

- [3] Московская Ю.М. Общий методический подход к оценке радиационной стойкости БМК и полупроводниковых БИС на их основе. // *Наноиндустрия*. 2017, №1.
- [4] Рациональный состав типовой оценочной схемы для контроля радиационной стойкости партий пластин базовых матричных кристаллов / Московская Ю.М., Сорокоумов Г., Бобровский Д.В., Никифоров А.Ю., Денисов А.Н., Сницар В.Г., Жуков А.А., Уланова А.В. // *Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2016. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского*. М.: ИППМ РАН, 2016. Часть IV. С. 153-157.
- [5] Состав и принцип формирования типовой оценочной схемы для оценки радиационной стойкости базовых матричных кристаллов и полупроводниковых БИС на их основе / Московская Ю.М., Денисов А.Н., Федоров Р.А., Никифоров А.Ю., Уланова А.В., Бобровский Д.В. // *Наноиндустрия*. 2017, №1

## УСИЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕХОДАХ АТОМА НАТРИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ

*Петухов Тимофей Дмитриевич, Геннадий Сергеевич Евтушенко, Станислав Николаевич Торгаев, Евгений Николаевич Тельминов*

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»*

*Евтушенко Геннадий Сергеевич*  
[smileedition@gmail.com](mailto:smileedition@gmail.com)

В связи с развитием лазеров на парах щелочных металлов с диодной накачкой перспективно рассмотреть возможность применения такого типа лазеров в усилителях яркости изображения для неразрушающего контроля изделий.

В данной работе рассматривается механизм получения генерации в ячейке с парами натрия при продольной накачке лазером на красителе, меньшей длиной волны, чем переход из основного состояния в уровень  $D_2$ , что моделирует накачку лазерными диодами. Приводится расчет уширения линии излучения.

### 1. Схема эксперимента

Упрощенная схема переходов в спектре натрия и схема эксперимента представлены на Рис. 1, 2, соответственно. В работе использована ячейка с парами натрия, с длиной подогреваемой зоны 10.5 см и диаметром 2.6 см. Температура внешней стенки ячейки составляла 235-235 °С, давление буферного газа – гелия при рабочей температуре достигает 500 Торр (исходное давление 300 Торр). Накачка красителя Пиромитен 597 осуществлялась второй гармоникой Nd-YAG-лазера (532 нм).

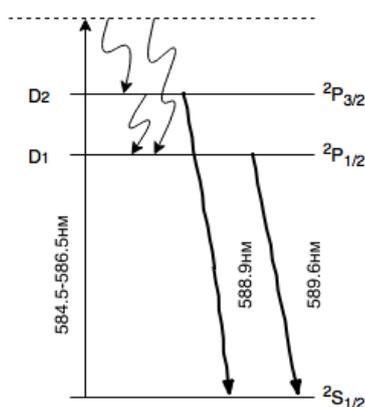


Рис. 1 Схема рабочих переходов натрия

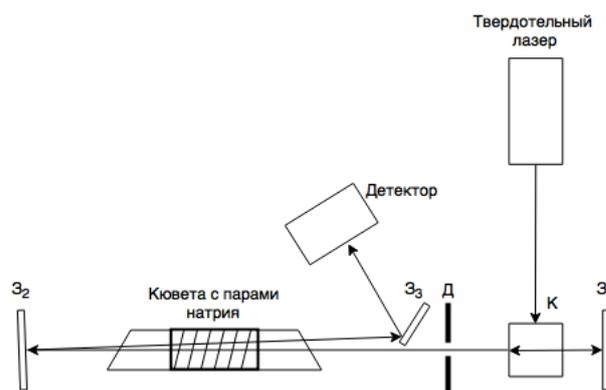


Рис. 2 Схема эксперимента

### 2. Результаты эксперимента

Излучения на линиях  $D_2$  и  $D_1$  натрия регистрировалось в основном на краю пятна прошедшего излучения накачки. Наилучшее регистрируемое соотношение интенсивностей линий накачки и линий натрия при различных энергиях накачки составило 1:1 при одном проходе излучения.

Регистрируемое двупроходное излучение характеризуется отношением интенсивности линии накачки к линиям натрия как 1:2 (Рис.3) Регистрируется излучение на обеих линиях  $D_2$  и  $D_1$  натрия.

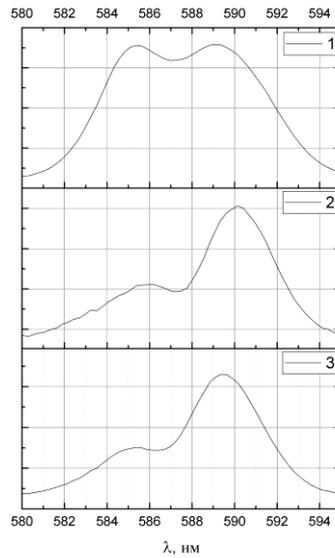


Рис. 3 – однопроходовое излучение, 2,3 – двухпроходовое излучение. Энергия импульса накачки 4.5 мДж.

Временные характеристики однопроходового излучения, полученные при различных температурах зарегистрированы полупроводниковым детектором (Thorlabs DET10A) представлены на Рис.4.

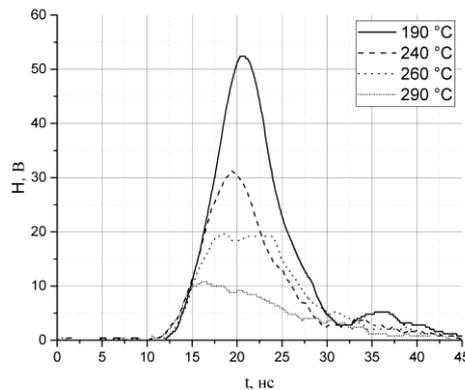


Рис. 4 Временные характеристики однопроходового излучения

Увеличение температуры – увеличение концентрации атомов натрия ведет к появлению спонтанного излучения на D-линиях при температурах 190-240°C. Затем при температуре 260°C отчетливо различается второй максимум что соответствует появлению усиленного спонтанного излучения на D-линиях. Дальнейшее увеличение температуры приводит к наибольшему поглощению как излучения накачки, так и собственного излучения среды.

### 3. Расчет полуширины линии излучения

Ниже приведен расчет полуширины линии излучения D<sub>1</sub> (589.6 нм). При расчете ширины линии излучения необходимо учесть, что среда находится под достаточно высоким давлением, а, следовательно, необходимо учитывать не только Доплеровское (тепловое) уширение линии, но и столкновительное. Получение результирующего уширения линии излучения возможно при использовании функции свертки (функцию Фойгта):

$$S(\lambda) = \frac{\Delta\nu_L}{\Delta\nu_D \cdot \pi^2} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{-z^2}}{\left( \left( \frac{\Delta\nu_L}{\Delta\nu_D} \cdot \sqrt{\ln(2)} \right)^2 + \left( \frac{c}{\lambda} - \nu_0 \right) \cdot 2 \cdot \sqrt{\ln(2)} - z \right)^2} dz$$

Результаты расчета контура линии D1 приведены на Рис. 5. Результирующее значение уширения линии излучения по полувысоте составляет  $\Delta\lambda=2.9\cdot 10^{-12}$  м.

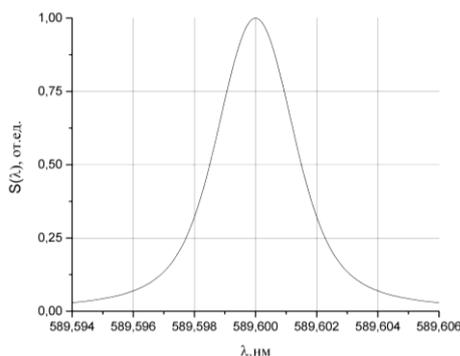


Рис.5 Контур линии D1 натрия

#### 4. Обобщение результатов и выводы

Результаты экспериментов показывают, что мы имеем дело с усилением спонтанного излучения на D-линиях натрия. Потому как наблюдается нелинейная зависимость интенсивности излучения на D-линиях от интенсивности накачки и укорочение фронта импульса, при появлении излучения на линиях натрия. Пороговая плотность мощности накачки при которой наблюдается регистрация ASE-излучения на D-линиях равна 2-3 МВт/см<sup>2</sup>, что соотносится с данными других авторов [1]. Для дальнейших оценок перспективности и возможности усилительных характеристик активных сред на парах щелочных металлов необходимо провести ряд экспериментов по измерению однопроходового усиления среды и ширины спектра излучения (и поглощения) на D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub> линиях.

Рассчитанная полуширина линии излучения 2.5 пм, оказывается одного порядка с полуширинами атомных линий на самограниченных переходах меди и других металлов, используемых в активных оптических системах (лазерном проекционном микроскопе и лазерном мониторе) [2].

Авторы выражают благодарность Суханову В.Б., Солодовой Т.А. и Соковику В.Г. за помощь при подготовке экспериментов и обсуждение результатов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

Список литературы:

- [5] Markov, R.V., Plekhanov, A.I. & Shalagin, A.M. 2001, "Population inversion on transitions to the ground state of atoms upon nonresonance absorption of laser radiation", *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, vol. 93, no. 5, pp. 1028-1034.
- [6] Evtushenko G.S. From a metal vapor laser projection microscope to a laser monitor (by the 50 year-anniversary of metal vapor lasers). // *Proc. of International Conference on Atomic and Molecular Pulsed Lasers (AMPL-2015) Tomsk, Russian Federation, September, December 15, 2015, Eds. Victor F. Tarasenko and Andrey M. Kabanov Proc. of SPIE, Volume 9810, pp. 98101F1-98101F-9.*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОГО РЕЖИМА БЕТАТРОНА МИБ-7.5/4

*Затонов Иван Андреевич, Штейн Михаил Михайлович*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Штейн Михаил Михайлович*

*E-mail [ivan.zatonov@yandex.ru](mailto:ivan.zatonov@yandex.ru)*

Основной проблемой при увеличении частоты циклов ускорения бетатрона является его перегрев. Как показали многочисленные предыдущие исследования, наибольшая температура имеет место в центральной части электромагнита бетатрона, где расположены магнитные шунты, обмотки смещения и контрактора а также ускорительная трубка. Особенности конструкции бетатрона затрудняют эффективный отвод тепла от центра электромагнита путем вентиляции или другими известными способами охлаждения. Отвод тепла осуществляется, в основном, за счет теплопроводности, что требует высокого градиента температур и, следовательно, приводит к перегреву центра электромагнита.

Для оценки возможности повышения частоты бетатрона МИБ-7,5/4, который сейчас эксплуатируется на частоте 300 Гц, были сняты температуры в нескольких точках центральной части электромагнита. Была