

Радиационные дефекты в алмазах типа Ib

Винс В.Г.¹, Елусеев А.П.²

vgvins@gmail.com

¹ ООО ВЕЛМАН, Новосибирск, Россия

² 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 β от 1 до 70 V (где $V=1,0 \times 10^{17}$ е-/см²), а затем отжигались в вакууме 1200°С/2 часа. Облучение вызывает перезарядку части атомов азота из нейтрального в положительное зарядовое состояние: Nc - e⁻ → N+, а также генерирует первичные радиационные дефекты: изолированные одиночные вакансии (V° и V⁻), интерстиции (Ci), вакансионные кластеры, атомные дефекты «523 нм», 3Н (503,5 нм), «1530 см⁻¹». При этом [V⁻] = [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⁻ 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 β отношение [V°]/[V⁻] уменьшается, и при [Nc] ≥ 36 ppm и $\beta \geq 20V$ доля V⁻ 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 β , 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⁻ 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⁻ (атом донорного азота, захвативший вакансию) образуются в сравнимых количествах. По мере увеличения [Nc] и β , отношение [NV°]/[NV⁻] уменьшается, и при [Nc] ≥ 36 ppm и $\beta \geq 20V$ доминируют центры NV⁻. FWHM-факторы ноль-фононных линий 575 нм (NV°) и 637 нм (NV⁻) увеличиваются с возрастанием [Nc] и β :

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 β от 1 до 20V; а при $\beta > 20V$ находится в диапазоне 0.011 ÷ 0.012. Соответственно, существующие формулы расчета содержания NV⁻-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)