Радиационные дефекты в алмазах типа Ib

Винс В.Г. [1] , *Елисеев 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=1,0×1017 е-/см2), а затем отжигались в вакууме 1200°C/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», 3H (503,5 нм), «1530 см-1». При этом [V^-] = [N+] (ppm) = 5,5×µ1332 (см-1). При β = 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 β ≥ 20V доля V^- составляет более 95%. Интерстиции участвуют в образовании центров: «523 нм» (атом донорного азота захвативший одну или две интерстиции) и 3H (503,5 нм) (возможно одиночная изолированная интерстиция). При [Nc] = 150 ppm и β ≥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 β = 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 β = 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 β ≥ 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, β =10V) до 3.6 мэВ ([Nc] = 50ppm, β =50V);
FWHM637 – от 1.02 ([Nc] = 60 ppm, β =1,0V) до 7.6 мэВ ([Nc] = 90ppm, β =70V).

Поглощение линии 637 нм возрастает линейно до β =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 β >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°C активируется трансформация NV→H3(NVN), а при T >1500° C трансформация H3(NVN) →N3(NVNN)