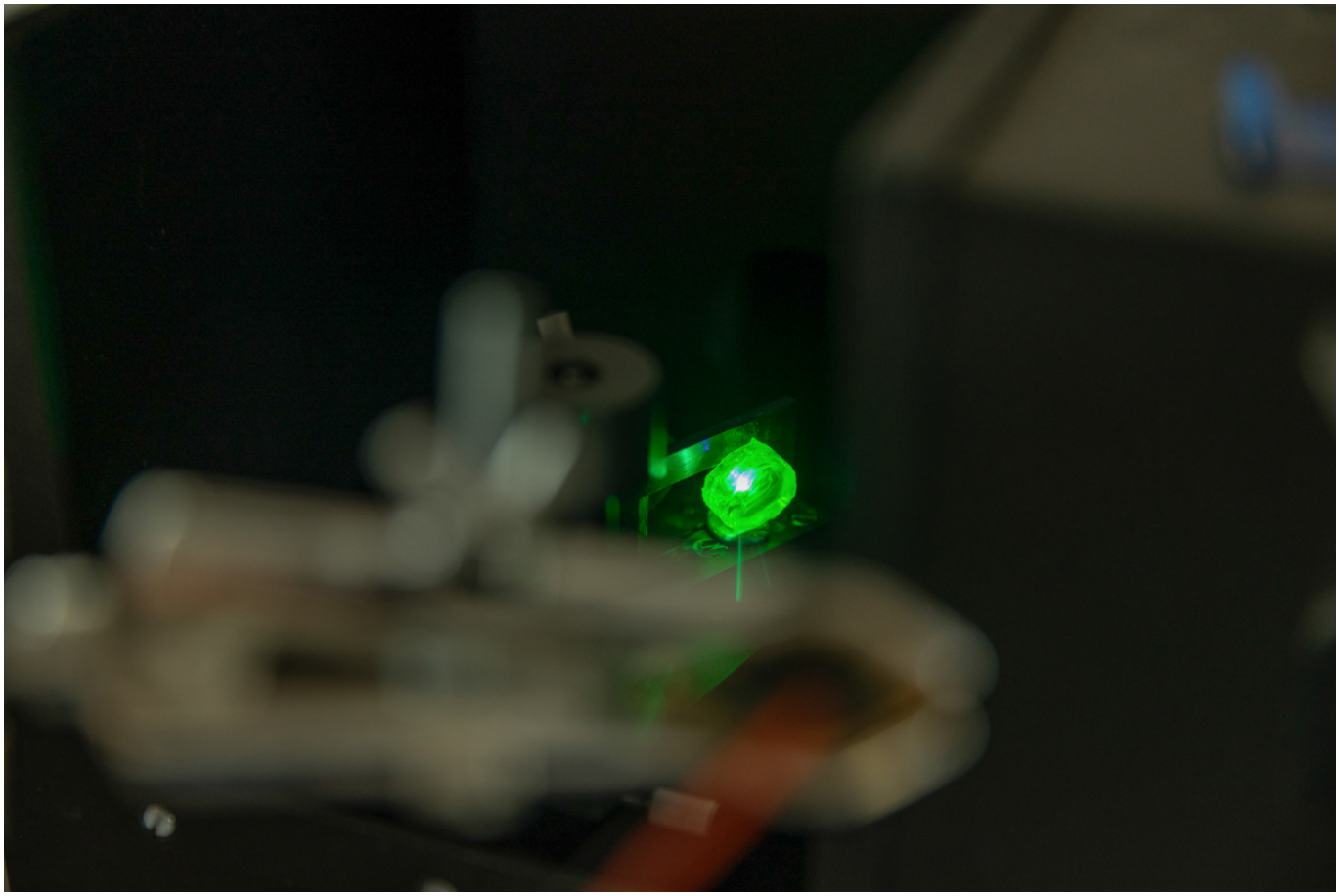
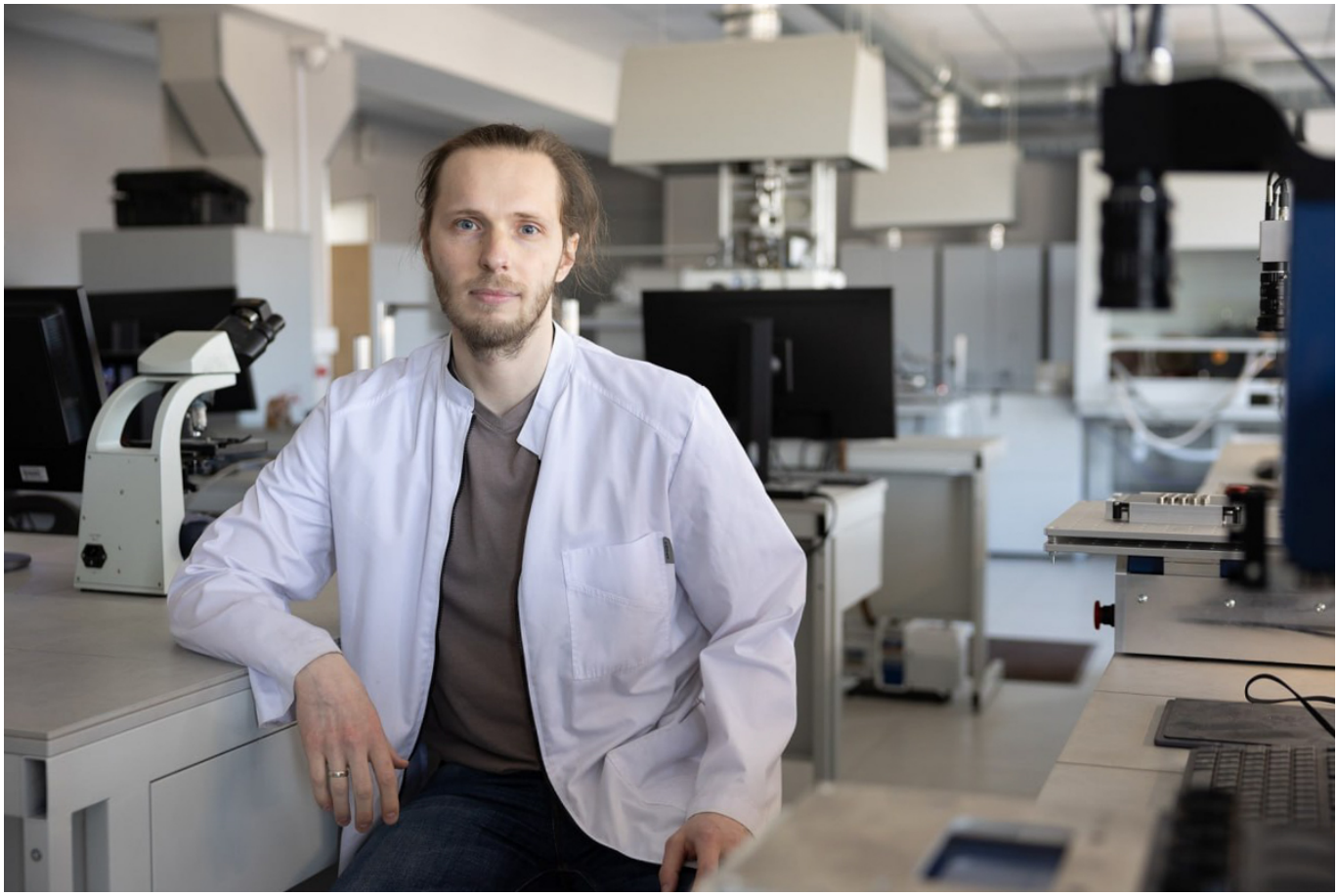
Ученые ИММиТ впервые проследили рост нанокристаллов в стекле в реальном времени



Учёные СПбПУ установили наблюдение за рождением и ростом перовскитовых нанокристаллов $CsPbBr_3$ прямо внутри стекла в режиме реального времени. Новый метод открывает путь к созданию стеклокристаллических материалов для фотоники, лазерной техники, светодиодов и детекторов излучения. Результаты опубликованы в журнале Ceramics International. Исследования проводятся при поддержке федеральной программы «Приоритет-2030».

> *«Мы получили инструмент, который позволяет отслеживать кинетику роста нанокристаллов в стекле от 7 до 12 нанометров, что даёт возможность получать материал с перестраиваемым положением полосы люминесценции для оптоэлектронных устройств», — рассказал заведующий научной лабораторией «Лаборатория оптического материаловедения» НОЦ «Нанотехнологии и покрытия» Института машиностроения, материалов и транспорта Виктор Клинков.*



Галогенидные перовскиты — материалы, на которые сегодня делает ставку мировая оптоэлектроника. Это соединения с трёхмерной кристаллической структурой на основе свинца и галогенов — хлора, брома или иода — с катионом цезия или метиламмония. Иодидные перовскиты уже ставят рекорды по КПД в солнечных элементах, а бромидные, к которым относится $CsPbBr_3$, обладают интенсивной люминесценцией — именно за это свечение их прочат в качестве основы светодиодов и лазеров нового поколения.

Однако у перовскитов есть уязвимость: на воздухе они быстро деградируют. Один из способов повысить их стойкость и защитить от атмосферного воздействия— вырастить нанокристаллы прямо внутри стекла, где они оказываются надёжно запечатаны. Делается это так: при синтезе стекла в исходную смесь добавляют бромиды цезия и свинца, расплав охлаждают, а затем заготовку выдерживают при постоянной температуре — проводят изотермический отжиг. В это время в объёме стекла происходит рост нанокристаллов $CsPbBr_3$. За процессом можно следить даже невооружённым глазом: бесцветное стекло постепенно желтеет, потому что растущие кристаллы поглощают сине-зелёную часть спектра.

Но для исследователей процесс роста кристаллов на начальном этапе в стекле долго оставался «чёрным ящиком». Концентрация кристаллов в стекле мала, и классический инструмент — рентгеноструктурный анализ — здесь почти бессилен: слабые дифракционные сигналы от нанокристаллов тонут в размытом «гало» стеклянной матрицы. Чёткая картина появляется лишь на поздних стадиях отжига, когда кристаллы уже переросли размеры, при которых проявляются квантово-размерные эффекты, то есть, когда свойства материала перестают зависеть от их размера. Получалось, что рост кристаллов от единиц до десятков

нанометром оставался вне поля зрения исследователей.

Учёные Политеха нашли способ обойти это ограничение: вместо рентгена они использовали абсорбционную спектроскопию. У нанокристаллов $CsPbBr_3$ есть характерный экситонный пик поглощения, своего рода оптический отпечаток пальца, положение которого жёстко связано с размером кристалла из-за эффектов квантового ограничения. Измеряя спектры поглощения после каждого отжига, авторы впервые проследили эволюцию кристаллов в реальном времени (in situ) с первых минут процесса, когда их размер составлял всего 7–8 нанометров, то есть примерно в десять тысяч раз меньше толщины человеческого волоса. Затем к оптическим данным применили классическую теорию кристаллизации (кинетический формализм Джонсона — Мела — Аврами — Колмогорова) и извлекли фундаментальные параметры кристаллизации $CsPbBr_3$ в боросиликатном стекле.

Материал взят с сайта СПбПУ