

ЗАВИСИМОСТЬ СВЕЧЕНИЯ F⁺- ЦЕНТРОВ В α -Al₂O₃ ОТ ЗАПОЛНЕНИЯ И ОПУСТОШЕНИЯ ГЛУБОКИХ ЛОВУШЕК

Введение

Монокристаллы α -Al₂O₃ (лейкосапфир) обладают высокой температурой плавления (2050⁰С), твердостью (уступает только алмазу), высоким электрическим сопротивлением (10¹¹ Ом при 500⁰С), низкой диэлектрической постоянной ($\epsilon_r = 10$ при комнатной температуре), высокой термической проводимостью (40 Wm⁻¹ K⁻¹), химической и радиационной стойкостью. Поэтому анионодефектные монокристаллы α -Al₂O₃ являются объектом интенсивных исследований многих научных групп. Эти монокристаллы были предложены для термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) исследователями Уральского государственного технического университета – УПИ (г. Екатеринбург, Россия).

В настоящее время накоплен большой объем данных о люминесцентных свойствах анионодефектных монокристаллов оксида алюминия. Однако объяснение некоторых особенностей термолюминесцентных (ТЛ) свойств анионодефектного оксида алюминия, представляющих научный и практический интерес, вызывает затруднения и требует дальнейших исследований. Это относится к термостимулированным процессам в интервале температур 300-900 К, в котором находится несколько максимумов ТЛ, включая дозиметрический пик при 450 К. Дискуссионным является вопрос о механизмах свечения в полосе 3.8 эВ и о роли F⁺-центров в ее возникновении.

Целью данной работы является исследование кривых ТЛ в полосе 3.8 эВ в широком температурном интервале.

Объекты и методика исследований

Объектами исследований являлись образцы номинально чистых анионодефектных монокристаллов оксида алюминия диаметром 5 мм и толщиной 1мм, выращенных методом направленной кристаллизации (метод Степанова) в сильнейших восстановительных условиях, обусловленных присутствием графита.

Кристаллы облучались β -излучением источника ⁹⁰Sr/⁹⁰Y тестовой дозой 50 мГр. Кривые ТЛ регистрировались в интервале температур 300-750 К.

Результаты и обсуждения

Для исследования кривых ТЛ в полосе 3.8 эВ в широком температурном интервале образцы возбуждались УФ светом через дейтериевую лампу ДДС-30, нефильтрованный свет от которой фокусировался на образец при помощи кварцевой линзы, прозрачной в диапазоне поглощения F-центров. В начале измерялась ТЛ - чувствительность к излучению образцов в исходном состоянии (без предварительного фотовозбуждения). Из рисунка 1 (кривая 1) видно, что после воздействия тестовой дозой свечение в полосе 3.8 эВ практически не наблюдается. Затем монокристалл оксида алюминия подвергли УФ возбуждению при температуре 650 К в течение 15 минут для заполнения глубокой ловушки с максимумом при 730 К и снова измерили ТЛ-чувствительность образца.

На рисунке 1 (кривая 3) видно, что интенсивность ТЛ в полосе 3.8 эВ в диапазоне дозиметрического пика значительно выросла. Вместе с тем, в области температур выше 600 К наблюдается начало еще одного интенсивного ТЛ сигнала, который соответствует известному пику при 730 К (первая глубокая ловушка).

Для установления корреляции ТЛ-выхода в полосе 3.8 эВ для пиков при 450 и 730 К использовали процедуру постепенного термовысвечивания. Образец облучали тестовой дозой от β -источника, нагревали до 693 К и при этой температуре удерживали в течение одной минуты. При выбранной температуре и длительности УФ возбуждения наблюдалось свечение 3.8 эВ, практически стационарное по интенсивности. В то же время

за одну минуту выдержки при указанной температуре глубокая ловушка не успевала полностью высветиться, что обеспечивало многократность цикла измерений. Затем процедура измерения (облучение и нагрев) повторялась снова.

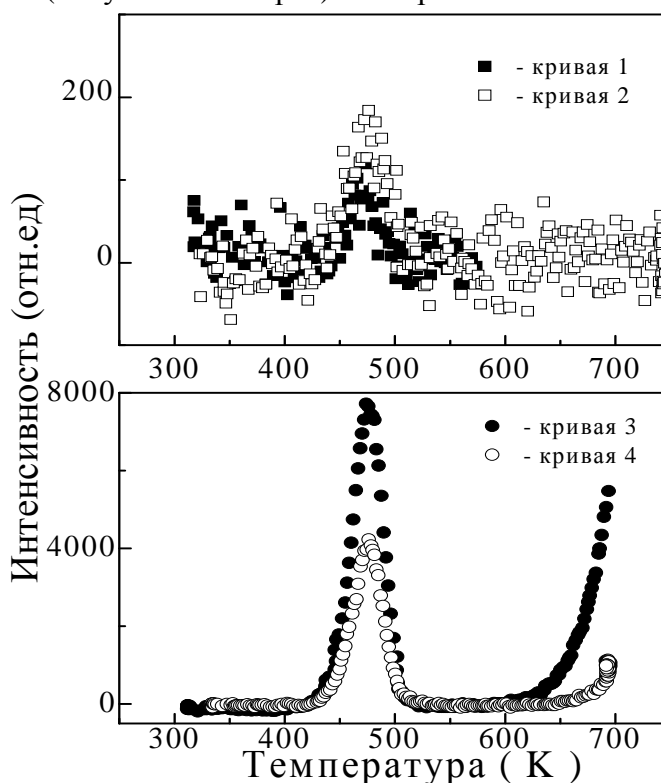


Рис. 1. Кривые ТЛ (в полосе 3.8 эВ) в различных состояниях: 1 – исходный образец; 2 – после полного опустошения глубокой ловушки при 730 К; 3 – после возбуждения УФ светом; после частичного опустошения ловушки при 730 К.

В результате каждого описанного цикла измерения интенсивность ТЛ при $T=693$ К уменьшалась (см. рисунок 1, кривая 4). Процедуру продолжали до тех пор, пока эта интенсивность не стала сравнима с фоном. После этого образец нагрели до 920 К и снова измерили ТЛ в полосе 3.8 эВ. Из рисунка 1 (кривая 2) видно, что в этом состоянии образца, как и в исходном, дозиметрический пик едва заметен, а пик ТЛ при 730 К не регистрируется.

Полученные результаты рассмотрены с точки зрения состояния глубокой ловушки при 730 К. Облучение УФ - светом приводит к интенсивным процессам $F \rightarrow F^+$ конверсии. Если УФ возбуждение происходит при 650 К, то, как было отмечено ранее, происходит заполнение глубоких ловушек, в том числе ловушки с пиком ТЛ при 730 К. За счет этого резко усиливается ТЛ в пике при 450 К в полосе 3.8 эВ (рисунок 1, кривая 3), поскольку с заполнением глубоких ловушек увеличивается вероятность захвата носителей заряда на дозиметрические ловушки [1]. Это предположение подтверждается экспериментально, поскольку видно, что свечение 3.8 эВ фактически исчезает в спектре основного дозиметрического пика после полного опустошения глубокой ловушки при 730 К в результате нагрева образца до 920 К (рисунок 1, кривая 2).

На рисунке 2 приведены зависимости интенсивности I термолюминесценции в полосе 3.8 эВ основного дозиметрического пика (кривая 1) и интенсивности ТЛ при $T=693$ К (кривая 2) от времени нагрева при постепенном опустошении глубокой ловушки (730 К).

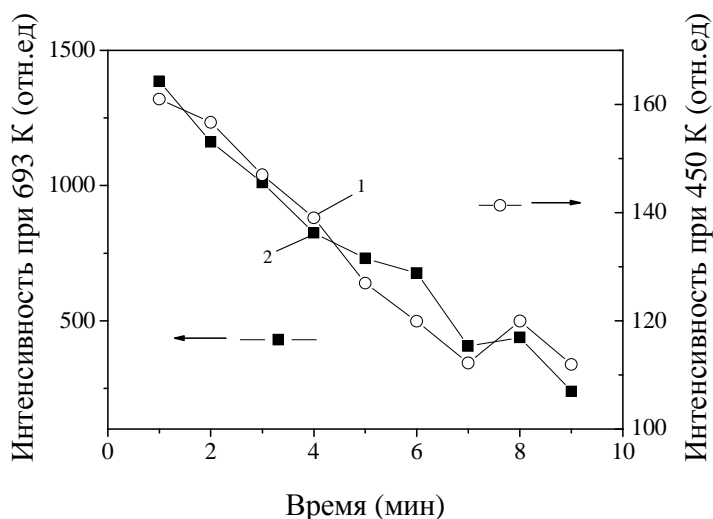


Рис. 2. ТЛ-выход при 450 К (1) и 693 К (2) в полосе 3.8 эВ.

Естественно, что I_{693} падает при опустошении глубокой ловушки. В то же время обнаружилось, что аналогичным образом уменьшается отклик образца на тестовую дозу (кривая 1) в полосе 3.8 эВ. Таким образом, установлена прямая корреляция этих двух процессов. Небольшие отклонения при времени термовысвечивания ≥ 6 минут могут быть связаны с тем, что в результате β -облучения ловушка с пиком ТЛ при 730 К может частично заполняться. Однако в силу малости тестовой дозы можно пренебречь этим процессом.

Отметим также, что установленная корреляция хорошо согласуется с предполагаемым рекомбинационным механизмом исследуемого свечения при 3.8 эВ и дырочной природой глубокой ловушки 730 К. При нагреве выше 600 К освобожденные дырки захватываются F-центрами с образованием возбужденного состояния F^+ -центра. В результате наблюдается свечение при 3.8 эВ в температурном диапазоне пика с максимумом при 730 К. По мере ступенчатого высвечивания ТЛ этого пика уменьшается общее количество F^+ -центров, созданных в результате $F \rightarrow F^+$ конверсии при УФ возбуждении образца. В итоге синхронно уменьшается интенсивность свечения в полосе 3.8 эВ в температурном диапазоне дозиметрического пика.

Литература

1. Nikiforov S. V. Thermal and optical ionization of F-centers in the Luminescence mechanism of Anion-Defective corundum crystals / S. V. Nikiforov, I. I. Milman, V. S. Kortov // Rad. Meas. 2001. – Vol. 33, № 5. – P. 547-551.