

Узкополосный александритовый лазер с внешним селективным резонатором

Ю.Н. Панченко¹, С.В. Алексеев¹, М.В. Андреев¹, А.В. Пучикин¹,
Д.М. Лубенко¹, С.М. Бобровников^{2,3}, Ю.М. Михайлов³

¹ Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

² Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Представлены результаты экспериментальных исследований параметров лазера на александрите. Показана возможность формирования узкополосного излучения с возможностью перестройки длины волны генерации в составном резонаторе, включающем в себя внешний селективный резонатор. Рассмотрены зависимости поведения выходной энергии излучения от длины резонатора и температуры александритового кристалла. Определены условия достижения энергии генерации 20 мДж при ширине спектральной линии 15 нм с плавной перестройкой длины волны генерации в спектральном диапазоне 730–780 нм.

Ключевые слова: александритовый лазер, узкополосное излучение, внешний селективный резонатор, дисперсионные элементы.

Введение

В настоящее время наиболее распространенным перестраиваемым источником когерентного излучения в ближнем ИК-диапазоне (~ 700–1000 нм) является лазер на кристалле Ti:Sapphire ($Ti^{3+}:Al_2O_3$) [1–3]. Однако сложность конструкции подобных систем ограничивает их практическое применение, что стимулирует поиск более простых и надежных решений.

Наиболее близким по спектральным характеристикам флуоресценции к кристаллу александрита ($Cr^{3+}:BeAl_2O_4$) является вибронный кристалл – Cr:LiCAF ($LiCaAlF_6:Cr^{3+}$). При этом александрит в случае применения высоких удельных мощностей накачки обладает рядом преимуществ, таких как более длительное время жизни верхнего лазерного уровня (~ 250 мкс), высокий порог лазерного разрушения (~ 270 Дж/см²), а также высокой теплопроводностью и механической прочностью. Однако сильно выраженная анизотропия и термозависимость кристалла александрита требуют решения ряда задач для обеспечения необходимых условий формирования высокоэнергетического когерентного лазерного излучения.

Известно, что для формирования узкополосного излучения с малой расходимостью в лазерах необходимо использовать дисперсионные резонаторы [4]. Наибольшее распространение получили схемы с использованием малоапертурных резонаторов, включающих в себя интерференционно-поляризационные фильтры и диафрагмы, обеспечивающие подавление высших мод [5]. Однако в этом случае формирующийся пучок снимает только малую долю запасенной энергии в активной среде, при этом также сужается спектральный диапазон перестройки линии генерации [6, 7]. Среди широкоапертурных резонаторов следует выделить использование неустойчивых резонаторов, что позволяет получить высокоэнергетический когерентный пучок, но при этом возникает сложность перестройки длины волны без ухудшения пространственной угловой направленности и эффективности генерации излучения. Введение дисперсионных элементов (призм, дифракционных решеток) в неустойчивый резонатор критически усложняет его юстировку и стабильность работы.

Именно эти фундаментальные компромиссы между качеством пучка, энергией генерации и простотой спектральной перестройки приводят к усложнению лазерной оптической схемы: создание маломощного задающего генератора (ЗГ) и последующее усиление его излучения в одном или нескольких каскадах усилителя. Такая схема «ЗГ + усилитель» позволяет реализовать физические условия по формированию излучения, но приводит к увеличению габаритов, стоимости, сложности синхронизации и обслуживания установки.

* Результаты получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2024-557 от 25.04.2024).