

## Радиационные дефекты в алмазах типа Ib

Винс В.Г.<sup>1</sup>, Елусеев А.П.<sup>2</sup>

vgvins@gmail.com

<sup>1</sup> ООО ВЕЛМАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> ИГМ СО РАН, Новосибирск, Россия

Однородные монокристаллические алмазные элементы, содержавшие единственный примесный дефект - донорный азот с [Nc] от 1 до 150 ppm, облучались на линейном ускорителе 3 МэВ-ными электронами дозами  $\beta$  от 1 до 70 V (где  $V=1,0 \times 10^{17}$  е-/см<sup>2</sup>), а затем отжигались в вакууме 1200°С/2 часа. Облучение вызывает перезарядку части атомов азота из нейтрального в положительное зарядовое состояние: Nc - e<sup>-</sup> → N+, а также генерирует первичные радиационные дефекты: изолированные одиночные вакансии (V° и V<sup>-</sup>), интерстиции (Ci), вакансионные кластеры, атомные дефекты «523 нм», 3Н (503,5 нм), «1530 см-1». При этом [V<sup>-</sup>] = [N+] (ppm) =  $5,5 \times 10^{13}$  (см-1). При  $\beta = 10V$  в кристаллах с [Nc] ≤ 20 ppm образуется около 9 ppm изолированных вакансий, среди которых доля V<sup>-</sup> возрастает с 5,9 ([Nc] = 1 ppm) до 80% ([Nc] = 20 ppm). Скорость образования вакансий составляет 1.58 см-1 на один падающий электрон. По мере увеличения [Nc] и  $\beta$  отношение [V°]/[V<sup>-</sup>] уменьшается, и при [Nc] ≥ 36 ppm и  $\beta \geq 20V$  доля V<sup>-</sup> составляет более 95%. Интерстиции участвуют в образовании центров: «523 нм» (атом донорного азота захвативший одну или две интерстиции) и 3Н (503,5 нм) (возможно одиночная изолированная интерстиция). При [Nc] = 150 ppm и  $\beta \geq 50V$  пиковое поглощение этих центров достигает значений 19 и 15.6 см-1, соответственно. Интенсивность ИК полосы 1530 см-1 линейно зависит от  $\beta$ , достигая 1.74 см-1 при  $\beta = 70V$ . Полоса характерна и для алмазов, облученных нейтронами, что указывает на её вакансионно-кластерную природу.

Последующий за облучением отжиг приводит к образованию центров NV°/NV<sup>-</sup> и H1a. Центр H1a (линия 1450 см-1 с интенсивностью 8 см-1 при [Nc] ≈ 90 ppm и  $\beta = 60V$  + сопутствующие линии меньшей интенсивности 1438, 1358 и 1355 см-1) связывается с двумя азотными интерстициями (N2I). При [Nc] ≤ 20 ppm центры NV° и NV<sup>-</sup> (атом донорного азота, захвативший вакансию) образуются в сравнимых количествах. По мере увеличения [Nc] и  $\beta$ , отношение [NV°]/[NV<sup>-</sup>] уменьшается, и при [Nc] ≥ 36 ppm и  $\beta \geq 20V$  доминируют центры NV<sup>-</sup>. FWHM-факторы ноль-фононных линий 575 нм (NV°) и 637 нм (NV<sup>-</sup>) увеличиваются с возрастанием [Nc] и  $\beta$ :

FWHM575 - от 1.70 ([Nc] = 15 ppm,  $\beta = 10V$ ) до 3.6 мэВ ([Nc] = 50 ppm,  $\beta = 50V$ );

FWHM637 - от 1.02 ([Nc] = 60 ppm,  $\beta = 1,0V$ ) до 7.6 мэВ ([Nc] = 90 ppm,  $\beta = 70V$ ).

Поглощение линии 637 нм возрастает линейно до  $\beta = 20V$ , насыщаясь при больших дозах; а интегральная интенсивность из-за уширения линии продолжает возрастать. Уширение обусловлено влиянием других центров, в первую очередь N+; и сказывается на неоднозначности величины фактора Дебая - Валера (W) системы «637 нм»: он возрастает от 0.0098 до 0.0136 при увеличении  $\beta$  от 1 до 20V; а при  $\beta > 20V$  находится в диапазоне 0.011 ÷ 0.012. Соответственно, существующие формулы расчета содержания NV<sup>-</sup>-центров справедливы лишь для случая не уширенной линии 637 нм со значениями W ~ 0,010 и FWHM-фактора ≤ 3 мэВ. Отметим, что при T отжига >1200°С активируется трансформация NV → H3(NVN), а при T >1500°С трансформация H3(NVN) → N3(NVNN)