

# ИМПУЛЬСНАЯ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ И ДЕФЕКТОВ В ГРАНУЛИРОВАННОМ КВАРЦЕ

М. А. Игуменцева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> – Институт минералогии УрО РАН, maria@mineralogy.ru

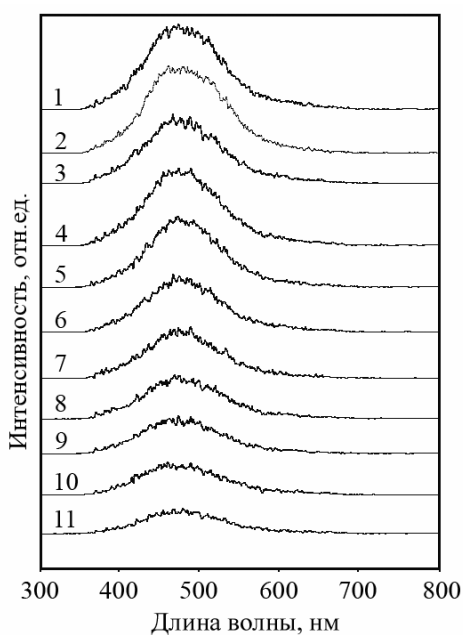
<sup>2</sup> – Южно-Уральский государственный университет

В настоящее время волоконно-оптические и лазерные технологии, а также технологии получения особо чистого кремния для микроэлектроники являются приоритетными направлениями развития современной техники. При этом в России практически отсутствует производство элементной базы современных волоконно-оптических систем и резко сокращено производство высокочистого кремния, в частности из-за отсутствия кварцевого стекла высокого качества. Особо чистый кварц служит исходным материалом в технологии синтеза высококачественного кварцевого стекла, является стратегическим сырьем, и крупнейшие российские месторождения жильного кварца высокого качества расположены на Южном Урале (Кыштымская группа месторождений).

Степень чистоты кварца в первую очередь определяется присутствием в нем включений и дефектов. Метод импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) является надежным и экспрессным методом для исследования минерального состава и структурных особенностей кристаллической решетки кварца. Исследования пространственных и временных характеристик свечения кварца проводились на импульсном катодолюминесцентном анализаторе веществ «КЛАВИ-Р» [Быков и др., 2004].

В качестве объектов исследования были выбраны перспективные жилы с достаточно высокими запасами особо чистого кварца, в частности это жила № 414 Кузнечихинского месторождения и жила Беркутинская Кыштымского месторождения. Также был изучен кварц ряда жил Кузнечихинского месторождения (№ 191, 413), которые уже в значительной степени отработаны, но кварц, которых характеризуется высокими качественными показателями.

На рисунке 1 представлены спектры импульсной катодолюминесценции кварца. Во всех спектрах доминирует полоса с максимумом 490 нм, которая связана со сложными алюминиевыми центрами люминесценции – комплексами  $Al^{3+}O^{5-}_4/(H^+, Li^+, Na^+)$ . Образование этих центров люминесценции связано с замещением ионов  $Si^{4+}$  на ионы



$Al^{3+}$  в структуре кварца. Компенсация недостающего положительного заряда осуществляется путем вхождения в каналы возле Al-тетраэдров ионов-компенсаторов, которыми являются протоны или ионы щелочных металлов [Соломонов и др., 2004]. Вместе с тем, центр люминесценции, излучательным распадом которого обусловлена полоса 490 нм, является составным и связан не только с алюминием, но и с элементами щелочных металлов. Поэтому интенсивность свечения в этой области дает качественную оценку и содержания щелочных элементов в кварце.

Рис. 1. Характерные спектры импульсной катодолюминесценции кварца. Кузнечихинское месторождение: 414-02 (1), 414-06 (3), 191-09 (6), 191-01(7), 413-01 (9), 191-02 (11); жила Беркутинская: 300-16 (2), Б 11 (4), 300-11 (5), 201-10 (8), Б 12 (10).

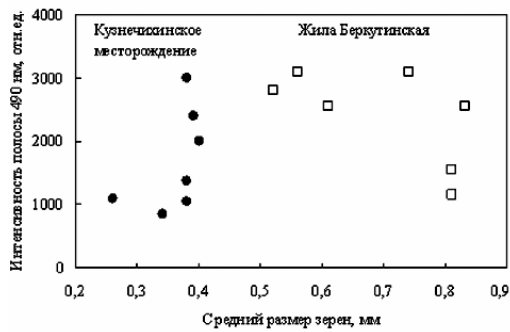


Рис. 2. Зависимость полосы 490 нм от размерных характеристик гранулированного кварца разных жил.

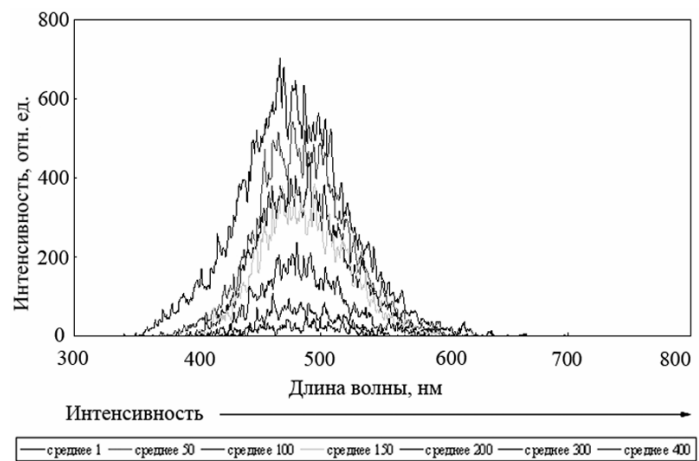


Рис. 3. Временные ИКЛ-спектры кварца со стробированием Кузнечихинского месторождения, жила 414, образец 414-12.

На рисунке 2 построена интенсивность полосы 490 нм в кварце Кузнечихинского месторождения и жилы Беркутинской. Интенсивность полосы 490 нм изменяется в пределах 1000–3000 отн. ед. и очевидно, что она сложным образом зависит от содержания Al и РТ-условий образования кварца.

Для исследования временных характеристик были зарегистрированы спектры люминесценции с контролируемой задержкой после импульса возбуждения. Время задержки составляло соответственно 1, 50, 100, 150, 200, 300, 400 мс. Для измерения использовалась специальная приставка для стробирования, разработанная в Институте электрофизики УрО РАН.

На рисунке 3 представлен временной спектр ИКЛ кварца в интервале задержки от 1 до 400 мс. Представленные результаты показывают уменьшение интенсивности основной линии 490 нм с увеличением времени задержки. Из рисунка видно, что люминесценция при задержке 400 мс практически затухает.

На рисунке 4 показана зависимость люминесценции 490 нм от времени задержки. Время жизни люминесценции, которое определяет длительность послесвечения, составляет 120 мкс.

В ряде образцов кварца присутствуют полосы, наложенные на основную линию 490 нм, связанные с минеральными примесями в кварце (рис. 5). Эти полосы имеют большую интенсивность в образцах жилы № 414 Кузнечихинского месторождения. Максимумы этих полос располагаются в области 570 и 730 нм. Они обусловлены ионами  $Mn^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  соответственно в включениях альбита и слюды. По данным проведенного минералогического анализа включения этих минералов в данной пробе присутствуют в значительных количествах.

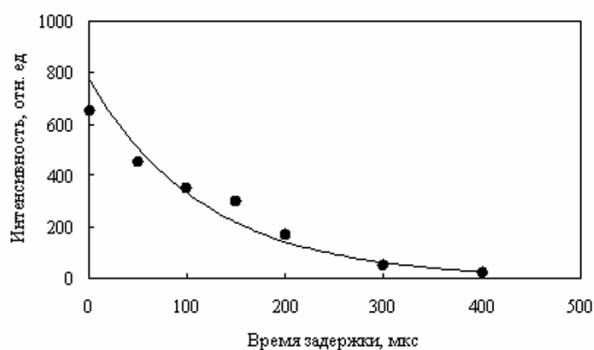


Рис. 4. Зависимость интенсивности линии 490 нм от времени задержки.

В образце 414-04 полоса 570 нм наблюдается в виде плеча со стороны больших длин волн на основной полосе 490 нм, что приводит к ее асимметрии, а полоса 730 нм имеет относительно небольшую интенсивность.

Исследования кварца методом импульсной катодолюминесценции показали, что в спектрах кварца кроме основной полосы 490 нм, обусловленной ионами алюминия, изоморфно замещающими атомы кремния, присутст-

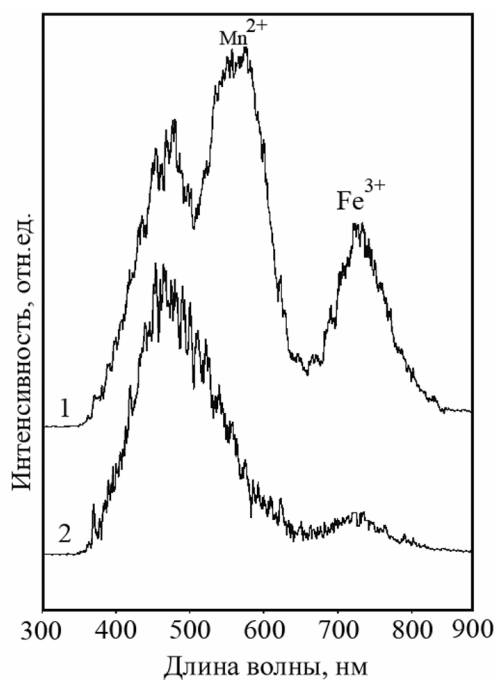


Рис. 5. Спектры импульсной катодолуминесценции кварца с минеральными включениями. Кузнечихинское месторождение: 414-12 (1), 414-04 (2).

вуют полосы, связанные с ионами  $Mn^{2+}$  и  $Fe^{2+}$  в минеральных включениях. Установлено, что интенсивность полосы 490 нм изменяется в широких пределах и зависит как от содержания алюминия, так и РТ-условий образования кварца. Анализ временных спектров катодолуминесценции показал, что время жизни люминесценции со свечением в области 490 нм, составляет 120 мкс.

*Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № 23, гранта молодых ученых УрО РАН, гранта РНП 2.1.1/10727 и в соответствии с Государственным контрактом на выполнение поисковых научно-исследовательских работ для государственных нужд № П-735 от 20.05.2010*

#### Литература

Быков В. Н., Игуменцева М. А., Соловьева С. А. Исследование кварца месторождений южного Урала методом инфракрасной спектроскопии и импульсной катодолуминесценции // Кварц. Кремнезем. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 83–84.

Соломонов В. И., Михайлов С. Г., Клюкин И. Ю. Возможности люминесцентного анализа природного кварца // Кварц. Кремнезем: Материалы Международного семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 32–34.