

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ АЛМАЗА, СВЯЗАННАЯ С ПРИМЕСЬЮ
КРЕМНИЯ

А. М. Зайцев, В. С. Вавилов, А. А. Гишпиус

УДК 535.376; 621.315.592.3

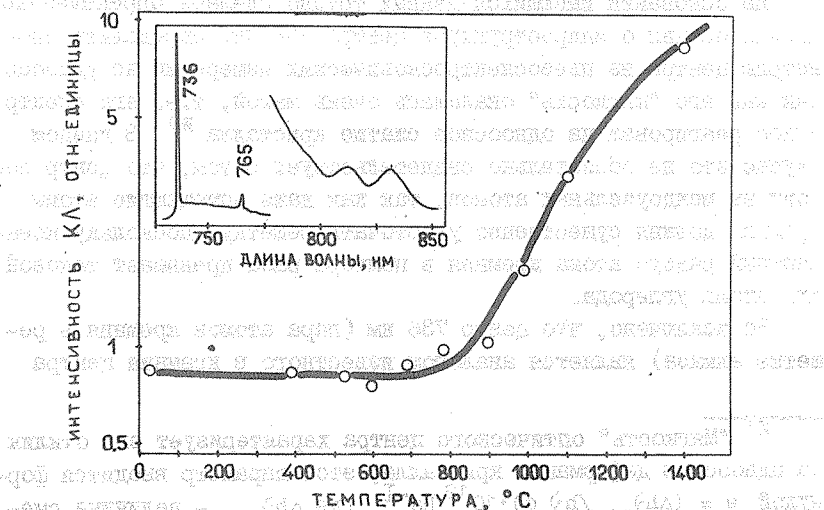
В алмазе впервые обнаружена люминесценция, связанная с примесью кремния. Обсуждается модель центра люминесценции.

Несмотря на растущий интерес исследователей к алмазу как перспективному материалу для твердотельной электроники, примесный состав кристаллов природного алмаза и эпитаксиальных пленок остается мало изученным. До сих пор большинство известных полос и линий поглощения и люминесценции были сопоставлены либо с собственными дефектами, либо с комплексами, состоящими из собственных дефектов и атомов азота /1/. Какого-либо влияния на спектры люминесценции других примесей, содержащихся в кристаллах алмаза, обнаружено не было.

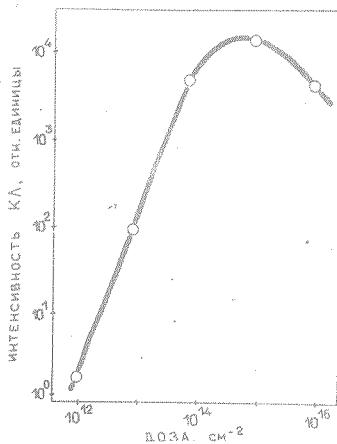
В данной работе впервые приведены данные о влиянии кремния (изоэлектронной примеси) на спектры люминесценции алмаза. Люминесценция возбуждалась пучком электронов (энергия 10 кэВ, ток ~5 мкА) и регистрировалась в спектральном интервале 300–900 нм при температуре образца 80 К.

В спектрах катодолюминесценции (КЛ) эпитаксиальных пленок /2/ нами была обнаружена полоса, состоящая из узкой линии 736 нм и довольно слабого фоновых крыла. Для установления природы центра, ответственного за эту люминесценцию, были проведены измерения спектров люминесценции кристаллов природного алмаза типов Ia и IIa, содержащих различные примеси, введенные методом ионной имплантации. После имплантации кристаллы подвергались отжигу при температурах 400–1400 °С в течение двух часов.

Линия 736 нм (рис. 1, вставка) была обнаружена лишь в кристаллах, содержащих имплантированный кремний (всего было использовано 25 различных ионов). Это означает, что в образовании центров 736 нм участвуют атомы кремния. Квадратичная (вплоть до определенной дозы) зависимость интенсивности линии 736 нм от дозы имплантации (рис. 2) свидетельствует о том, что в состав центра входят два атома кремния. Существенное (более чем на порядок) возрастание интенсивности линии после отжига (рис. 1) указывает на то, что имплантированные атомы кремния становятся подвижными при температуре отжига выше 1000°C и могут участвовать в образовании комплексов. Косвенным подтверждением подвижности имплантированных атомов кремния служат данные о распределении центров 736 нм по глубине, полученные методом послыонного травливания (оказалось, что это распределение значительно шире предсказываемого теорией для внедренных ионов).



Р и с. 1. Спектр (вставка) и зависимость от температуры отжига интенсивности люминесценции центра 736 нм



Р и с. 2. Зависимость интенсивности люминесценции 736 нм от дозы имплантированных ионов кремния

На основании имеющихся данных трудно сделать определенные предположения о микроструктуре центра 736 нм. Определить симметрию центра из пьезоспектроскопических измерений не удалось, так как его "мягкость" оказалась очень малой, т.е. его спектр слабо реагировал на одноосное сжатие кристалла ^ж). В данном случае это не обязательно свидетельствует о том, что центр состоит из междоузельных атомов, так как даже замещающие атомы кремния должны существенно ужесточать решетку, поскольку ковалентный радиус атома кремния в полтора раза превышает таковой для атома углерода.

Не исключено, что центр 736 нм (пара атомов кремния в решетке алмаза) является аналогом известного в кремнии центра

^ж) "Мягкость" оптического центра характеризует его отклик на одноосную деформацию кристалла, этот параметр вводится формулой $s = (\Delta h)_{\max} / (h_0 \sigma) \cdot 10^{12} \text{ Па}^{-1}$, где $\Delta h)_{\max}$ - величина смещения наиболее отщепленной компоненты бесфонной линии от ее положения h_0 в недеформированном кристалле, σ - величина упругого напряжения /3/. Подробнее см. в нашей статье в журнале "Физика и техника полупроводников" (август-сентябрь 1981 г.).

Si G11, представляющего собой пару атомов углерода, находящихся в конфигурации "расщепленное междоузлие" /4/. С центром Si G11 связаны характерные структуры в спектрах люминесценции и поглощения с бесфононной линией 0,97 эВ (1280 нм) /5-8/. Интересно отметить, что центр 0,97 эВ (Si G11) в кремнии возникает при температуре, близкой к комнатной /6/, тогда как для центра 736 нм эта температура гораздо выше ($\sim 1000^\circ\text{C}$, рис. 1). Такое различие в температурах возникновения может быть обусловлено как различием в величине коэффициентов диффузии углерода в кремнии и кремнии в алмазе, так и разной величиной барьеров комплексообразования.

Авторы выражают признательность А. В. Спицину и В. А. Дравину, проводившим имплантацию ионов на ускорителе "High Voltage Engineering Europa".

Поступила в редакцию
28 апреля 1981.

Л и т е р а т у р а

1. The Properties of Diamond, ed. J. E. Field, Academic Press, 1979.
2. В. С. Вавилов, А. А. Гиппиус, А. М. Зайцев, Б. В. Дерягин, Б. В. Спицын, А. Е. Алексенко, ФТП, 14, В.9, 1811 (1980).
3. А. А. Гиппиус, В. С. Вавилов, А. М. Зайцев, В. В. Ушаков, Труды II Советско-американского семинара по ионной имплантации (Пушино, 1979), под ред. В. С. Вавилова, Л. С. Смирнова, Из-во СО АН СССР, Новосибирск, 1979 г., стр.11.
4. K. L. Brower, Phys. Rev., 19, 2607 (1974).
5. В. С. Коноплев, А. А. Гиппиус, Краткие сообщения по физике ФИАН № 10, 23 (1975).
6. J. R. Noonan, C. G. Kirkpatrick, B. G. Streetman, J. Appl. Phys., 47, N 7, 3010 (1976).
7. V. S. Konoplev, A. A. Gippius, V. S. Vavilov, Inst. Phys. Conf. Ser. N 31, 244 (1977).
8. A. R. Bean, R. J. Newman, R. J. Smith, J. Phys. Chem. Solids, 31, 739 (1970).