

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ АЗОТА НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

Д. А. Новак, Е. А. Усик, Н. М. Казючиц, В. И. Казючиц, М. С. Русецкий

Белорусский государственный университет, Kazuchits@bsu.by

ВВЕДЕНИЕ

Синтетический алмаз является перспективным материалом для детекторов ультрафиолетового (УФ) и ядерных излучений [1–3]. Однако современная технология синтеза монокристаллов алмаза не позволяет с необходимой точностью управлять дефектно-примесным составом выращиваемых кристаллов. Добываемые природные кристаллы алмаза также отличаются от образца к образцу. Поэтому одной из проблем использования как природных, так и синтетических алмазов для детектирования УФ и ядерных излучений является необходимость предварительного отбора исходных кристаллов [4].

Основной фоновой примесью как в природных, так и в синтетических алмазах является азот. Азот входит в состав большинства структурных дефектов и определяет основные отличия кристаллов [5]. Учитывая, что принципы детектирования фотонов и частиц алмазными детекторами основаны на явлении фотопроводимости, в данной работе было рассмотрено влияние примеси азота на фотоэлектрические свойства синтетических алмазов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты были выполнены на синтетических монокристаллах алмаза, выращенных в РУП «Адамас-БГУ» методом температурного градиента в интервале температур 1750–1800 К и давлений 5,4–5,5 ГПа в беспрессовых аппаратах высокого давления типа «разрезная сфера» [6]. При синтезе в качестве растворителя-катализатора были использованы расплавы Fe – Ni и Fe – Co. Из кристаллов изготавливались плоскопараллельные пластинки толщиной 300–500 мкм с ориентацией поверхности (100) и (111).

Спектроскопия поглощения использовалась для определения концентрации азота как в исходных кристаллах, так и в вырезанных из них пластинках. Спектры поглощения в инфракрасной области (ИК) регистрировали с помощью ИК-фурье спектрометра Vortex 70. В УФ и видимом диапазоне спектры поглощения регистрировали с помощью дисперсионного спектрометра Specord M40. Для определения усредненной по объему кристалла концентрации азота свет поочередно пропускали в двух взаимно перпендикулярных направлениях через две пары плоскопараллельных граней. Концентрацию азота в пластинках измеряли в различных областях пластинки, пропуская свет через диафрагму с диаметром отверстия 1 мм.

Расчет концентрации азота из спектров ИК поглощения проводили по формулам (1) и (2) с использованием коэффициентов пересчета $3,9 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ для определения N_C – концентрации азота в форме одиночных атомов в положении замещения (C-форма) [7] и $5,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ для определения N_A – концентрации азота в форме пар атомов в соседних узлах решетки (A-форма) [8], соответственно:

$$N_C = 3,9 \cdot 10^{18} \alpha_{1135}, \quad (1)$$

$$N_A = 5.8 \cdot 10^{18} \alpha_{1282}, \quad (2)$$

где α_v – коэффициент поглощения соответствующей формой азота при волновом числе v , измеренный в см^{-1} .

Для определения N_C из спектров УФ поглощения использовали формулу (1) и соотношение (3) между коэффициентами поглощения C-дефектами в УФ и ИК областях спектра [9]:

$$\alpha_{270 \text{ нм}} = 45 \cdot \alpha_{1135 \text{ см}^{-1}}. \quad (3)$$

Фоточувствительность исходных кристаллов и пластинок алмаза определяли путем регистрации фототока, вызванного излучением дейтериевой лампы ДДС-30 мощностью 30 Вт. Для этого на освещаемую поверхность пластинок наносили точечные контакты из серебряной пасты, а на противоположную – сплошной серебряный контакт. Между одним из точечных контактов и сплошным создавалась постоянная разность потенциалов, а фототок в образце регистрировали дозиметром ДКС-АТ5350 производства НПУП «Атомтех». При исследовании фоточувствительности кристаллов контакты серебряной пастой наносились на плоскую грань кристалла в области затравки и на противоположную ей вершину. Сигнал фотопроводимости регистрировали при последовательном освещении четырех граней кристалла.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приготовленные из монокристаллов пластинки имели существенно неоднородную окраску. В пределах некоторых пластинок окраска изменялась от желтой до почти бесцветной. При этом образцы, выращенные в Fe–Ni расплаве, имели более насыщенный желтый свет, чем выращенные в Fe–Co.

На рисунках 1, 2 представлены спектры поглощения, соответственно, в ИК и УФ диапазоне различными областями алмазной пластинки из «кобальтовой» серии образцов. В спектрах ИК поглощения в области желтой окраски присутствуют отчетливые полосы поглощения азотом в А- и С-форме. Концентрация азота в А-форме составляет $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а в С-форме – $6.5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. В бесцветной области пластинки поглощение азотом практически не наблюдается, что не позволяет с достаточной точностью измерить его концентрации по ИК поглощению.

В то же время концентрацию азота в бесцветной области пластинки можно легко определить из спектра поглощения в УФ диапазоне, приведенного на рис. 2, по полосе поглощения с максимумом 270 нм. Из расчета по формулам (3), (1) было получено, что

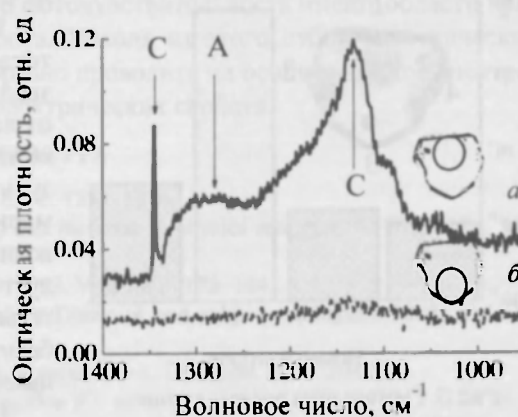


Рис. 1. Спектры ИК поглощения пластинки синтетического алмаза в желтой – а и светлой – б областях. На вставке приведена фотография пластинки с указанием областей зонлирования

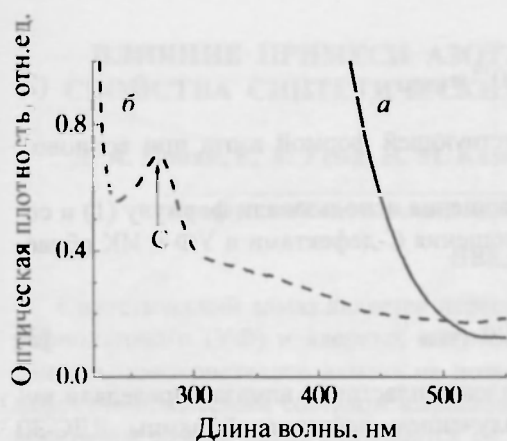


Рис. 2. Спектры поглощения в УФ и видимом диапазонах пластинки синтетического алмаза в желтой — *a* и бесцветной — *b* областях

концентрация азота в *C*-форме составляет $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, в пределах одной пластинки из «кобальтовой» серии концентрация азота изменяется от $5,0 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в белой области до $7,0 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ в желтой.

Аналогичный характер распределения азота наблюдается и для пластинок из «никелевой» серии образцов. Различие заключается в том, что суммарная концентрация азота выше и изменяется от $4,0 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ в бесцветных до $2,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ в желтых областях. При этом существенная часть азота находится в *A*-форме.

Следует отметить, что вследствие неоднородного распределения рассчитанные значения концентрации азота носят оценочный характер, усредненный по области зондирования. Это, прежде всего, относится к небольшим по размерам бесцветным областям, значения рассчитанной концентрации азота в которых, скорее всего, завышены.

На рисунке 3 представлена фотография алмазной пластинки и гистограмма распределения величины фототока из различных ее областей при освещении излучением дейтериевой лампы. Номер столбца гистограммы соответствует номеру контакта на пластинке. Сигналы фототока из бесцветной области пластинки с пониженным содержанием азота существенно превышают величину фототока из желтых областей с повышенным содержанием азота.

Таким образом, неоднородный характер распределения азота отражается на величине сигнала фотопроводимости.

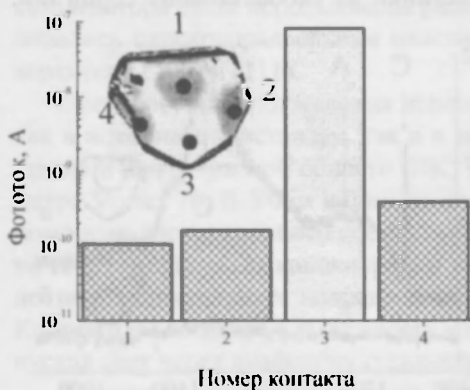


Рис. 3. Гистограмма распределения величины фототока из различных областей алмазной пластинки при освещении излучением дейтериевой лампы. На вставке приведена фотография пластинки с контактами

Измерения концентрации азота и фототока на большом количестве пластинок позволили установить зависимость фототока от локальной концентрации азота в области контакта, которая приведена на рис. 4. Результаты показывают, что изменение суммарной концентрации азота в два раза приводит к изменению фототока на порядок. Следует отметить, что наибольшей фоточувствительностью характеризуются пластинки «кобальтовой» серии образцов, которые содержат в целом меньше примеси азота.

На рисунке 5 приведена зависимость фоточувствительности кристаллов алмаза от средней концентрации азота. Для каждого кристалла регистрировался фототок при последовательном освещении четырех гра-

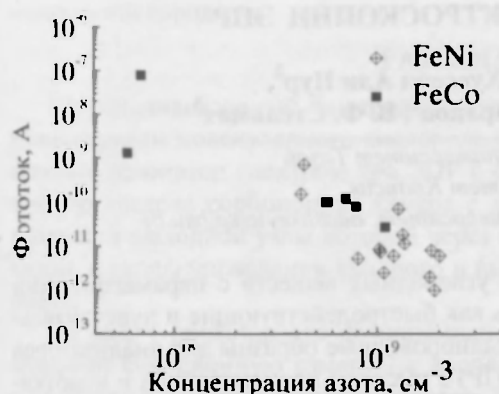


Рис. 4. Зависимость фототока в пластинках синтетического алмаза от локальной концентрации азота

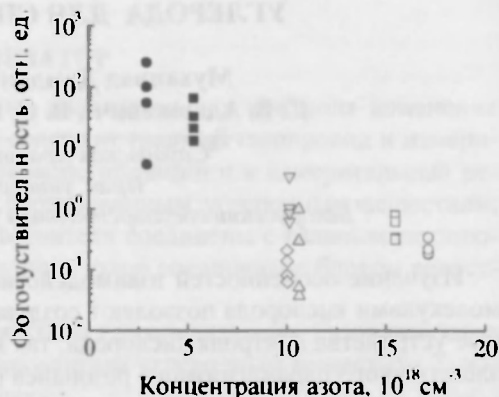


Рис. 5. Зависимость фоточувствительности кристаллов алмаза от средней концентрации азота при освещении различных граней. Закрашенные символы соответствуют алмазам «кобальтовой» серии. не закрашенные – «никелевой» серии

ней. Как видно из рис. 5, для большинства образцов характерен большой разброс (до двух порядков) сигналов от разных плоскостей. В то же время отчетливо наблюдается уменьшение фоточувствительности с ростом средней концентрации азота в кристаллах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтетические алмазы, выращенные при высоких температуре и давлении, характеризуются неоднородным распределением азота и фотоэлектрических свойств в пределах одного кристалла. Наибольшую фоточувствительность имеют области кристалла с пониженной концентрацией азота. Исходя из этого отбор синтетических алмазов детекторного качества целесообразно проводить на основе методов спектроскопии поглощения и регистрации фотоэлектрических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tappe R. J.* // Rep. Prog. Phys. 2000. Vol. 63. P. 1273–1316.
2. *Pace E., De Sio A.* // Nuclear instruments and methods in physics research. A. 2003. Vol. 514. P. 93–99.
3. *Vatnitsky S., Jarvinen H.* // Phys. Med. Biol. 1993. Vol. 38. P. 173–184.
4. *Marchewska B., Novak T., Olko P. et al.* // Diamond and related materials 2004. Vol. 13. P. 918–922.
5. Природные алмазы России. Под ред. В. Б. Кваскова. М.: Полярон, 1997. 304 с.
6. *Пальянов Ю. Н., Малиновский И. Ю., Борздов Ю. М. и др.* // ДАН СССР. 1990. Т. 315. № 5. С. 1221.
7. *Woods G. S. et al.* // J. Phys. Chem. Solids. 1990. Vol. 51. P. 1191.
8. *Kaizer W., Bond W. L.* // Phys. Rev. 1959. Vol. 115. P. 857–863.
9. *Chrenko R. M., Strong H. M., Tugt. R. E.* // Philos. Mag. 1971. Vol. 23. P. 313–318.