

Ток коррозии покрытий, полученных на постоянном токе составляет 0,063-0,084 г/ч·м<sup>2</sup>, при использовании реверсированного тока коррозионная стойкость возрастает в 2-2,5 раза за счет существенного снижения пористости осадков, замедляется образование нитевидных кристаллов на покрытии.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность использования реверсированного тока для формирования электрохимических покрытий сплавом олово-висмут, так как это позволяет интенсифицировать технологический процесс и формировать гладкие, мелкокристаллические покрытия с низкой пористостью и контактным электросопротивлением, высокими защитными свойствами и паяемостью, сохраняющейся длительное время.

УДК: 621.375.826

### МИКРОЧИП-ЛАЗЕР НА КРИСТАЛЛЕ Tm,Ho:KY(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Курильчик С.В.<sup>1</sup>, Кисель В.Э.<sup>1</sup>, Ясюкевич А.С.<sup>1</sup>, Гусакова Н.В.<sup>1</sup>, Кулешов Н.В.<sup>1</sup>, Гапоненко М.С.<sup>2</sup>, Павлюк А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИЦ оптических материалов и технологий БНТУ, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Университет Невшателя, Невшатель, Швейцария

<sup>3</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

Интерес к разработке эффективных и компактных источников лазерного излучения, работающих в спектральной области 2 мкм, обусловлен широким рядом возможных применений в медицине и производстве коммерческих и военных оптоэлектронных систем [1]. Такое излучение является относительно безопасным для глаз, хорошо поглощается молекулами воды и многими атмосферными газами (NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и др.) [2], что обуславливает возможность их использования в обработке материалов, дальнометрии, дистанционном зондировании и т.п. Высокое поглощение водой определяет малую глубину проникновения излучения в биологическую ткань, что используется в хирургии, стоматологии, офтальмологии, урологии [3].

Лазерное излучение на длинах волн около 2 мкм может быть получено с использованием материалов, активированные трехвалентными ионами тулия (Tm<sup>3+</sup>) или гольмия (Ho<sup>3+</sup>). Гольмиевые среды, как правило, характеризуются более высокими сечениями стимулированного излучения и используются для получения импульсного излучения в режиме модуляции добротности. Кроме того, гольмийсодержащие среды излучают в более длинноволновой области спектра, что является важным для применений в лидарных системах и приборах мониторинга загрязнений атмосферы. Недостатком гольмиевых лазеров является необходимость использования для накачки излучения спектральной области 1,9 мкм, в которой отсутствуют коммерчески

1. Киреев, А.Ю. Технологии формирования покрытий изделий приборостроения висмутом, оловом и сплавом олово-цинк / А.Ю. Киреев: Дис. ... канд. техн. наук : 05.11.14, 05.17.03 : Москва, 2009 125 с. 2.
2. Гиро, А.М. Лабораторный программно-управляемый источник импульсного тока / А.М. Гиро, А.А. Глушков, С.А. Яцкевич // Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий: материалы докладов республиканского научно-технического семинара. – Минск: БГТУ, 2011. – С. 88-91.
3. Костин, Н.А. Импульсный электролиз / Н.А. Костин, В.С. Кублановский – Киев, Навук. думка, 1996. – 207 с.

доступные лазерные диоды. Выход был найден в сенсбилизации гольмиевых материалов ионами тулия, имеющими полосу сильного поглощения в области 800 нм, в которой излучают широко доступные и недорогие лазерные диоды на структуре AlGaAs. Схемы энергетических уровней ионов Tm<sup>3+</sup> и Ho<sup>3+</sup> представлены на рисунке 1, на котором иллюстративно показан принцип получения излучения в области 2 мкм. В результате поглощения одного фотона на длине волны около 800 нм ион тулия переходит из основного состояния <sup>3</sup>H<sub>6</sub> на уровень <sup>3</sup>H<sub>4</sub>. Последующий кросс-релаксационный процесс взаимодействия в невозбужденном ионе тулия приводит к образованию двух ионов с энергией, соответствующей уровню <sup>3</sup>F<sub>4</sub>.

Вследствие близости энергий уровней <sup>3</sup>F<sub>4</sub> тулия и <sup>5</sup>I<sub>7</sub> гольмия имеет место эффективный безызлучательный перенос энергии от ионов Tm<sup>3+</sup> к ионам Ho<sup>3+</sup> с заселением уровня <sup>5</sup>I<sub>7</sub>, с которого затем происходит переход на основное состояние гольмия <sup>5</sup>I<sub>8</sub> с излучением фотона на длинах волн 2,0 – 2,1 мкм.

В литературе ранее сообщалось о получении лазерной генерации на кристалле калий-иттриевого вольфрамата, активированного ионами тулия и гольмия – Tm,Ho:KY(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, при накачке лазером на сапфире с титаном в непрерывном режиме [4] и режиме пассивной синхронизации мод (ПСМ) [5]. В непрерывном режиме была достигнута высокая эффективность генерации на уровне 44%. Импульсы длительностью 570 фс



4. Optical spectroscopy and efficient continuous-wave operation near 2  $\mu\text{m}$  for a Tm,Ho:KYW laser crystal / A.A. Lagatsky, F. Fusari, S.V. Kurilchik, V.E. Kisel, A.S. Yasukevich, N.V. Kuleshov, A.A. Pavlyuk, C.T.A. Brown, W. Sibbett // Appl. Phys. B. 2009. – Vol. 97, №2. – P. 321-326.
5. Femtosecond pulse operation of a Tm,Ho-codoped crystalline laser near 2  $\mu\text{m}$  / A. A. Lagatsky, F. Fusari, S. Calvez, S. V. Kurilchik, V. E. Kisel, N. V. Kuleshov, M. D. Dawson, C. T. A. Brown, and W. Sibbett // Optics Letters. – 2010. Vol. 35, №2. – P. 172 – 174.
6. Thermal lensing and microchip laser performance of Ng-cut Tm<sup>3+</sup>:KY(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> crystal / M.S. Gaponenko, P.A. Loiko, N.V. Gusakova, K.V. Yumashev, N.V. Kuleshov, A.A. Pavlyuk // Appl Phys B. – 2012. Vol. 108. – P. 603–607.

УДК 612.424.4/615.82

## ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРОМ МОДУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИОННЫХ ТОКОВ

Лабунь Е.И., Киселев М.Г.

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

С целью повышения эффективности выполнения процедуры электростимуляции авторами [1] предложено осуществлять ее с использованием массажера ударно – фрикционного действия. В этом случае массажер подключается к персональному компьютеру с программным обеспечением для генерации и регистрации импульсных токов SpectraPro и блоку питания; для усиления импульсных токов применяется усилитель. На вращающемся валу массажера неподвижно посажена насадка, в которой консольно закреплены кожаные лопасти. На их свободных концах предусмотрены электроды, выполненные в виде легких металлических заклепок, питание которых обеспечивается с помощью токосъемного устройства. Второй электрод неподвижно закрепляется на теле пациента. При вращении лопасти прерывисто механически воздействуют на поверхность тела пациента, обеспечивая, с одной стороны, их массажное влияние, а с другой – изменяют режим протекания процесса электростимуляции за счет периодического прерывания электрической цепи между электродами.

На рисунке 1 показан экспериментальный комплекс, примененный в исследованиях. На станине 8 располагаются регулируемые подставки 9, на которые волонтер помещает руку 1 на которой жгутом фиксируется первый электрод 10 в области головки мышцы. К мышце с помощью магнитной стойки 3 подводится электромагнит со вторым электродом 2. Частота колебаний электромагнита регулируется при помощи генератора 5. Генерация электростимуляционных импульсных токов на электродах и их регистрация обеспечивается при помощи ПК 7 и специализированного ПО, а также звуковой карты 4 и усилителя 6. Благодаря оригинальной конструкции электромагнита, обеспечивается сообщать электрод колебательные смещения как в верти-

кальной, так и горизонтальной плоскостях, что, соответственно, воспроизводит ударное и фрикционное виды взаимодействия с поверхностью кожи человека.

Методика проведения экспериментов включала в себя последовательное выполнение следующих действий. Рука волонтера располагалась на регулируемых подставках в определенном положении, удобном для осуществлении процедуры, при этом тыльная сторона руки была направлена вверх, кисть расслаблена. В области головки мышцы локтевого сгибателя кисти фиксировался первый электрод. Второй электрод, смонтированный на электромагните, с помощью магнитной стойки подводился к зоне иннервации локтевого нерва таким образом, чтобы обеспечивался электрический контакт через тело волонтера между электродами в свободном положении электромагнита. Далее на электроды подавался импульсный ток синусоидальной формы с частотой 1 кГц. Согласно [2] электроды смачивались 10% раствором хлорида натрия для обеспечения наилучшего режима электроконтакта. Напряжение доводилось до уровня, соответствующего пороговому уровню мышечного сокращения (15-30В в зависимости от субъективных параметров волонтеров). После этого включался генератор колебаний электромагнита, генерирующий колебания с частотой 22-30 Гц для режима фрикционного воздействия, а затем и для ударного соответственно.

На рисунке 2 приведены импульсы, формы которых были получены при фрикционном воздействии (рисунок 3 – А), ударном (рисунок 5 – Б) и при использовании массажера ударно-фрикционного действия (рисунок 5 – В) с частотой вращения насадки  $N=200 \text{ мин}^{-1}$ , расстояние от поверхности тела до оси вращения насадки составляло 65 мм.