

УДК 535-3; 548.4

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В КВАРЦЕВОМ СТЕКЛЕ

Юрина У.В. (Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого)

Научный руководитель – д. ф.-м. н. Сидоров А.И.

(Университет ИТМО)

Облучение электронами кварцевого стекла вызывает разрушение структурных единиц в сетке стекла. Экспериментально показано, что увеличение дозы облучения приводит сначала к разрушению с дальнейшим восстановлением структуры стекла, а затем к необратимому ее разрушению, проведено сравнение результатов с аналогичными для кристаллического кварца. Полученные результаты могут быть использованы для создания на стеклах и кристаллах наноструктур для интегральной оптики, нанофотоники и наноплазмоники.

Введение. Облучение электронами ($E < 100$ кэВ) является эффективным инструментом для локальной модификации оптических свойств оптических материалов, таких как стёкла и кристаллы. Под поверхностью металлосодержащих стекол и кристаллов могут быть сформированы металлические наночастицы, могут быть записаны оптические волноводы. Облучение электронным лучом может приводить к усилению нелинейно-оптических свойств стекол. Достоинством метода является возможность фокусировки электронного луча в пятно, размером менее 10 нм. Основными процессами, происходящими при электронном облучении, являются формирование области отрицательного заряда под поверхностью стекла, полевая миграция подвижных положительных ионов металла в отрицательно заряженную область и пространственному перераспределению компонентов стекла и, наконец, разрыв химических связей сетки стекла быстрыми электронами. В результате возникают структурные дефекты, происходит изменение механических свойств стекла. Для изучения последнего процесса наиболее удобным объектом является чистое кварцевое стекло.

Основная часть. В экспериментах были использованы полированные пластины из оптического кварцевого стекла КУ-2, размерами 15×15 мм² и толщиной 3 мм. Облучение проводилось на сканирующем электронном микроскопе JEVD-2 с энергией электронов $E = 50$ кэВ и дозами облучения $D = 5-80$ мКл/см² при комнатной температуре. Были получены спектры комбинационного рассеяния с помощью спектрометра-микроскопа inVia Raman (Renishaw) при комнатной температуре.

Для малых доз 0-5 мКл/см² происходит уменьшение интенсивности полос в максимумах. Для $D = 10-40$ мКл/см² происходит увеличение интенсивности полос с увеличением дозы облучения. Облучение с $D = 10$ мКл/см² приводит к появлению новой полосы на $\nu = 375$ см⁻¹. Для $D = 40$ мКл/см² интенсивность полос в максимуме возвращается к исходному состоянию. Для доз, превышающих 40 мКл/см², интенсивность полос уменьшается при увеличении дозы облучения. Изменения интенсивности полос сопровождаются спектральным сдвигом их максимумов. Зависимости интенсивности полос от дозы облучения для $\nu = 465$ см⁻¹ и 420 см⁻¹ совпадают.

Спектры комбинационного рассеяния в интервале частот 700-1300 см⁻¹ показывают наличие как минимум 6 полос различной интенсивности. Это говорит о наличии в кварцевом стекле нескольких типов дефектов. Доза облучения влияет на все полосы, изменяя их интенсивность, и может приводить к их спектральному сдвигу.

Увеличение дозы облучения от 0 до 10 мКл/см² приводит к значительному увеличению интенсивности. Дальнейшее увеличение дозы сопровождается уменьшением интенсивности для всех трех полос. Амплитуды полос для $D = 80$ мКл/см² меньше, чем амплитуды аналогичных полос до электронного облучения.

Для сравнения проведено облучение кристаллического α -кварца при таких же условиях. Электронное облучение кристаллического кварца приводит к уменьшению интенсивности полосы при увеличении дозы облучения. Наиболее существенные изменения амплитуды полосы происходят для $D < 20$ мКл/см².

Для малых доз облучения концентрация образующихся радиационных дефектов мала, поэтому восстановление разрушенных структурных единиц стекла, силоксановых колец, маловероятно. При увеличении дозы облучения концентрация силоксановых колец начинает расти. С увеличением дозы облучения растет концентрация радиационных дефектов, что упрощает восстановление силоксановых колец после облучения. При больших дозах (>40 мКл/см²) происходят необратимые разрушения структурных единиц сетки стекла, что делает восстановление силоксановых колец невозможным.

Влияние дозы облучения на интенсивность спектры рассеяния на $\nu = 465$ см⁻¹ для кристаллического кварца существенно отличается от аналогичной зависимости для кварцевого стекла, где интенсивность полосы уменьшается при увеличении дозы электронного облучения. Это может быть связано с тем, что кристаллический кварц является более статичной системой, чем кварцевое стекло, и динамические процессы, включая восстановление силоксановых колец, после электронного облучения происходят в нем при комнатной температуре очень медленно. Слабое влияние электронного облучения на полосы, связанные с дефектами в кварце, вызвано различием типов радиационных дефектов, в сравнении с кварцевым стеклом.

Выводы. В зарубежных исследованиях влияния электронного облучения на кварцевое стекло электронами с энергией 2.5 МэВ наблюдались очень слабые структурные изменения в стекле после облучения. Это связано со слабым взаимодействием электронов высокой энергии со стеклом, они проходят сквозь него с малыми энергетическими потерями. Электроны с энергией 50 кэВ теряют всю свою энергию в слое стекла толщиной 25-30 мкм, и большая часть этой энергии расходуется на разрыв химических связей. Поэтому электронный луч с относительно малой энергией электронов является перспективным для локальной модификации свойств оптических материалов.