

2. *McMorrow, D.F.* The structure of the paraelectric and incommensurate phases of TlGaSe₂ / D.F. McMorrow [и др.] // Journal of Physics: Condensed Matter. 1990. V. 2. N 16. P. 3699.
3. *Мальсагов, А.У.* Рентгенографическое исследование соединений TlInS₂, TlGaS₂ и твердых растворов Tl_{0,98}Cu_{0,02}InS₂, Tl_{0,98}Ag_{0,02}GaS₂ при 93-293 К / А.У. Мальсагов, Б.С. Кульбужиев, Б.М. Хамхоев // Неорганические материалы. 1989. Т. 25. №2. С. 216.
4. *Açikgöz, M.* Heat Capacity Anomalies of TlInS₂ and TlGaS₂ Single Crystals Detected by Differential Scanning Calorimetry (DSC) / M. Açikgöz // Turkish Journal of Physics. 2008. P. 32. P. 145.
5. *Мустафаева, С.Н.* Фотоэлектрические и рентгенодозиметрические свойства монокристаллов TlGa_{0,97}Mn_{0,03}S₂ / С.Н. Мустафаева // Неорганические материалы. 2009. Т. 45. №6. С. 659.
6. *Karabulut, O.* Electrical and optical properties of Co doped TlGaS₂ crystals / O. Karabulut, K. Yilmaz, B. Boz // Crystal Research and Technology. 2011. V. 46. N 1. P. 79.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ И ОТЖИГЕ

Г. А. Гусаков¹, А. В. Мудрый²

¹*НИИ прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко БГУ, gga68@rambler.ru*
²*Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению*

Последнее десятилетие радиационным дефектам в алмаза уделяется повышенное внимание. Прежде всего, это относится к центру (N-V)⁻, который в настоящее время рассматривается как базовый элемент будущего квантового процессора, необходимого для создания квантового компьютера, линий связи с квантовым протоколом безопасности и других применений спинтроники [1].

В экспериментах использовались монокристаллы синтетического алмаза, выращенные методом температурного градиента [2] в системе металла-катализатора Ni-Fe-C. Содержание фоновых примесей в исследованных образцах варьировалось в диапазоне (1...3)×10¹⁹ атомов/см³. Облучение электронами с энергией 6 МэВ производилось на линейном ускорителе УЭЛВ-10-10. Интенсивность облучения составляла ~5×10¹² эл·см⁻²·с⁻¹. Доза облучения варьировалась в интервале от 2×10¹⁷ до 1,5×10¹⁸ эл·см⁻². Образцы крепились в специальном охлаждаемом держателе. Разогрев образцов не превышал 150°C. Термообработка облученных кристаллов производилась в вакууме в температурном интервале от 300 до 1700°C. Дефектно-примесный состав кристаллов алмаза контролировался при помощи методов поглощения света в диапазоне длин волн 0,2-25 мкм и фотолюминесценции.

Исходные кристаллы алмаза относились к типу Ib, т.е. содержали примесь азота преимущественно в форме одиночных атомов в положении замещения (С-дефекты). Типичный спектр поглощения в видимой области исходного кристалла синтетического алмаза приведены на рисунке 1 (спектр 1). Облучение синтетических алмазов ускоренными электронами приводит к возникновению в спектрах поглощения света широкой полосы 620 нм с бесфононной линией 741 нм, интенсивность которой увеличивается с ростом дозы облучения. Данная полоса соответствует центру GR1 (вакансия в нейтральном состоянии). Наблюдается также и некоторый сдвиг «вторичного» края поглощения в красную область. Сдвиг «вторичного» края поглощения в красную область, по-видимому, вызван образованием центров ND1 (вакансия в отрицательно заряженном состоянии).

На рисунке 2 показаны характерные спектры поглощения облученного синтетического алмаза с концентрацией азота $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, снятые на различных стадиях изохронного отжига. Из рисунка следует, что при $T \geq 800^\circ\text{C}$ в спектрах полностью исчезает полоса 620 нм и отчетливо проявляются особенности колебательной структуры, сопутствующие бесфоновой линии 1.944 эВ (637 нм). Центр 1.944 эВ (637 нм) соответствует дефектам азот-вакансия в отрицательно заряженном состоянии (N-V⁻).

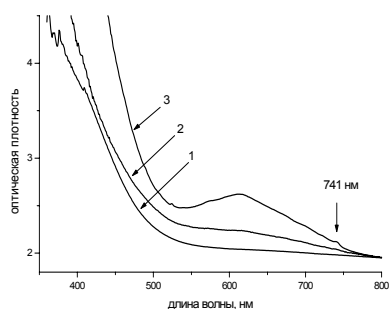


Рис. 1. Спектры поглощения в видимой области кристаллов синтетического алмаза, облученных различными дозами ускоренных электронов:

- 1 – исходный кристалл;
- 2 – доза облучения 5×10^{17} электронов/см²;
- 3 – доза облучения 2×10^{18} электронов/см²

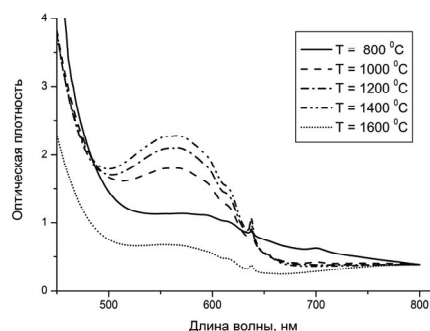


Рис. 2. Спектры поглощения облученного дозой 2×10^{18} электронов/см² синтетического алмаза, снятые на различных стадиях изохронного отжига

Увеличение температуры отжига до 1000°C приводит к увеличению интенсивности поглощения полосы 1.944 эВ (637 нм). В интервале температур отжига от 1000 до 1400°C интенсивность полосы 1.944 эВ (637 нм) практически не изменяется. При более высоких температурах начинается постепенное снижение ее интенсивности. Полное исчезновение полосы 1.944 эВ (637 нм) наблюдается при $T \geq 1700^\circ\text{C}$. Полученный результат отличается от ранее полученных данных [3], где полное исчезновение центров (N-V⁻) наблюдалось при температуре $\sim 1500^\circ\text{C}$.

Исследования показали, что в спектрах фотолюминесценции (ФЛ) наряду с системой 1.944 эВ (637 нм) для большинства исследованных кристаллов проявляется другая относительно интенсивная электронно-колебательная полоса с бесфоновой линией 2.156 эВ (575 нм), обусловленная дефектом азот-вакансия в нейтральном состоянии (N-V⁰). Центр (N-V⁰) образуется при более высоких температурах отжига, чем центр (N-V⁻), по-видимому, за счет перезарядки данного дефекта. Нами найдено нелинейное увеличение интенсивности полосы ФЛ 2.156 эВ (575 нм) с ростом дозы облучения и зафиксирована высокая температура отжига ($T \sim 1500^\circ\text{C}$) центра (N-V⁰).

Обобщающие результаты описанных выше экспериментов приведены на рисунке 3, где изображены кривые изохронного отжига основных оптических центров, наблюдавшихся в облучённых кристаллах алмаза по спектрам поглощения и люминесценции.

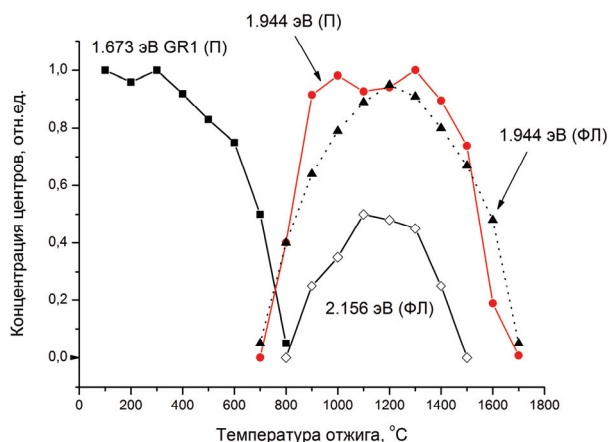


Рис. 3. Кривые изохронного отжига основных оптических центров в облученных алмазах. Метод измерения: П – поглощение, ФЛ – фотолюминесценция

ЛИТЕРАТУРА

1. Gurudev Dutt M. V., Childress L. et al. // Science. 2007. V.316. P.1312-1316.
2. Пальянов Ю. Н., Малиновский И. Ю. и др. // ДАН СССР. 1990. Т. 315, №5. С. 1221-1224.
3. Винс В.Г. // Вестник геммологи. 2002. №5. С.19-27.

ИНЖЕКЦИОННЫЙ ОТЖИГ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА МЕЖДОУЗЕЛЬНЫЙ БОР-МЕЖДОУЗЕЛЬНЫЙ КИСЛОРОД В КРЕМНИЕВЫХ n^+ -р ДИОДАХ

С. Б. Ластовский¹, Ф. П. Коршунов, А. С. Якушевич¹,
Я. И. Латушко², Л. Ф. Макаренко²

¹ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь,

²БГУ, факультет прикладной математики и информатики

makarenko@bsu.by

ВВЕДЕНИЕ

В кремнии рекомбинационно-ускоренный отжиг радиационно-индуцированных дефектов характерен для собственного междоузельного атома кремния (Si_i) [1], междоузельного алюминия (Al_i) [2], междоузельного бора (B_i) [3] и междоузельного углерода [4]. В работе [5] наблюдался также ускоренный отжиг и более сложного комплекса междоузельный бор–междоузельный кислород (B_iO_i) при пропускании прямого тока через облученные электронами кремниевые n^+ -р структуры. Этот центр,