного электросопротивления ρ образцов I и II группы (см. таблицу) монокристаллов СА, соответствующих марке АС 125, показана на рис. 2.

Как следует из данных рис. 2, удельное электросопротивление образцов группы II в интервале температуры от комнатной до 500 К относительно ниже, чем образцов группы I. Такое различие при температуре 300–400 К достигает двух-трех порядков. При температуре 500–700 К удельное электросопротивление образцов обеих групп практически одинаковое (рис. 2).

Результаты измерения температурной зависимости ρ образцов

монокристаллического алмаза марок АС 100 и АС 80 аналогичны результатам измерения для АС 125.

По характеру $\rho = f(T)$ образцы обеих групп монокристаллов алмаза марок АС100 и АС80 очень схожи и напоминают вид $\rho = f(T)$ образцов группы I монокристаллов АС125. Результаты сравнения $\rho = f(T)$ показывают, что удельное электросопротивление образцов АС 100 группы I в 10^3 – 10^4 превышает аналогичные параметры образцов АС125. В области высокой температуры удельное электросопротивление обеих групп совпадают.

Результаты трехкратного измерения зависимости ρ от температуры образцов группы II монокристаллов СА засвидетельствовали, что в интервале температуры от комнатной до 480–500 К электросопротивление различное. При более высокой температуре ρ для всех измерений «ложатся» на одной кривой. Таким образом экспериментом подтверждено, что такое поведение $\rho = f(T)$ в зависимости от количества измерений характерно для всех исследованных образцов монокристаллов СА.

Далее определяли энергию активации физических процессов, ответственных за электропроводность в монокристаллах СА. Для этого по экспериментальным результатам $\rho = f(T)$ на примере алмазов марки АС80 (рис. 3) построили функцию электропроводности в зависимости от T^{-1} , которая показана на рис. 3.

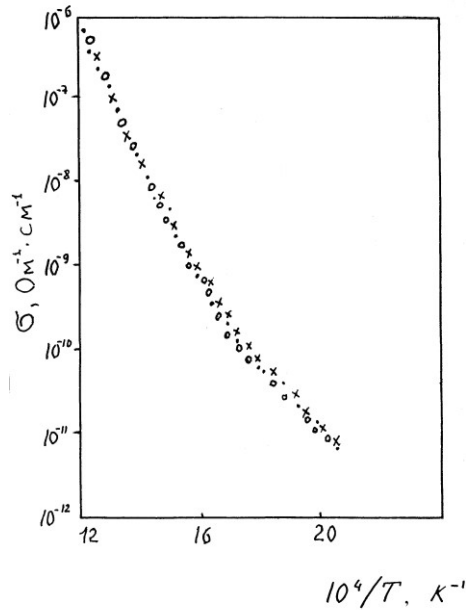


Рис. 3. Температурная зависимость электропроводности алмаза АС 80

Как видно на рис. 3, явно прослеживается экспоненциальная зависимость электропроводности от обратной температуры и она состоит из двух участков:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E/kT),$$

где E – энергия активации носителей тока в соответствующих областях температуры, которую легко определить из наклона полученных линий $\lg \sigma = f(1/T)$ (рис. 3).

Таким образом, оценочные значения энергии активации составили 1,53 эВ для первого участка и 3,0 эВ второго.

Предположительно, участок с энергией активации $E = 1,53$ эВ обусловлен примесями, создающими акцепторные центры в алмазах, т. е. носителями тока на этом участке являются дырки. Участок с энергией активации $E = 3,0$ эВ обусловлен донорными примесями, и процесс электропроводности электронный.

Вивчено зміну електроопору монокристалів синтетичного алмазу від кімнатної температури до 700К.

Ключові слова: електроопір, температурна залежність, алмаз, габітус

STUDY OF ELECTRICAL RESISTANCE SINGLE CRYSTALS OF SYNTHETIC DIAMOND

The change of electrical resistance of single crystals of synthetic diamond from room temperature to 700 K have been investigated.

Key words: electrical resistance, temperature dependence, diamond, habitus

Поступила 01.06.15