

Стимулированное излучение разупорядоченных сред на основе кристаллических порошков ZnO

Л.Е.Ли, Л.Н.Демьянец, С.В.Никитин, А.С.Лавриков

На кристаллических порошках ZnO получена при комнатной температуре низкопороговая ($E_{th} = 0.94$ мДж/см²) лазерная генерация с четкой модовой структурой спектров индуцированного излучения. Порошки, состоящие из сростков нанокристаллов с образованием тетраподов, синтезированы методом высокотемпературного пиролиза органических солей цинка.

Ключевые слова: оксид цинка, порошковый лазер, генерация разупорядоченных сред.

Возможность получения лазерного излучения на разупорядоченных объектах была теоретически обоснована в работах Летохова в 1960-х годах [1]. Порошковые (или «случайные») лазеры – это лазеры принципиально нового типа. Генерация в них происходит в отсутствие обязательного для традиционного лазера элемента – внешнего резонатора, обратная связь обеспечивается за счет многократного рассеяния света. Обнаружение низкопороговой эффективной генерации в УФ области спектра на поликристаллических пленках оксида цинка [2] послужило толчком к интенсивному исследованию объектов на основе ZnO. К настоящему времени удалось получить лазерную генерацию на материалах высокого оптического качества – пленках, наноструктурах и наноккомпозитах [3–7]. В [8] генерация излучения была обнаружена на поликристаллических кластерах размером порядка 1 мкм. Однако работы по генерации в кристаллических порошках ZnO, идеальных представителях разупорядоченных сред, единичны.

Оксид цинка – это широкозонный полупроводник ($\Delta E \approx 3.37$ эВ), обладающий уникальным набором механических, электрических и люминесцентных свойств. Он имеет рекордно высокую среди бинарных полупроводников энергию связи экситонов (~ 60 мэВ), что обеспечивает существование УФ полосы люминесценции, обусловленной рекомбинацией экситонов при температурах вплоть до 500 К. Отмечалось, что ZnO – материал, максимально адаптированный для получения на его основе лазерного излучения в УФ диапазоне при комнатной температуре [9].

Микрокристаллические порошки оксида цинка были синтезированы методом высокотемпературного пиролиза органических солей цинка. Микрокристаллы представляли собой закономерные сростки в форме тетраподов (длина линейного фрагмента до 10 мкм при ширине до 300 нм, рис. 1).

Для оптического возбуждения стимулированного из-

лучения в порошковых образцах ZnO использовалось излучение третьей гармоники Nd³⁺:YAG-лазера ($\lambda = 355$ нм, диаметр пучка излучения ~ 1 мм, длительность импульса ~ 4 нс, частота следования импульсов 1 кГц). Возбуждающее излучение направлялось нормально к поверхности порошкового образца. Излучение с поверхности образца через многожильный гибкий кварцевый световод подавалось на входную щель спектрометра. Световод устанавливался под определенным углом θ к поверхности образца, спектры регистрировали на спектрометре типа MC-300 (спектральное разрешение 0.1 нм), оснащенный ПЗС-линейкой.

На рис.2 представлены спектры излучения порошка оксида цинка, снятые при комнатной температуре при различных уровнях возбуждения. Эта серия спектров была зарегистрирована при $\theta \approx 15^\circ$. При уровнях возбуждения менее 0.94 мДж/см² спектр излучения состоял из одной полосы, обусловленной спонтанной люминесценцией оксида цинка, с максимумом на $\lambda \sim 389$ нм и полушириной $\Delta\lambda \sim 12$ нм. При уровнях возбуждения 0.94 мДж/см² и выше на этой полосе, как на пьедестале, появляются эквидистантные узкие линии с $\Delta\lambda \sim 0.2$ нм и расстоянием между линиями ~ 0.58 нм, интенсивности которых резко возрастают с увеличением уровня накачки (см. рис.3). Как следует из рис.2, при уровне возбуждения,

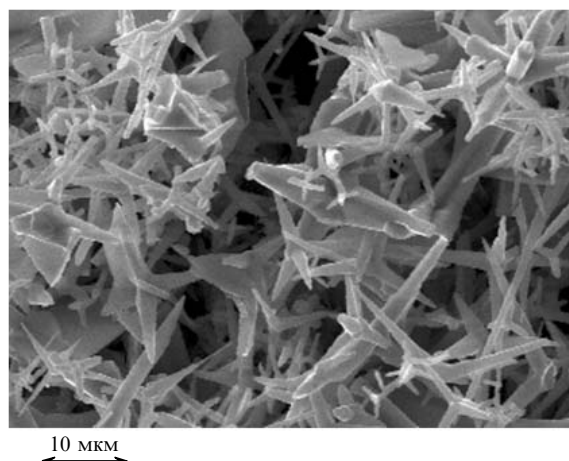


Рис.1. Морфология кристаллитов в порошках ZnO.

Л.Е.Ли, Л.Н.Демьянец, С.В.Никитин, А.С.Лавриков. Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН, Россия, 119333 Москва, Ленинский просп., 59; e-mail:

Поступила в редакцию 24 октября 2005 г.

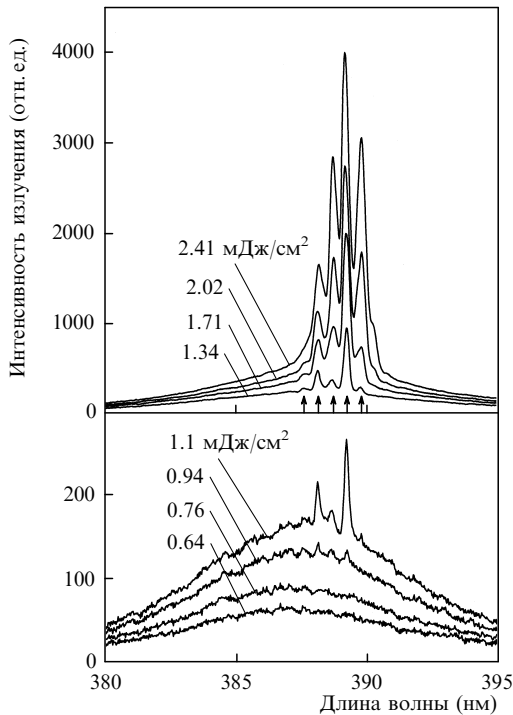


Рис.2. Спектры излучения порошка ZnO при разных уровнях оптического возбуждения. Стрелками отмечены положения эквидистантных линий индуцированного излучения.

превышающем пороговое значение примерно в 1.4 раза, в спектре излучения образца доминируют линии генерации.

Зависимость интенсивности излучения линии ($\lambda = 389.9$ нм) от уровня возбуждения показана на рис.3. Видно, что вблизи порога эта кривая претерпевает излом, связанный с резким изменением характера роста интенсивности излучения образца от уровня накачки. Пороговый характер изменения спектров излучения (появление новых узких линий, резкое увеличение интенсивности излучения этих линий) и четкая модовая структура новых линий подтверждают получение лазерной генерации на исследованных порошках оксида цинка.

В наших экспериментах спектр генерации при постоянном уровне возбуждения оставался стабильным. Ха-

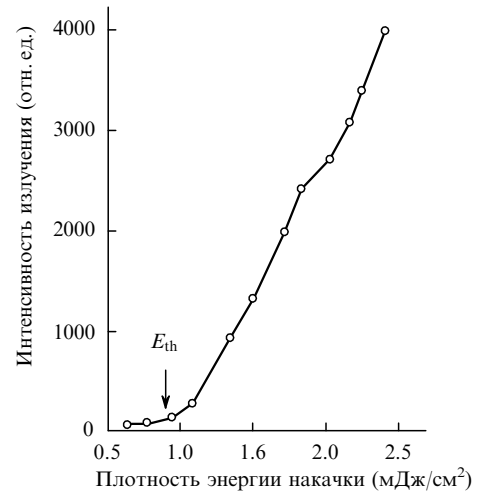


Рис.3. Зависимость интенсивности линии генерации ($\lambda = 389.9$ нм) от уровня накачки.

рактер спектра генерации, порог генерации, а также модовый состав менялись при изменении как точки наблюдения на поверхности порошка, так и угла наблюдения θ , что можно объяснить пространственной разупорядоченностью порошкового образца и случайным характером возникновения замкнутых резонаторных структур в генерирующем объекте. Эти особенности спектров генерации будут детально изложены в наших последующих работах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 03-02-17308) и ФЦНТП (госконтракт № ИН-12.5/002.2071).

1. Летохов В.С. *Письма в ЖЭТФ*, **5**, 262 (1967).
2. Tang Z.K., Wong G.K.L., P.Yu, et al. *Appl. Phys. Lett.*, **72**, 3271 (1998).
3. Huang M.H., Mao S., Feick H. *Science*, **292**, 1897 (2001).
4. Yang H.Y., Yu S.F., Li H.D., Tanemura M., Okita T., Hatano H., Hng H.H. *Appl. Phys. Lett.*, **87**, 013104 (2005).
5. Johnson J.C., Yan H., Schaller R.D., Haber L.H., Saykally R.J., Yang P. *J. Phys. Chem. B*, **105**, 11387 (2001).
6. Cao H. *Prog. Optics*, **45**, 317 (2003).
7. Yu S.F., Yuen C., Lau S.P. *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 3241 (2004).
8. Cao H., Xu Y.Y., Seeling E.W., Chang R.P.H. *Appl. Phys. Lett.*, **76**, 2997 (2000).
9. Zamfirescu M., Kavokin A., Gil B., Malpuech G., Kaliteevski M. *Phys. Rev. B*, **65**, 161205 (2002).