

Рис. 2. Спектры поглощения эвтектики $\text{BeAl}_2\text{O}_4/\text{BeAl}_6\text{O}_{10}:\text{Cr}^{3+}$.

Авторы благодарны сотрудникам Института физики НАН Республики Беларусь Е.В. Луценко и Н.В. Ржеутскому за запись спектров эвтектики.

Список литературы

1. А.А.Бочвар. Исследование механизма и кинетики кристаллизации сплавов эвтектического типа. ОНТИ.М.; Л.1935.
2. W.K. Liebmann, E.A.Miller; J.A.P. 34 (1963) 2653.
3. R.Balda, S.Garcia-Revilla, J.Fernandez et al. J.of Luminescence 129, (2009), 1422-1427.
4. В.Н. Матросов, А.И.Алипиев, Т.А. Матросова. Диаграмма состояния системы $\text{BeO}-\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$. Доклады АН БССР, 1986, Т.XXX.№10, 933-934.

ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ СВЕРХМОЩНЫХ ЛАЗЕРОВ

Матросов В.Н, Матросова Т.А., Пестряков Е.В.

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
info@solix-crystal.com*

С момента создания лазера на рубине [1] прошло немногим более пятидесяти лет, и никто не мог предположить, что за такой короткий срок лазеры найдут столь широкое применение в многообразной человеческой деятельности. Вслед за лазером на рубине были созданы лазеры на редкоземельных ионах, самым эффективным из которых является лазер на иттрий – алюминиевом гранате.[2] Но все эти лазеры позволяли получать генерацию на одной фиксированной длине волны, в то время как для решения многих задач, был необходим лазер, работающий на нескольких длинах волн, т.е. перестраиваемый лазер. В результате поиска были найдены среды, например, $\text{CaF}_2:\text{U}^{3+}$, которые могли перестраиваться только при гелиевых и азотных температурах, что было неприемлемо для практических применений [3]. Также были созданы перестраиваемые лазеры на красителях, которые не нашли применение, так как жидкости-красители были токсичны и быстро разлага-

лись под воздействием накачки. В результате проведенных исследований нам впервые удалось найти среду, которая могла работать при комнатной температуре с перестройкой длин волн в широком диапазоне видимого спектра. Этой средой оказался александрит $\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}$ [4], что способствовало бурному развитию исследований в данном направлении и становлению нового научного направления в области материаловедения и лазерной техники. Вскоре были получены кристаллы форстерита – $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Cr}^{4+}$ [5], титан-сапфира – $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ [6], гексаалюмината бериллия $\text{BeAl}_6\text{O}_{10}:\text{Cr}^{3+}$ [7] и другие, которые, как и александрит, позволяли получать перестраиваемую генерацию при комнатной температуре. Авторы данной работы приняли самое активное участие в становлении и развитии этого научного направления.

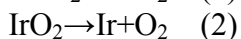
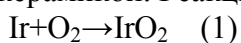
Исследования спектроскопических свойств указанных выше кристаллов показали, что на них можно получать сверхкороткие импульсы порядка 3-5 фемтосекунд и ниже, а это означает, что мощность импульса может достигать огромных величин – десятки пиковатт. Мощность в 1 ПВт равна суммарной мощности всех электростанций мира. Поэтому с открытием новых перестраиваемых лазерных сред возникло новое направление в квантовой электронике – сверхмощные фемтосекундные лазеры.

Для выращивания указанных кристаллов мы использовали метод Чохральского с индукционным нагревом. Выращивание осуществлялось из иридиевых тиглей в контролируемой атмосфере. Скорость вытягивания кристаллов составляла – 1,5–2,5 мм/час, скорость вращения кристаллов зависела от диаметра кристалла, температурных градиентов в расплаве, от формы фронта кристаллизации и была равной 20-70 оборотов в минуту. После выращивания кристаллы охлаждались в течение 24–36 часов.

Вырастить тот или иной кристалл не является большой проблемой, но получить качественный лазерный кристалл, суммарные оптические потери которого не превышали бы $0,001\text{см}^{-1}$, является довольно сложной задачей. В основном это связано с тем, что процесс получения кристаллов находится на стыке нескольких наук, таких как физическая химия, теплофизика, неорганическая химия, гидродинамика и других наук, каждая из которых оказывает свое влияние на процесс кристаллизации.

Каждое химическое соединение обладает своими свойствами, которые необходимо учитывать при проведении технологического процесса, но есть проблемы, которые являются общими для всех соединений. Одной из таких проблем является взаимодействие расплава с материалом тигля и с атмосферой, в которой проводится выращивание.

Главным источником загрязнения кристаллов материалом тигля является остаточный кислород, находящийся в зоне кристаллизации. Он возникает за счет термической диссоциации расплава, низкого вакуума, а также вносится в камеру с шихтой и утепляющей керамикой. Реакция образования мелкодисперсного иридия протекает в две стадии.



На первой стадии компактный иридий, из которого состоит тигель, окисляется до IrO_2 (1) и часть его улетает с поверхности расплава, оставшаяся часть разлагается на мелкодисперсный иридий и кислород (2). Мелкодисперсный иридий может захватываться растущим кристаллом, делая его непригодным для применения в лазерах. Мерами борьбы с образованием включений иридия в кристаллах являются: высокотемпературная прокатка исходных компонентов и керамики перед опытом, создание высокого вакуума в камере выращивания, создание на дне тигля зоны с пониженной температурой, в этой зоне будет адсорбироваться мелкодисперсный иридий и не будет захватываться растущим кристаллом.

Важной характеристикой качества лазерного излучения является искажение волнового фронта. Оно показывает насколько изменилась форма падающей волны, пройдя через кристалл. Причинами искажения фронта являются: полосчатое распределение примеси в поперечном сечении кристалла, термонапряжения структуры и мелкодисперсные включения иридия в кристалле. Все эти причины приводят к многократному изменению коэффи-

циента преломления структуры и значительному искажению волнового фронта, что снижает оптическое качество кристалла. Для уменьшения величины искажения волнового фронта мы применяли: «мягкий» отжиг кристаллов при высоких температурах, что способствовало снятию термических напряжений структуры; стабильное поддержание температуры расплава при выращивании кристаллов, что уменьшало примесную полосчатость; создавали условия выращивания, при которых примесь равномерно распределялась по длине кристалла.

В результате проведенных исследований нами была разработана технология получения лазерных кристаллов: $\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}$, $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Cr}^{4+}$, $\text{BeAl}_6\text{O}_{10}:\text{Cr}^{3+}$ высокого оптического качества, их суммарные оптические потери составляли $0,001\text{см}^{-1}$, искажение волнового фронта на длине кристалла – 120 мм было равным $0,5-0,7 \lambda$ ($\lambda=632,8\text{нм}$).

Наши кристаллы $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ использовались в европейском проекте, в установке для получения термоядерного синтеза.

Список литературы

1. T.Maiman, Nature 187(1960)493
2. J.E.Geusic et al., Yttrium gallium and gadolinium garnets. Appl.Phys. Lett. 4(10) (1964) 182.
3. P.Sorokin, M.J.Stevenson. Phys.Rev.Lett. 5(1960) 557.
4. В.Н. Матросов, Г.В. Букин, А.А.Годовиков. Способ получения монокристаллов. А.С. №607362, 1976, 5с.
5. V.Petrice, S.K.Gayen, R.R. Alfano et al. Appl.Phys.Lett., 1988, v.52, №13, p.1040-1042.
6. P.F. Multon. Ti-Doped Sapphire Tunable Solid-State Laser. "Optics News", 1982, vol.8, №6, p.9.
7. В.Н. Матросов, А.И. Алимбиев, Т.А. Матросова и другие. Фазовая диаграмма $\text{BeO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, выращивание и спектроскопические свойства кристаллов $\text{BeAl}_6\text{O}_{10}:\text{Cr}^{3+}$ (Ti^{3+} , Ni^{2+}). Тезисы докладов IX Национальной конференции по росту кристаллов 16-20 октября 2000г., Москва, с.53.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФОРМОЙ ФРОНТА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Матросов В.Н., Матросова Т.А., Пестряков Е.В.

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
info@solix-crystal.com*

Фронт кристаллизации (ФК) – это граница раздела двух фаз: жидкой (расплав) и твердой (кристалл), которая образуется при выращивании кристаллов. Все важные процессы формирования структуры кристалла происходят на этой границе, поэтому очень важно знать не только форму этой границы, но и целенаправленно управлять ею на протяжении всего технологического процесса выращивания кристалла. До недавнего времени считалось, что если на протяжении всего процесса поддерживать постоянным диаметр кристалла, то можно получить кристаллы высокого оптического качества. Были созданы системы, поддерживающие постоянным диаметр кристалла, но качество кристаллов не улучшилось. Дальнейшие исследования показали, что очень важно контролировать форму ФК и управлять ею. В процессе выращивания кристалла ФК может быть: выпуклым, плоским и вогнутым. В зависимости от формы ФК изменяется коэффициент распределения примеси в кристалле, что вызывает поперечную полосчатость. На примесных полосах изменяется коэффициент преломления среды, что приводит к увеличению искажения волнового фронта луча и уменьшению КПД лазера. Чтобы избавиться от примесных полос, необходимо на протяжении всего процесса выращивания ФК не изменять форму.