

КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ
МИНЕРАЛОВ**Лопатин О.Н. (Oleg.Lopatin@ksu.ru), Николаев А.Г., Хайбуллин Р.И.,
Нуждин В.И.**

Казанское отделение, КФУ, КФТИ РАН

CRYSTAL CHEMICAL ASPECTS OF THE ION IMPLANTATION IN
MINERALS**Lopatin O.N., Nikolaev A.G., Khaibullin R.I., Nuzhdin V.I.**

Kazan branch, KFU, KPTI RAS

Методика ионной имплантации подразумевает ионно-лучевую обработку поверхности вещества потоком высокоэнергетичных ионов различных химических элементов. Применительно к минеральным объектам работы по ионно-лучевой модификации физических свойств минералов проводятся на кафедре минералогии и литологии Казанского (Приволжского) Федерального университета совместно с лабораторией радиационной физики КФТИ РАН. На примере оксидных и силикатных минеральных матриц накоплен значительный опыт принудительного изменения окраски минералов. Изучены кристаллохимические особенности целого ряда минералов-имплантантов, отработаны режимы ионно-лучевой обработки и постимплантационного воздействия, тем самым разработаны основы нанотехнологии облагораживания драгоценных камней (Лопатин и др, 2001 – 2012, Бахтин и др, 2007, Khaibullin et al, 2003, Guller et al, 2010). Определенный задел имеется по имплантационному облагораживанию алмазов (Лопатин и др, 2010, 2011). За рубежом аналогичные научные работы не имеют систематического характера и связаны, в основном, с именами японских и португальских исследователей.

Механизмы локализации имплантированных в структуру ионов предполагают изоморфные замещения и структурное нахождение имплантированных ионов на месте исходных атомов структуры мишени (твердые растворы замещения), а также вхождение внедряемых ионов в строго определенные интерстициальные позиции (твердые растворы внедрения). Баланс зарядов облученной структуры компенсируется не полной раскристаллизацией аморфизованного в процессе имплантации приповерхностного слоя, и наличием в пределах этого слоя точечных вакантных дефектов (механизм твердых растворов вычитания). Как правило, ионно-лучевое воздействие и постимплантационная термическая обработка минеральной матрицы приводят к преципитации имплантированных ионов с конечным образованием наноразмерных коагулятов, представляющих собой оксидные самостоятельные фазы. В других случаях имплантация приводит к формированию (самопроизвольному синтезу) в пределах кристаллической

структуры мишени самостоятельных фаз, в образовании которых кроме атомов-имплантантов и кислорода принимают участие и другие атомы исходной кристаллической матрицы. В любом случае, локализация имплантированных в структуру оксидных и силикатных минералов ионов тяжелых химических элементов (в нашем случае – элементы группы железа) осуществляется в узком приповерхностном слое, до глубины порядка 100 нм от облучаемой поверхности образца.

Особый случай – имплантирование ионами легких химических элементов принципиально иной минеральной мишени – алмаза. Проведение имплантации ионов легкого, инертного химического элемента (гелия) в матрицу природного бесцветного алмаза привело к появлению окраски ярко-желтого, т.н. «фантазийного» цвета с золотистым янтарным оттенком. При изменении режимов и параметров ионно-лучевой обработки в сторону увеличения алмазы изменяют окраску на интенсивно черную. Никакой постимплантационной термической обработки при этом не требуется. Микроскопическое изучение облученных кристаллов алмаза с применением методик стандартного петрографического анализа в поляризованном свете, в иммерсионных жидкостях и с использованием специализированного геммологического инструментария позволило констатировать равномерное распределение наведенной окраски по всему объему кристаллов. Фантазийная окраска высокой насыщенности и чистоты является идентичной лучшим природным аналогам. Анализ спектров люминесценции имплантированных алмазов позволил связать природу наведенной окраски со степенью радиационного изменения кристаллической структуры минерала.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ и Госконтракта Федеральных Целевых Программ РФ (проект № П - 822). Работа авторского коллектива удостоена Государственной премии Республики Татарстан в области науки и техники 2011 года.

Бахтин А.И., Лопатин О.Н., Хайбуллин Р.И., Хайбуллин И.Б. Люминесценция синтетического рутила, имплантированного ионами кобальта. Кристаллография. Т. 52. № 5. 2007. С. 910-914.

Лопатин О.Н., Хайбуллин Р.И., Вагизов Ф.Г., Базаров В.В., Бахтин А.И., Хайбуллин И.Б. Имплантация ионов железа в кристаллическую структуру природного берилла. ЗВМО. № 4. 2001. С. 122-127.

Лопатин О.Н., Хайбуллин Р.И., Ибрагимов Ш.З., Бахтин А.И., Хайбуллин И.Б. Имплантация ионов железа в кристаллическую структуру природного кварца. Изв. ВУЗов. Геология и разведка. № 6. 2002. С. 35-41.

Лопатин О.Н., Хайбуллин Р.И., Королев Э.А., Бахтин А.И., Хайбуллин И.Б. Имплантация ионов марганца в кристаллическую структуру синтетического корунда. Изв. ВУЗов. Геология и разведка. № 3. 2005. С. 17 - 19.

Лопатин О.Н., Хайбуллин Р.И., Бахтин А.И., Хайбуллин И.Б. Возможности ионной имплантации в геммологии. Ученые записки КГУ. Т. 148. Кн. 4. 2006. С. 105-112.

Лопатин О.Н. Ионная имплантация минералов и их синтетических аналогов. Автореф. дис. докт. геол.-мин. наук. Казань: Изд-во КГУ, 2010. 40 с.

Лопатин О.Н., Хайбуллин Р.И., Николаев А.Г., Нурждин В.И. К вопросу о «черных бриллиантах». Ученые записки КГУ. Т. 152. Кн. 1. 2010. С. 244-252.

Лопатин О.Н. Ионная имплантация минералов и их синтетических аналогов. Монография. Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 206 с.

Лопатин О.Н., Николаев А.Г., Нуждин В.И., Хайбуллин Р.И. Способ получения алмазов фантазийного желтого и черного цвета. Патент РФ № 2 434 977 С1. Бюллетень ФИПС № 33 от 27.11.2011.

Лопатин О.Н., Николаев А.Г., Хайбуллин Р.И. Кристаллохимические аспекты ионной имплантации минералов и их синтетических аналогов. Зап.РМО. № 1. 2012. С. 61-70.

Khaibullin R.I., Lopatin O.N., Vagizov F.G., Bazarov V.V., Bakhtin A.I., Khaibullin I.B., Aktas B. Coloration of natural beryl by iron ion implantation. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research. B 206. 2003. P. 277-281.

Guller S., Rameev B., Khaibullin R.I., Lopatin O.N., Aktas B. EPR-study of Mn-implanted single crystal plates of TiO₂ rutile. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. V. 322. 2010. P. 113-117.