

УДК 535.2

ФИЗИКА

Ю. К. ВОРОНЬКО, Б. И. ДЕНКЕР, А. А. ЗЛЕНКО, А. Я. КАРАСИК,
Ю. С. КУЗЬМИНОВ, Г. В. МАКСИМОВА, В. В. ОСИКО,
академик А. М. ПРОХОРОВ, В. А. СЫЧУГОВ, Г. П. ШИПУЛО,
И. А. ЩЕРБАКОВ

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА (Li—Nd)-ФОСФАТНОГО СТЕКЛА

Развитие интегральной оптики и оптических систем связи ставит задачу создания эффективных компактных источников когерентного излучения. Твердотельные лазеры с оптической накачкой, использующие в качестве рабочих понов ионы редкоземельных элементов, являются подходящими объектами для этих целей; в особенности это касается неодимовых лазеров. Лазерный переход $\text{Nd}^{3+} \ ^4F_{3/2} \rightarrow \ ^4I_{11/2}$ в области 1,06 мкм совпадает с областью низких потерь оптических волокон на силикатной основе. Как показано в (1, 2), кристаллы и неодимовые стекла могут найти применение для названных выше целей. Однако минимальные размеры активных элементов из этих материалов ограничиваются низкой концентрацией активных центров Nd^{3+} . В этих и подавляющем большинстве исследованных до последнего времени лазерных матрицах концентрацию Nd^{3+} приходится ограничивать несколькими атомными процентами, чтобы избежать взаимодействия активаторных центров и деградации энергии возбуждения в тепловые колебания, что значительно ухудшает выходные характеристики лазеров.

В результате поиска высококонцентрированных активных сред, лишенных указанного недостатка, недавно (3) было обнаружено, что в кристаллах $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ концентрационное тушение люминесценции, несмотря на высокую концентрацию Nd^{3+} ($4 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$) выражено слабо. В настоящее время эти кристаллы интенсивно исследуются (см., например, обзор (4)). В частности, на их основе созданы работающие при комнатной температуре непрерывный лазер с порогом ~ 1 мвт (5) и непрерывный волоконный лазер с порогом меньше 10 мвт (6). В работе (7) сообщается, что лазерный эффект получен также на стекле, состав которого аналогичен составу кристалла $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$. Вслед за кристаллами $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ было обнаружено аномально слабое тушение люминесценции в кристаллах $\text{LiNdP}_4\text{O}_{12}$ (8) (концентрация активных частиц $4,37 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$). На этих кристаллах был также зарегистрирован лазерный эффект при комнатной температуре с низким порогом (9, 10).

В настоящей работе мы сообщаем о получении (Li—Nd)-фосфатного стекла, близкого по составу к смешанному метафосфату, и о результатах исследования некоторых его спектральных и генерационных свойств.

При приготовлении (Li—Nd)-фосфатного стекла исходными реактивами служили однозамещенный фосфорнокислый аммоний, углекислый литий и окись неодима. Шихта готовилась смешением исходных реактивов с последующим прокаливанием ее в платиновой чашке при 500° С. Плавление осуществлялось при помощи высокочастотного нагрева в платиновом тигле. температура варки стекла была 1400°. Полученное стекло имеет высокую физико-химическую устойчивость и не взаимодействует с атмосферной влагой. Измеренный на рефрактометре ИРФ-22 коэффициент преломления оказался равным 1,55. Из полученного стекла были вырезаны образцы для спектроскопических и генерационных исследований. Исследования кинети-

ки распада метастабильного состояния $\text{Nd}^{3+} {}^4F_{7/2}$ при комнатной температуре по методике (11) показали, что затухание люминесценции происходит по экспоненциальному закону, с константой распада $\tau=38$ мксек. В качестве источника возбуждения использовался лазер ЛТИ ПЧ-7 (импульсно-периодический режим $f=12$ гц, $\lambda=530$ нм, пиковая мощность 10^5 вт, длительность импульса 15 псек). На рис. 1 приведен фрагмент спектра поглощения

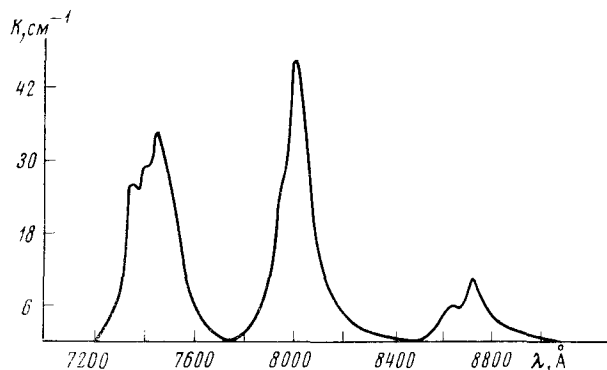
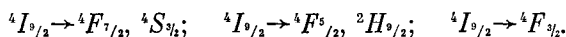


Рис. 1. Фрагмент спектра поглощения (Li-Nd)-фосфатного стекла

ния (Li-Nd)-фосфатного стекла в области 700–910 нм, что соответствует переходам



Значения коэффициентов поглощения примерно в 15 раз превышают аналогичные величины для промышленных силикатных стекол типа ГЛС-1, что позволяет надеяться на эффективность полупроводниковой накачки (Li-Nd)-фосфатного стекла небольших размеров. Проведенная на основании выполненных спектрально-люминесцентных исследований оценка поперечного сечения генерационного перехода ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ дала величину $\sigma_p \approx 3 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$.

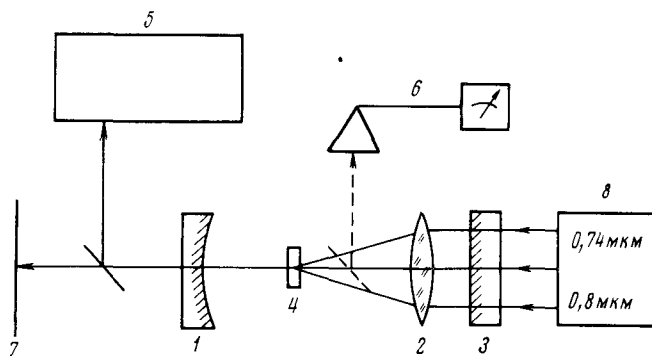


Рис. 2. Схема экспериментальной установки. 1 – сферическое зеркало, 2 – линза, 3 – плоское зеркало, 4 – образец, 5 – спектрограф ДФС-8, 6 – калориметр, 7 – экран, 8 – рамановский лазер

Генерационные характеристики снимались на установке, схема которой приведена на рис. 2. Резонатор был образован сферическим зеркалом с радиусом кривизны $\rho=25$ см, линзой с фокусным расстоянием $F=12,5$ см и плоским зеркалом. Коэффициенты отражения зеркал достигали $R \approx 100\%$. Образец стекла толщиной $d=2,26$ мм помещали в фокус сферического зеркала и линзы. Для накачки использовали рамановский лазер на бензоле с

длинами волн излучения 0,74 и 0,8 мкм ⁽¹²⁾. Накачка образца производилась через плоское зеркало. Порог генерации стекла в этой системе составил 15 мдж (энергия излучения, падавшая на образец). Ширина спектра генерации составляла ~ 40 Å при превышении порога генерации в 1,5–2 раза. Центр линии излучения приходился на длину волны $\lambda=1,055$ мкм. Спектр генерации состоял из набора эквидистантных линий с расстоянием между ними $\Delta\lambda=1,6$ Å. Линейчатая структура излучения лазера была обусловлена селективными свойствами активного элемента.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР
Москва

Поступило
26 XI 1975

ЛИТЕРАТУРА

- R. B. Chesler, D. A. Draegert*, Appl. Phys. Letters, v. 23, 235 (1973). ² *J. Stone, C. A. Burrus*, *ibid.*, v. 23, 388 (1973). ³ *H. G. Danielmeyer, H. P. Weber*, IEEE J. Quant. Electronics QE-8, 805 (1972). ⁴ *B. C. Tofield, H. P. Weber et al.*, J. Solid State Chem., v. 12, 207 (1975). ⁵ *H. G. Danielmeyer, G. Huber et al.*, J. Appl. Phys., v. 2, 335 (1973). ⁶ *H. P. Weber, P. F. Liao et al.*, Appl. Phys. Letters, v. 26, 692 (1975). ⁷ *H. P. Weber, T. C. Damen et al.*, *ibid.*, v. 22, 534 (1973). ⁸ *T. Yamada, K. Otsuka, J. Nakano*, J. Appl. Phys., v. 45, 5096 (1974). ⁹ *K. Otsuka, T. Yamada*, Appl. Phys. Letters, v. 26, 311 (1975). ¹⁰ *S. R. Chinn, H. Y.-P. Hory*, *ibid.*, v. 26, 649 (1975). ¹¹ *Т. Т. Басиев, Т. Г. Мамедов, И. А. Щербаков*, Квантовая электроника, т. 2, № 6, 1268 (1975). ¹² *А. А. Зленко, В. А. Сычугов, Г. П. Шипуло*, Квантовая электроника, № 5 (11), 103 (1972).