

Драгоценные камни.

Исследование драгоценных камней методом [сканирующей электронной микроскопии](#) широко используется в научных, производственных и экспертных целях. Исследование структуры может проводиться также и с использованием родственных методов [1], [2].

Цветовая характеристика минералов может служить предварительным критерием при определении качества минералов и их классификации. Происхождением цвет в основном обязан поглощения света примесями или самим минералом. Добавочный цвет может возникать вследствие люминисценции. Опалесценция также характерна для многих минералов, в том числе и для драгоценных и полудрагоценных камней (опал, лабрадорит, гематит и т. д.), исследование структуры поверхности методом СЭМ может дать ценную информацию об источнике опалесценции, и, таким образом, дать ценную информацию о происхождении минерала [3].

Природные алмазы образуются в результате геологических процессов, характеризующихся высокими давлением и температурой. Они часто содержат дефекты, представляющие собой минеральные включения или дефекты кристаллической решётки.

Исследование природных микроалмазов, описанное в работе [4], привело к классификации форм природных алмазов и представляет несомненную кристаллографическую ценность. Следует отметить, что исследование проводилось на природных алмазах размером 300 – 500 мкм, так как кристаллы большего размера имеют большое количество дефектов, затрудняющих анализ морфологии. Авторы обнаружили 7 основных классов симметрии кристаллов микроалмазов: октаэдр, куб, ромбический додекаэдр, тризюктаэдр, трапецаэдр, тетрагексаэдр и гексоктаэдр. Предложены гипотезы о причинах появления форм. Таким образом, кристаллографическое исследование алмазов малого размера – задача, решаемая с помощью метода сканирующей электронной микроскопии.

Применение комбинации методов СЭМ, ЭДС, Рамановских спектроскопии и микроскопии для изучения пяти огранённых алмазов было описано в работе [5]. Авторы исследовали примесные включения бриллиантов. Хорошим инструментом оказалось элементное картирование, с его помощью был определён состав примесного включения и сделано предположение о кимберлитовом происхождении исследованных алмазов. Авторы предполагают возможность расширения методики исследования для анализа других минералов. Важным является точный элементный анализ включений, так как соотношение элементов, наличие щелочных металлов и другие данные могут быть использованы для точного определения места происхождения минерала.

Опубликована работа, в которой изучено влияние источника лазерного излучения на форму поверхности кристалла алмаза в процессе лазерной резки [6]. Изучение морфологии образующейся поверхности разреза проводилось с использованием метода сканирующей электронной микроскопии. Было показано, что наименьшая потеря массы при резке, а также наименьшее количество дефектов поверхности разреза (нет необходимости в дополнительной полировке кристалла) достигаются при использовании Nd/VO₄ лазера с диодной накачкой. При исследовании была использована комбинация методов СЭМ/Рамановская спектроскопия комбинационного рассеяния, что позволило получить комплексную информацию о морфологии и химическом составе (наблюдалось образование графита).

Изучение дефектов природных алмазов, добытых в кимберлитовой трубке «Удачная» (Якутия) описано в работе [7]. Авторами использованы такие методы, как катодолюминисцентная микроскопия (CL), резка фокусированным ионным пучком (FIB), дифракция обратнорассеянных электронов (EBSD). Авторы показали, что определение взаимной ориентации примесных кристаллитов хромита в кристалле алмаза позволяет заключить их одновременное образование, причём можно судить о температуре

процесса. Таким образом, комплексное исследование включений природных алмазов с использованием методов, базирующихся на электронной микроскопии, позволяет получить ценную информацию о происхождении минерала, условиях его образования. Использование FIB позволило авторам получить трёхмерное изображение частицы примесного хромита.

В работе [8] авторы провели СЭМ и ТЭМ исследование апографитовых ударных алмазов. Образцы были получены из метеоритного кратера

Экспертный анализ поддельных алмазов (муассанита, фианита и т.д.) может быть легко проведён на основании данных, полученных с использованием методов сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Наиболее ценен в этом отношении ЭДС, так как элементный анализ в подавляющем большинстве случаев способен отличить фальсификат от настоящего камня.

В промышленности и науке широко распространено использование алмазов, полученных в контролируемых условиях (альтернативное название – синтетические). Они находят применение как режущие инструменты, абразивные материалы, как компоненты высокоточных оптических систем. В настоящее время лабораторное получение алмазов проводится с использованием следующих методов:

1. Химическое осаждение из газовой фазы (CVD) [9]. Данный метод заключается в индуцируемом плазмой осаждении углерода из питающего газа (метан, ацетилен) и в зависимости от условий реализации может приводить к получению как микрокристаллических алмазов, закреплённых на подложке, так и крупных алмазов. Часто наблюдается появление примесей в виде графита, углеродных нанотрубок, аморфного углерода.

2. Высокое давление и температура (НТНР) – метод, заключающийся в воздействии высокой температуры и высокого давления (5 ГПа и 1500°C) на углеродный материал, имеющий контакт

с микрокристаллическим алмазом. Таким методом получают монокристаллические алмазы больших размеров, которые находят широкое применение в науке и технике. Данный метод допускает контролируемое введение примесей и дефектов.

3. Нанокристаллические алмазы могут быть получены детонационным методом. Взрывчатые вещества, особенно имеющие отрицательный кислородный баланс, при детонации образуют небольшое количество нанокристаллов алмаза (около 5 нм). Образование алмазов обусловлено высокими температурой и давлением, возникающими в момент взрыва. Углеродным сырьём служит материал ВВ, однако может использоваться композит ВВ с углеродным материалом.

4. Ультразвуковая кавитация – метод, позволяющий получать алмазы микрометрового размера при комнатной температуре и давлении при обработке графитовой суспензии мощным ультразвуком. Они имеют сравнительно низкую степень совершенства поверхности.

В общем случае отличить природный алмаз от полученного в лаборатории можно при помощи анализа на содержание включений. Алмазы, имеющие геологическую природу, почти всегда содержат примеси, состав и морфология которых характерны для конкретного месторождения. Однако лабораторно полученные камни также могут искусственно модифицироваться включением дефектов и примесей.

Авторы работы [10] описали исследование планарных дефектов лабораторно выращенного алмаза методом селективного травления расплавом $KNO_3/NaNO_3$. Было показано, что алмазы, полученные методом CVD имеют в своём составе планарные дефекты, построена диаграмма распределения количества дефектов от длины. Авторы детально описывают кристаллографическую сторону явления.

Кристаллографическое исследование процесса роста кристаллов алмаза гексагональной сингонии с использованием метода сканирующей электронной микроскопии подробно описано в работе [11]. Авторы зафиксировали изображения кристаллов алмаза гексагональной сингонии размером 1 – 2 мкм, обладающих высокой аллотропной чистотой.

Алмазные монокристаллические микроиглы, образованные кристаллами кубического алмаза и полученные методом CVD из смеси метан/водород были описаны в работе [12]. Были изучены основные этапы роста и получены высококачественные изображения алмазов. Очистка алмазов от дефектных кристаллов и примесей осуществлялась с помощью контроля температурного режима.

В целом, стоит отметить широкое распространение применения методики сканирующей электронной микроскопии в различных исследованиях драгоценных и полудрагоценных камней. Достаточно редко удается использовать только саму методику микроскопии, чаще используется комбинация с такими методами, как Рамановская спектроскопия комбинационного рассеяния, оптические методы, ДОРЭ, катодолюминисцентные методы анализа. Применение методики в основном лежит в плоскости изучения формирования кристаллов в процессах лабораторного получения, анализа включений природных минералов, классификации и идентификации дефектов структуры.

Применение метода сканирующей электронной микроскопии в сочетании с методом ЭДС для исследования таких драгоценных и полудрагоценных камней, как корунды, гранаты, бериллы, кварцы, турмалины, топаз, и др., может применяться для целей классификации, установления подлинности, определения происхождения и смежных задач. Методы СЭМ и ЭДС в большинстве случаев позволяют быстро определить химический состав минерала, сингонию его кристалла, наличие примесей и включений. Эта информация позволяет точно идентифицировать камень. Применение метода СЭМ может быть ограничено низкой проводимостью

образца, однако и в этом случае может быть проведено исследование с использованием техники напыления проводящего слоя.