

7 - Оптика и спектроскопия

Мошиченко Сергей Дмитриевич, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Разработка инфракрасного ToF LIDAR

Клещенков Анатолий Борисович, к.ф.-м.н.
e-mail: su_fullback@mail.ru стр. 64

Трофимова Елена Сергеевна, аспирант 4 года обучения
Москва, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, НИИ ядерной
физики имени Д. В. Скобельцына МГУ, Физико-технологический институт

Люминесцентные свойства фосфатов, легированных редкоземельными ионами

Пустоваров Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н.
e-mail: trofimova.e.s@yandex.ru стр. 66

Разработка инфракрасного ToF LIDAR

Мошиченко Сергей Дмитриевич
Южный федеральный университет
Клещенков Анатолий Борисович, к.ф.-м.н.
su_fullback@mail.ru

LIDAR (Light Detection and Ranging) - активный лазерный дальномер оптического диапазона. Управляя направлением излучения LIDAR в режиме развёртки, можно получить набор точек рельефа поверхности, от которой отражаются импульсы, и расстояний до этих точек. LIDAR используется в таких областях как: исследование атмосферы, геодезия, топография, машинное зрение, строительство, архитектура.

Целями данной работы являются изучение физического принципа работы устройств LIDAR, изучение существующих методов реализации этих устройств, проектирование и создание такого устройства, экспериментальная проверка его работы.

LIDAR состоит из оптической системы и специальной схемы [1]. Оптическая система как правило представляет из себя две собирающие линзы (рис.1), расположенные перед лазерным диодом и фотодиодом.

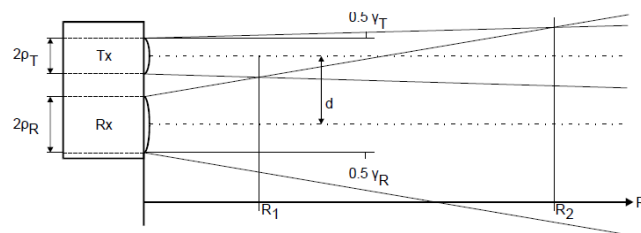


рис.1. Общий вид оптической системы LIDAR

Существуют несколько методов управления направлением лазерного луча LIDAR [2]: механический, микроэлектромеханический и метод оптической фазированной решётки.

Механический метод управления заключается во вращении системы зеркал, наклонённых таким образом, чтобы сформировать развёртку при прохождении по ним лазерного луча, исходящего от передатчика (рис.2). Этот метод является наиболее распространённым. Возможно подключение нескольких излучателей для покрытия всего окружения устройства. Серьёзными недостатками являются габариты и масса управляемого зеркала, а также повышенное энергопотребление всей системы.

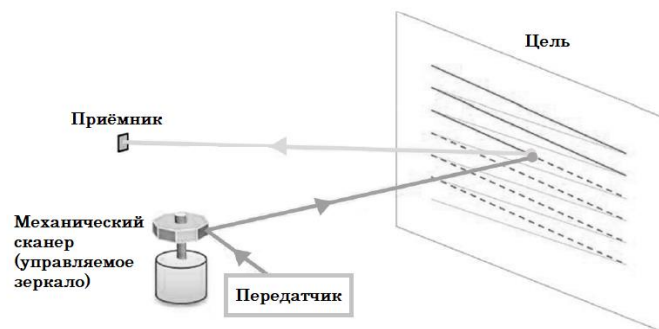


рис.2. Принцип работы сканирующего LIDAR на основе механического сканирования

Микроэлектромеханический метод управления заключается в управлении направлением лазерного луча при помощи малых зеркал с диаметром в несколько миллиметров. Эти зеркала направляются сервоприводами, управление которыми происходит с помощью микроконтроллера или иного цифрового устройства. В отличие от механического метода, возможно управление направлением по нескольким осям. Однако имеет место искажение изображения, связанное с непостоянной скоростью сканирования. Для минимизации этого эффекта необходимы сложные устройства, управляющие направлением зеркала.

Метод оптической фазированной решётки является аналогом фазированной решётки СВЧ диапазона. В результате изменения фазы когерентных источников, образующих решётку, происходит управление лучом, возникшем в результате интерференции излучений этих источников. Этот метод отличается от предыдущих отсутствием движущихся частей и повышенной скоростью сканирования. Однако, интенсивность излучения существующих оптических фазированных решёток не позволяет применять их для дальнего сканирования.

Устройство специальной схемы зависит от метода определения расстояния [3]: по времени пролёта (ToF) или по сдвигу фаз (AMCW). Для определения расстояния по времени пролёта используется таймер, измеряющий длительность промежутка времени между пиком напряжения на лазерном диоде и пиком напряжения на усилителе, подключённого к фотодиоду. Расстояние вычисляется по формуле:

$$R = \frac{c}{2} t_{of} \quad (1)$$

Для определения расстояния по сдвигу фаз используется таймер, тактирование которого происходит с внешнего источника. Промежуток времени, соответствующий сдвигу фаз между сигналом передатчика и сигналом приёмника, пересчитывается в сдвиг фаз. Зная эту величину и опорную частоту, можно определить расстояние до цели:

$$R = \frac{c}{2} \frac{\Delta\Phi}{2\pi f_M} \quad (2)$$

В разрабатываемом устройстве был применён метод определения расстояния по времени пролёта. Специальная схема осуществляет генерацию импульса, детектирование отражённого импульса и измерение интервала времени от фактического срабатывания лазерного диода до пика отражённого импульса. За управление направлением зеркала, управление генерацией импульсов, обработку и отправку результатов ToF внешнему устройству отвечает микроконтроллер (рис.3):

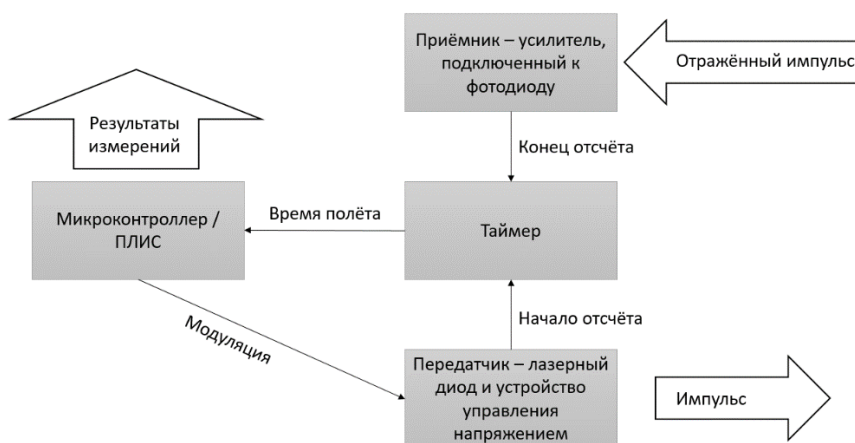


рис.3. Общий вид электрической схемы ToF LIDAR

Для обработки принципов построения был создан прототип ToF LIDAR. В созданном прототипе был реализован основной функционал для работы в режиме дальномера, а также реализована передача результатов измерений на внешнее устройство посредством интерфейса UART и последовательного порта USB. Была произведена настройка оптической системы для наилучшей фокусировки оптического импульса, получен устойчивый отклик на расстояниях до 10 метров. Полученное время полёта до статичной цели колебалось в пределах не более пятидесяти пикосекунд. Имел место постоянный сдвиг в сторону увеличения времени полёта в три наносекунды по сравнению с промежутком времени, измеренным осциллографом напрямую, связанный с особенностями распространения сигнала по печатной плате и обработки его различными устройствами схемы. За вычетом этого сдвига, рассчитанное расстояние соответствовало фактическому расстоянию с погрешностью 1.5 сантиметров.

Таким образом, разработанный прототип устройства ToF LIDAR позволяет довольно точно определять расстояния до статичной цели. Также были выявлены недостатки прототипа, в частности несовершенство оптической системы и высокий уровень электрических шумов, наводимых на сигнальную линию на плате. Исправление этих недостатков при разработке следующего варианта устройства позволит увеличить максимальную дальность и уменьшить погрешность измерения расстояния.

Список публикаций:

- [1] Rasshofer R.H., Spies M., Spies H. // *Adv. Radio Sci.* 2011. №9. С.52
- [2] Royol S., Ballesta M. // *Appl. Sci.* 2019. 9(19). 4093. С.9
- [3] Royol S., Ballesta M. // *Appl. Sci.* 2019. 9(19). 4093. С.3

Люминесцентные свойства фосфатов, легированных редкоземельными ионами Трофимова Елена Сергеевна

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,

НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобелыцына МГУ

Пустоваров Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н.

jabestylemna@gmail.com

Поиск новых материалов для быстрых сцинтилляторов привлекает всё больше внимания в связи с растущей потребностью в более эффективных сцинтилляционных детекторах ионизирующего излучения в различных областях применения, например, в медицинском оборудовании. В частности, в позитрон-эмиссионных томографах критически важной является такая характеристика как быстрое время затухания люминесценции.

Сцинтилляторы на основе материалов, легированных редкоземельными ионами (РЗИ), демонстрируют время затухания эмиссии порядка десятков наносекунд. Среди них особо выделяются материалы, активированные ионами Ce^{3+} , а также Pr^{3+} . Последний характеризуется временами затухания люминесценции в два-три раза короче, чем в ионах Ce^{3+} , введённых в такой же материал.

Среди материалов, удовлетворяющим этим требованиям, особое внимание привлекают фосфаты за счёт своих выдающихся физических и химических свойств. Тем не менее, имеются данные о значительном негативном влиянии дефектов в матрице как на время затухания люминесценции ионов Pr^{3+} в материале, так и на состав его спектра излучения. Природа таких дефектов не всегда ясна.

Цель работы – комплексное исследование и анализ спектров люминесценции кристаллов фосфатов, легированных РЗИ, для установления закономерностей переноса энергии от матрицы и дефектов – примесным ионам.

Так, на рис. 1 представлены спектры фотолюминесценции (ФЛ) $\text{LiSrPO}_4:\text{Pr}^{3+}$, со-легированных Na^+ , Mg^{2+} , Dy^{3+} , Sm^{3+} при возбуждении на длине волны излучения 300 нм. Было показано, что данная энергия возбуждения соответствует внутрицентровому возбуждению дефекта, предположительно являющегося центром окраски. Наблюдается перенос энергии как от центра окраски примесному иону Pr^{3+} , так и в обратном направлении. Последнее может влиять как на быструю $5d-4f$ люминесценцию иона Pr^{3+} в материале, так и на более медленные $4f-4f$ излучательные переходы данного иона, что проявляется в значительном проявлении последних в спектрах люминесценции материала.

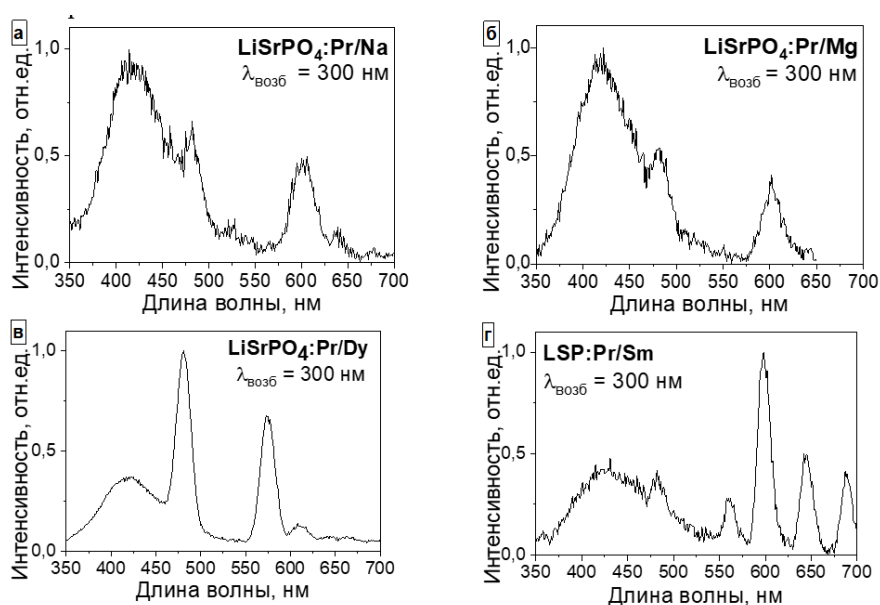


рис. 1. Спектры ФЛ LSP:Pr , LSP:Pr/Na , LSP:Pr/Mg , LSP:Pr/Dy , LSP:Pr/Sm , $\lambda_{\text{возб}} = 300 \text{ нм}$, $T = 5 \text{ К}$

Список публикаций:

- [1] Ivanovskikh K. V et al. // *J. Lumin.* 2021. Vol. 230. P. 117749.
- [2] Pustovarov V.A. et al. // *Radiat. Meas.* 2019. Vol. 123. P. 39–43
- [3] Trofimova E. et al. // *J. Lumin.* 2021. Vol. 240. P. 118455.