

ИССЛЕДОВАНИЯ СТМ «АЛМАЗОТ» МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Н. М. Казючиц, Е. В. Наумчик, М. С. Русецкий, А. В. Мазаник, О. В. Королик

Белорусский государственный университет, *Kazuchits@bsu.by*

Синтез алмазов методом НРНТ сопровождается загрязнением кристаллов примесями азота и металлов-катализаторов [1]. Распределение этих примесей в кристаллах крайне неоднородно [1-3]. Например, в пределах одного кристалла СТМ «Алмазот» изменение концентрации примеси азота составляет от $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [2-3], никеля от $1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1,3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [3]. Кристаллы с низким содержанием технологических примесей могут быть использованы для производства полупроводниковых приборов. Современная технология синтеза методом НРНТ не позволяет выращивать кристаллы с необходимыми для полупроводникового приборостроения характеристиками. Кристаллы для изготовления приборных структур приходится выбирать. В алмазных пластинах области с пониженным содержанием азота и никеля могут быть выделены визуально по распределению центров окраски и фотолюминесценции [2-3]. В кристаллах, вследствие преломления и переотражения света от граней, визуальный отбор затруднен. Как альтернатива визуальному отбору в этой статье оцениваются возможности метода комбинационного рассеяния света (КРС) при отборе кристаллов СТМ «Алмазот».

Цель работы состояла в установлении корреляций основных параметров линий КРС с содержанием азота и никеля в кристаллах.

Исследования КРС проводились на пластине синтетического алмаза СТМ «Алмазот» производства РУП «Адамас БГУ». Фотографии пластины приведены на рисунке 1. Пластина была вырезана из центральной части кристалла перпендикулярно его основанию вдоль плоскости (100) таким образом, чтобы в ее состав входили призатравочная область, центральная часть кристалла и области, прилегающие к вершинам. После двусторонней полировки пластины на одной ее поверхности была создана матрица контактных площадок размером $200 \cdot 200 \text{ мкм}$ с зазором между контактами равным 200 мкм . Для создания контактов использовалась имплантация ионов бора с последующим активационным отжигом.

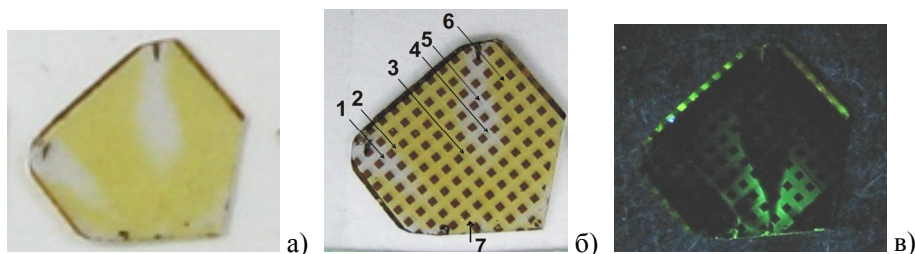


Рис.1. Фотографии пластины СТМ «Алмазот»: а) – на белом фоне при освещении белым светом, б) – то же с матрицей контактов, в) – на черном фоне при освещении лазерным излучением с длиной волны 337 нм. Стрелками на б) обозначены области возбуждения КРС

Из рисунка 1 видно неоднородное распределение цвета пластины. Преобладает желтая с оттенками окраска, обусловленная примесью азота, находящегося в узлах кристаллической решетки. Концентрация азота в желтых областях достигает $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, расположенные при вершинах кристаллов бесцветные области содержат менее $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ азота [2-3]. Освещение пластины светом, возбуждающим люминесценцию, позволяет визуализировать распределение центров излучательной рекомбинации [2]. Наблюдаемая зеленая люминесценция ассоциируется с дислокациями (А-полоса). В окрестности затравки дополнительно к А-полосе могут наблюдаться S-линии, связанные с примесью никеля [4].

Спектры КРС записывались с помощью Nanofinder High End (LOTIS TII) – микро-рамановского спектрометра, совмещенного с 3D сканирующим конфокальным микроскопом. Регистрация спектров осуществлялась по схеме обратного рассеяния, разрешение спектрометра составляло $0,3 \text{ см}^{-1}$. Использовалось возбуждение излучением твердотельного лазера с длиной волны 473 нм. Подводимая к образцу мощность составляла 8 мВт, а диаметр возбуждающего пучка – около 1 мкм. Области возбуждения КРС обозначены на рисунке 1б стрелками. Пластина находилась при комнатной температуре. Линии КРС первого порядка для указанных областей приведены на рисунке 2.

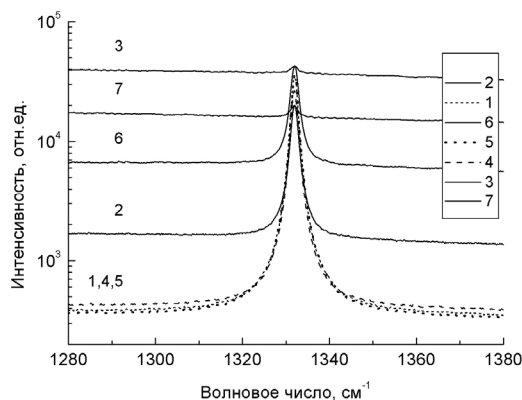


Рис.2. Спектры КРС первого порядка, записанные из разных областей алмазной пластины. Номер спектра соответствует номеру области возбуждения на рис.1б

Спектральное положение линий соответствует рассеянию возбуждающего излучения на оптическом ТО фоне и составляет 1332 см^{-1} . Известно, что в зависимости от структурного совершенства алмазного образца спектральное положение линий КРС может меняться [5]. В нашем случае положение линий КРС из разных областей пластины различалось на $\pm 0,02 \text{ см}^{-1}$, из чего следует, что степень структурного совершенства исследованного кристалла СТМ «Алмазот» приблизительно одинакова в различных его частях.

В синтетических НРНТ алмазах С- и А-формы азота в концентрации 800 ppm вызывают небольшой сдвиг линии КРС на $0,5\text{-}0,7 \text{ см}^{-1}$ [6]. Концентрация азота, рассчитанная из спектров ИК поглощения, не превышает 100 ppm в любой части исследованной пластины. Таким образом, возможное смещение линии КРС, обусловленное

примесью азота в исследованной пластине, не может превышать погрешности спектрометра. Примесь никеля, по-видимому, также не вызывает спектральное смещение линии КРС, так как положение линии КРС в окрестности затравки, где концентрация никеля около 10^{19} см^{-3} , практически не отличается от положения линий КРС при вершинах кристалла, где никеля на порядок меньше [3].

В то же время, спектральная ширина линии КРС несколько изменяется в зависимости от области возбуждения пластины. В бесцветных областях пластины в окрестности вершин с пониженной концентрацией азота ширина линии КРС на половине высоты составляет $1,67 \div 1,69 \text{ см}^{-1}$ (у наиболее совершенных кристаллов природного алмаза она равна $1,5 \text{ см}^{-1}$ [5]). В областях пластины, окрашенных в желтый цвет, ширина линии КРС составляет $1,87 \text{ см}^{-1}$. Приблизительно такая же ширина линии КРС в окрестности затравки, где наряду с высоким содержанием азота наблюдается повышенное содержание никеля. Из чего следует заключить, что примесь никеля в концентрациях до 10^{19} см^{-3} не влияет на ширину линии КРС. Полученные экспериментальные значения спектральной ширины линии из желтых и бесцветных областей пластины СТМ «Алмазот» хорошо согласуются с расчетами по предложенным в работе [6] формулам.

Как видно из рисунка 2, такой параметр линии КРС как интенсивность более других меняется при регистрации КРС из различных областей пластины. Наибольшая интенсивность линий КРС (десятки тысяч) наблюдается в бесцветных не люминесцирующих областях пластины (области 1,4,5). Наименьшая интенсивность линий (единицы тысяч) наблюдается в окрестности затравки и в люминесцирующих областях (области 3,7).

Дополнительную информацию о дефектах кристалла можно получить из анализа спектров фотолюминесценции, сопутствующих методике КРС. В рамановских спектрах СТМ «Алмазот» широкая линия фотолюминесценции образует пьедестал, на котором регистрируется линия КРС. Соотношение интенсивностей регистрируемого сигнала в максимуме линии КРС и у ее основания коррелирует в первом приближении с качественными характеристиками кристалла. В самом деле, эта величина имеет наибольшие значения в бесцветных областях кристалла с низким содержанием примесей и центров люминесценции (области 1,4,5). Наименьшими значениями этой величины характеризуются призатравочные дефектные области кристалла и области с высокоинтенсивной люминесценцией (области 3,7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев, В.С. Состав и пространственное распределение атомов примесей в монокристаллах синтетического алмаза / В.С. Соловьев [и др.] // Вестник Белорус. Университета. Сер. 1. 2000. № 2. С. 31-37.
2. Казюиц, Н.М. Распределение примесей и дефектов в монокристаллах НРНТ алмаза: сб. докладов Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела» в 3-х томах / Н.М. Казюиц, [и др.]. Минск. 18-21 октября 2011. Т. 3. С. 13.
3. Коновалова, А.В. Влияние отжига элементов реакционной ячейки на автолегирование кристаллов СТМ Алмазот: сб. докладов Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела» в 3-х томах / А.В. Коновалова, Н.М. Казюиц, И.И. Азарко Минск. 18-21 октября 2011. Т. 2. С. 229.
4. Мудрый, А.В. Оптические свойства монокристаллов синтетических алмазов / А.В. Мудрый, Т.П. Ларионова, И.А. Шакин, Г.А. Гусаков, Г.А. Дубров, В.В. Тихонов // ФТП. 2004. Т. 38. Вып. 5. С. 538.
5. Zaitsev, A.M. Optical properties of diamonds: a data handbook. Springer 2001. 502 p.

6. Surovtsev, N.V. Effect of nitrogen impurities on the Raman line width in diamonds / N.V. Surovtsev, I.N. Kupriyanov, V.K. Malinovsky, V.A. Gusev and Yu. N. Pal'yanov // J. Phys.: Condens. Matter. 1999. Vol. 11. P. 4767.