

УФ-ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ СУБДОПЛЕРОВСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АТОМОВ МАГНИЯ

✉ О. А. Трунова¹, А. Н. Гончаров^{1,2,3}

¹ *Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*

² *Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

³ *Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

✉ pieshkup@gmail.com

Атомы магния представляют большой интерес для создания оптического стандарта частоты [1]. Они обладают рядом преимуществ, таких как простая структура энергетических уровней, позволяющая разработать высокоточную релятивистскую модель, что приводит к более точным значениям сдвигов, а также малый сдвиг из-за излучения черного тела (BBR). Кроме того, замкнутый охлаждающий переход $3^1S_0 \rightarrow 3^1P_1$ обеспечивает сильное циклическое взаимодействие с полем.

Для достижения относительной нестабильности частоты на уровне 10^{-16} – 10^{-18} необходимо глубокое охлаждение атомов до температуры 1–10 мкК и их локализация в пространстве по размеру меньше длины волны. Такая локализация приводит к возникновению режима Лэмба — Дикке, который полностью устраняет влияние линейного эффекта Доплера и эффекта отдачи на сдвиг частоты часового перехода [2].

Чтобы достичь субдоплеровскую температуру, охлаждения на переходе $3^1S_0 \rightarrow 3^1P_1$ не достаточно. Для этого можно использовать переход $3^3P_2 \rightarrow 3^3D_3$ на длине волны 383,82 нм [3]. При охлаждении на данном переходе существует вероятность ухода атомов магния в нерезонансные состояния 3^3D_1 и 3^3D_2 . Для решения этой проблемы требуется дополнительное лазерное излучение с длиной волны 383,23 нм, соответствующее переходу $3^3P_1 \rightarrow 3^3D_2$. Также может быть применен переход $3^3P_0 \rightarrow 3^3D_1$ с длиной волны 382,94 нм.

Основой для двух источников излучения являются полупроводниковые лазеры с длиной волны 766 нм и полупроводниковые лазерные усилители, используемые для увеличения мощности излучения (рис. 1), подробно описанные в статье [4]. Максимальная мощность излучения на выходе первого усилителя составила 1,2 Вт, на выходе второго — 1,1 Вт.

Стабилизация частоты двух лазерных систем производилась относительно одного внешнего высокодобротного резонатора по методу Паунда — Древера — Холла, а стабилизация частоты излучения обеих лазерных систем — путем «привязки» к максимуму пропускания интерферометра с помощью системы автоматической подстройки. Разделение сигналов достигалось за счет разной частоты модуляции 20 и 22 МГц для первой и второй лазерной системы соответственно, которая осуществлялась соответствующей модуляцией тока диодных лазеров.

Лазерное излучение на длине волны 383,82 нм было получено путем генерации второй гармоники в нелинейном кристалле ВiVO. Для увеличения мощности кристалл помещался в кольцевой резонатор. Во втором случае, чтобы получить излучение с длиной волны 383,23 нм, использовался нелинейный кристалл ВVO, который устанавливался в аналогичный кольцевой резонатор для увеличения мощности второй гармоники. Максимальная мощность излучения с длиной волны 383,82 нм составила 30 мВт, а для излучения с длиной волны 383,23 нм —

35 мВт (рис. 2). Можно увидеть, что для двух кристаллов были получены соизмеримые результаты.

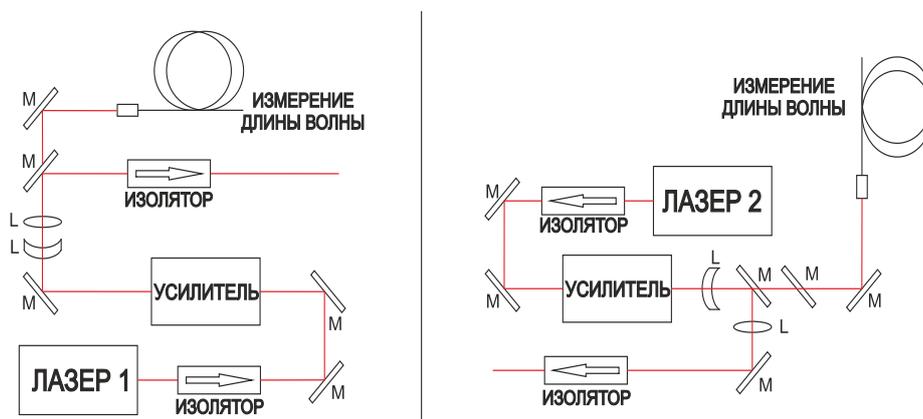


Рис. 1. Оптическая схема двух источников излучения с длиной волны 766 нм

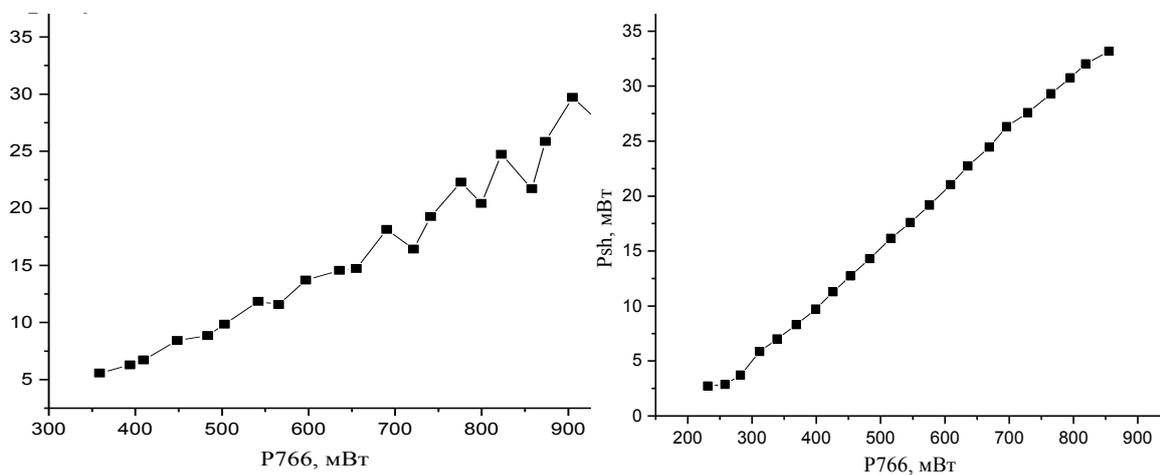


Рис. 2. Экспериментальная зависимость мощности второй гармоники первой и второй лазерной системы от входящей мощности

Для управления мощностью УФ-излучения в целях проведения экспериментов по спектроскопии в магнитооптической ловушке (МОЛ) использовались акустооптические модуляторы. Излучение с длинами волн 383,82 и 383,23 нм от обеих лазерных систем заводилось в оптоволокно для дальнейшего применения в экспериментах по взаимодействию лазерного излучения с атомами магния в МОЛ. Важно провести оценку интенсивности лазерного излучения на выходе из оптоволокна. Для первого источника излучения она составила 75 мВт/см², для второго — 50 мВт/см². Этих значений достаточно для проведения экспериментов по спектроскопии на переходах $3^3P_2 \rightarrow 3^3D_3$ и $3^3P_1 \rightarrow 3^3D_2$.

Список литературы

1. Goncharov A. N. Laser frequency stabilization on narrow resonances of cold magnesium atoms at the S-1(0) — P-3(1) transition // Quantum Electron. 2018. Vol. 48 (5). P. 410–414.

2. Hidetoshi Katori, Masao Takamoto, Pal'chikov V. G., Ovsianikov V. D. Ultrastable Optical Clock with Neutral Atoms in an Engineered Light Shift Trap // Phys. Rev. Lett. 2003. Vol. 91. P. 173005.

3. Prudnikov O. N., Brazhnikov D. V., Taichenachev A. V. et al. Quantum treatment of two-stage sub-Doppler laser cooling of magnesium atoms // Phys. Rev. A. 2015. Vol. 92 (6). P. 063413.

4. Goncharov A. N., Klimacheva O. A., Mel'nikova A. O. Study of saturated-absorption resonances on the $3P_{0,1,2} - 3D_{1,2,3}$ transitions of magnesium atoms in a hollow-cathode discharge cell // Quantum Electron. 2020. Vol. 50. P. 6.