

- С другой стороны микроскопические модели и макроскопические модели могут взаимно дополнять друг друга входными данными, что делает их использование более гибким и менее затратным с точки зрения сбора статистических данных.
- DSS для транспортного планирования, построенная на базе имитационных моделей, позволяет улучшить эффективность процесса принятия решений в транспортном планировании с помощью поддержки решений на всех его фазах.
- Примеры использования макроскопических моделей можно найти в [10,11,12], а примеры микроскопических моделей - в [13].

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. [http://www.its.dot.gov/icms/docs/knowledgebase/html/news\\_winter08.htm](http://www.its.dot.gov/icms/docs/knowledgebase/html/news_winter08.htm)
2. Kutz M. "Handbook of transportation engineering", McGraw-Hill Professional. 2004. – 1000 p.
3. Burghout W. "Hybrid microscopic-mesoscopic traffic simulation" Doctoral Dissertation Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2004.
4. Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen. Transport Modelling. 3-rd edition. – Wiley: NY, 2005. – 499 p.
5. Vortisch P. "Use of PTV software in the traffic management center (VMZ) Berlin: Presentation on 11<sup>th</sup> PTV user's group meeting" Berlin, 2001.
6. <http://www.english.ptv.de>, Официальный сайт компании PTV

7. План развития Риги на 2006–2018 год – [http://www.rdpad.lv/att\\_plan\\_izpetes/](http://www.rdpad.lv/att_plan_izpetes/)
8. I.Yatskiv, E.Yurshevich, M.Savrasov. "Practical aspects of modelling in the transport node reconstruction in Riga", 23<sup>st</sup> European Conference on Modelling and Simulation (ECMS 2009), 2009. – Madrid, Spain. – P. 295–300.
9. ICU2003 <http://www.trafficware.com/assets/pdfs/ICU2003.pdf>
10. I, Yatskiv, M. Savrasov "Riga-Minsk transport corridor simulation model development". 9<sup>th</sup> International Conference, Reliability and Statistics in Transportation and Communication, 2009.-394-403 lpp.
11. M.Savrasovs, "Development of Liepaja city macroscopic model for decision-making". Transport and Telecommunication, 2007, Volume 8, No 2. – P. 38–46.
12. I.Yatskiv, A. Medvedev, M. Savrasov. "Analysis and Forecast of the Urban Public Transport Flow in Jurmala City". 7<sup>th</sup> International Conference, Reliability and Statistics in Transportation and Communication, 2007. – P. 79–93.
13. I.Yatskiv, E.Yurshevich, M.Savrasov. "Investigation of Riga Transport Node Capacity on the Basis of Microscopic Simulation", 21<sup>st</sup> European Conference on Modelling and Simulation (ECMS 2007), 2007, Prague, Czech Republic. – P. 584–589.

Материал поступил в редакцию 05.11.09

#### YACKIV IRINA, SAVRASOV MICHAEL, YURSHEVICH ELENA Use of transport models during support acceptance of the decisions

In the article examples of using different transport model classes in the process of decision making in townbuilding were presented. Presence of several model classes allows to cover all levels of decision making from operational to strategic level. In the result of using these models one could take a decision on the base of qualitative and quantitative modeling results, which should elevate quality and effectiveness of accepted decisions.

УДК 539.293

**Паращук В.В., Беляева А.К., Баранов В.В., Телеш Е.В., Русаков К.И.,  
Vu Doan Mien, Vu Van Luc, Pham Van Truong**

## ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОАДГЕЗИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МОЩНЫХ ДИОДНЫХ ЛАЗЕРОВ

**Введение.** Мощные лазерные диоды и лазерные диодные решетки (линейки), излучающие световую мощность от единиц до десятков и сотен ватт в непрерывном режиме, требуют интенсивного отведения тепла от активной области полупроводниковой гетероструктуры. Как показано в настоящей работе, в качестве эффективных теплоотводящих оснований для лазерных диодов могут быть использованы кристаллы алмаза – как природного, так и синтетического. Теплопроводность алмаза принадлежит к его наиболее выдающимся свойствам и в несколько раз превышает теплопроводность всех других твердых материалов – металлов, полупроводников и диэлектриков [1, 2], в том числе меди, которая наиболее часто используется для монтажа лазерных диодов. При этом использование синтетических монокристаллов алмаза предпочтительнее природных ввиду их меньшей стоимости при тех же процессах обработки. Ранее сообщалось о перспективности алмазных технологий для

других полупроводниковых приборов [3, 4].

Вместе с тем, сверхтвердые материалы, к которым относится алмаз, представляют собой вещества с устойчивыми электронными конфигурациями атомов, химически инертные по отношению к большинству металлов и припоев. В качестве компонентов, обладающих адгезионной активностью к алмазу, должны использоваться металлы с высоким химическим сродством к углероду, причем предпочтительнее такие, которые образуют с этим элементом соединения, обладающие "металлической" межатомными связями и металлическими свойствами (хром, титан, ниобий, цирконий, тантал, молибден, вольфрам). Разработка технологии создания высокоадгезионных металлических покрытий алмаза представляет собой важную проблему, во многом еще не решенную.

Согласно данным наших предварительных исследований, эффективность алмазных теплоотводящих оснований (АТО) определя-

**Паращук Валентин Владимирович**, ведущий научный сотрудник Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси.

**Беляева Ада Казимировна**, научный сотрудник Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси.

Беларусь, 220072, г. Минск, пр. Независимости, 68, e-mail: v\_shchuka@rambler.ru.

**Баранов Валентин Владимирович**, д.т.н., профессор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Телеш Евгений Владимирович**, преподаватель Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Беларусь, БГУиР, 22013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6.

**Русаков Константин Иванович**, профессор кафедры физики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

**Vu Doan Mien**, к.ф.-м.н. (Ph.D), доцент (assoc. prof.), заведующий лабораторией полупроводниковых лазеров (Head of Laboratory of semiconductor lasers), Institute of Materials Science, Vietnamese Academy of Science and Technology, Hanoi.

**Vu Van Luc**, к.ф.-м.н. (Ph.Sc.), ведущий научный сотрудник, доцент (assoc. prof.), Institute of Materials Science, Vietnamese Academy of Science and Technology, Hanoi.

**Pham Van Truong**, научный сотрудник лаборатории полупроводниковых лазеров (scientist), Institute of Materials Science, Vietnamese Academy of Science and Technology, Hanoi.

ется не только высокой степенью адгезии металлического покрытия АТО, но и достаточной величиной его электрической проводимости, не вызывающей существенного джоулевого нагрева основания. Однако, как оказалось, одновременное удовлетворение этих условий противоречиво, так как требуемая степень адгезии покрытия достигается при толщинах  $d \leq 0,1$  мкм, а хорошая проводимость – при  $d > 0,1$  мкм и требуется поиск компромиссных решений. Кроме того, необходима однородность адгезии по отношению ко всем основным поверхностям основания – монтажной, посадочной (противоположной монтажной) и боковым, которые обеспечивают электрическую связь первых двух поверхностей при минимальном удельном сопротивлении металлического покрытия. Так, в наших первоначальных опытах было установлено, что химический метод осаждения никеля обеспечивает наивысшую степень адгезии покрытия АТО по сравнению с другими методами, однако при этом требуемая степень однородности не достигалась. Данное явление объяснялось различием физических свойств указанных поверхностей и ростовыми особенностями используемых кристаллов. В дальнейшем этот метод был усовершенствован с применением дополнительной обработки (очистки и активации) поверхностей и успешно апробирован на примере кубического нитрида бора (сNB) – перспективного, как оказалось, аналога алмаза применительно к нашим целям. Вопросы применения сNB в сравнении с АТО, их преимущества и недостатки предполагается рассмотреть отдельно.

Настоящая работа посвящена оптимизации процесса металлизации АТО на основе природных и искусственных алмазов (моно- и поликристаллов) путем испытания и сравнения различных методов и условий нанесения титан-никелевых (Ti-Ni) покрытий. При этом достигнуто однородное высокоадгезионное металлическое покрытие алмазных оснований с требуемым низким удельным сопротивлением по отношению ко всем экспонируемым поверхностям. Похожие результаты получены также для систем Ti-Al-Ni и Cr-Ni-Ni.

Формирования металлических покрытий алмазных теплоотводящих оснований и процесс сборки лазера. Разработанные нами вакуумные методы формирования металлических покрытий с высокой адгезией к различным поверхностям основаны на применении многофункциональных ионно-лучевых и магнетронных распылительных систем, а также сплавов внедрения с высоким средством к углероду в качестве адгезионных слоёв [5].

Согласно этой методике, металлизацию алмазного теплоотводящего основания выполняют ионно-лучевым напылением с предварительной очисткой пучком ионов аргона в едином (непрерывном) цикле, в условиях безмасляной откачки рабочего вакуума при нагреве основания до температуры  $T = 200\text{--}350^\circ\text{C}$ , по крайней мере, на двух рабочих поверхностях и одной боковой, формируют Ti-Ni металлические слои толщиной соответственно ~ 20 и 300 нм, с последующим наращиванием слоя никеля до толщины 0,2–0,3 мкм (контактный слой) и термическим отжигом в вакууме, либо без него, при  $T = 400\text{--}450^\circ\text{C}$  в течение времени  $t = 30\text{--}40$  мин. Затем присоединяют АТО к массивному (металлическому) теплоотводу путем напайки высокотемпературным композиционным припоем типа ПОС-61 в восстановительной среде (сухой очищенный водород  $\text{H}_2$ ). Композиционный припой наносят на посадочную поверхность алмазного теплоотвода методом вакуумного терморезистивного напыления или иным способом (толщина слоя 4–6 мкм). После этого на монтажную поверхность теплоотвода наносят тем же способом слой индия толщиной 3–5 мкм, с использованием микроскопа выполняют позиционирование активного элемента – единичного лазерного диода или линейки в виде полоски длиной  $L$  с заданной точностью в рабочей области монтажной поверхности.

Полученную структуру помещают в специальную кассету и загружают в кварцевую камеру (реактор) печи и осуществляют припайку в восстановительной среде в динамическом режиме с временем нагрева/охлаждения  $t = 3\text{--}5$  мин при температуре  $T_{\text{max}} \geq T_{\text{ликв}} + (50\text{--}70)^\circ\text{C}$ , где  $T_{\text{ликв}}$  – температура ликвидуса материала ( $T_{\text{ликв}} \approx 190^\circ\text{C}$  для ПОС-61,  $156,8^\circ\text{C}$  для In). Конструкция кассеты позволяет осуществлять процесс вплавления как в условиях заданной механической нагрузки, так и без нее. При этом соблюдают минимальный технологический перерыв между основными операциями

сборки лазера – не более 1 часа, а также необходимые микроклиматические условия. Процесс сборки завершился присоединением к гетероструктуре путем ультразвуковой сварки контактных проводов, размещением системы при необходимости в стандартном корпусе, закрепляемом в радиаторе.

После металлизации АТО контролировались качество его покрытия (степень адгезии, однородность), электропроводность и тепловые характеристики – тепловое сопротивление и теплопроводность – как визуально, так и с использованием микроскопа путем демонтажирования соединяемых элементов и испытанием адгезии по усилию отрыва (метод "нормального отрыва", стендовый динамометр) или способом "царапания" (микроскопы МИМ-7, МИИ-4).

**Влияние технологических условий сборки лазерных диодных структур на их основные характеристики.** С целью изготовления АТО для диодных лазеров (ЛД) использовались монокристаллы синтетического алмаза типа МСТМ «Алмазот», выращенные методом температурного градиента из раствора углерода в расплаве металла при высоких давлении и температуре. Кристаллы вырезались по плоской сетке куба усеченного октаэдра и имели размеры ~ 1,5×1,5×0,3 мм. Полировка АТО осуществлялась с доведением шероховатости поверхности до значений 2,8–12,8 нм. В отдельных случаях использовались природные алмазные образцы, а также поликристаллические синтетические алмазные основания, выращенные модифицированным CVD методом, с размерами ~ 12×2,5×0,3 мм, а также меньших размеров, - впрессованные в медные теплоотводы и допускающие обработку всего одной или двух поверхностей.

Для возбуждения диодных лазеров в непрерывном режиме использовался источник типа LDC-8-01 с точностью установки амплитуды тока ~1 мА. В качестве источника импульсов тока для мощных диодных линеек (ЛДЛ) служил генератор, вырабатывающий сигнал амплитудой до  $200 \pm 2$  А, длительностью до ~ 10 мс и частотой следования до ~ 100 Гц. Мощность (энергия) излучения фиксировалась измерителем класса Coherent FM со сменными головками. При необходимости осуществлялась регистрация спектров излучения при помощи установки на базе монохроматора типа МДР-23 и CCD-камеры типа Sony ILX512, сопряженной с компьютером и спектральным разрешением ~ 0,3 Å. Теплопроводность алмазных оснований оценивалась путем исследования теплопереноса через образец на установке типа УКТ-3 или методом релаксации тепловых решеток на лазерном терморелаксметре ЛТР 266-01 до и после процесса металлизации с точностью ~20%.

**а) Теплоотводящие основания из природного алмаза.** В процессе сборки на начальном этапе использовались теплоотводы из природного алмаза и лазерные диоды на основе InGaAs/AlGaAs гетероструктур с квантовой ямой и шириной полоскового контакта ~ 100 мкм. АТО имели коэффициент теплопроводности ~1400 Вт/м·К, их размеры соответствовали оптимальным с точки зрения результатов моделирования в них тепловых процессов [6].

Исследовалась зависимость мощности излучения, генерируемого лазерным диодом в непрерывном режиме, от тока накачки ( $I$ ) в широком диапазоне – вплоть до полной деградации (рис. 1). Характеристики инжекционных лазеров, собранных с применением алмазных оснований, сравнивались с параметрами приборов, собранных при тех же условиях непосредственно на медном хладапроводе. При этом зеркала резонатора формировались путем естественного скола граней кристалла (без напыления диэлектрических зеркал).

Как видно из данных измерений, в целом лазерные диоды с АТО деградируют при более высоких уровнях накачки. Наблюдаемый определенный разброс данных, по-видимому, связан с разбросом адгезионных свойств пленочных покрытий АТО, зависящих от используемого процесса металлизации и влияющих на тепловое сопротивление прибора ( $R_T$ ). При этом имеет место снижение величины  $R_T$  в среднем не менее чем на ~ 30% (до ~ 3 К/Вт) в случае алмазной подложки при оптимизированной технологии сборки. Этот факт объясняется более высокой эффективностью алмазных теплоотводов по сравнению с медными вследствие значительно большей интенсивности процессов теплообмена, осуществляемых в первом

случае [6]. Согласно данным [3, 4], в этих условиях максимальное снижение теплового сопротивления для мощных транзисторов может достигать 2,5 раз.

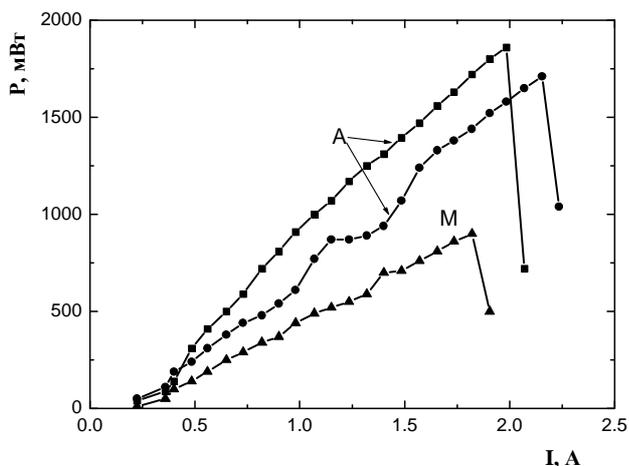


Рис. 1. Ваттамперные характеристики лазерных диодов, собранных на алмазных основаниях (А) и на медных хладопроводах (М)

Последовательное применение технологических операций, оптимизирующих в целом процесс сборки лазерных диодов на АТО (использование высокотемпературного твердого припоя типа ПОС-61 вместо индиевого, отжиг АТО после металлизации, напаивание лазерного диода на АТО при механической нагрузке), позволило увеличить выходную мощность ЛД не менее чем в 2 раза (рис. 2), что согласуется с данными для других полупроводниковых приборов [3, 4]. При этом ваттамперная характеристика образцов на алмазном теплоотводе сохраняет линейность во всем диапазоне токов накачки. Насыщение ваттамперной характеристики одного из лучших ЛД на медном хладопроводе наступает уже при  $I \sim 1,8$  А. Такой характер зависимости  $P(I)$  может быть следствием меньшей теплопроводностью меди по сравнению с АТО и изменения  $R_T$  прибора в сторону увеличения при больших токах возбуждения.

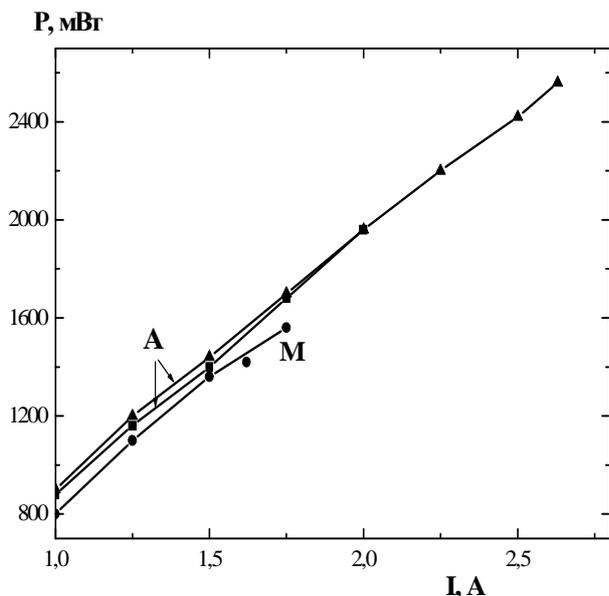


Рис. 2. Ваттамперные характеристики лазерных диодов, собранных на алмазных (А) и медных (М) основаниях с использованием термообработки (по оптимизированной технологии)

Следует отметить, что припой типа ПОС-61 характеризуется большим коэффициентом теплопроводности, более высокой температурой плавления и прочностью, чем у индия, что необходимо для

повышения надежности, срока службы и стабильности параметров мощных ЛД, в особенности при высоких температурах окружающей среды.

#### б) Теплоотводящие основания из искусственных алмазов.

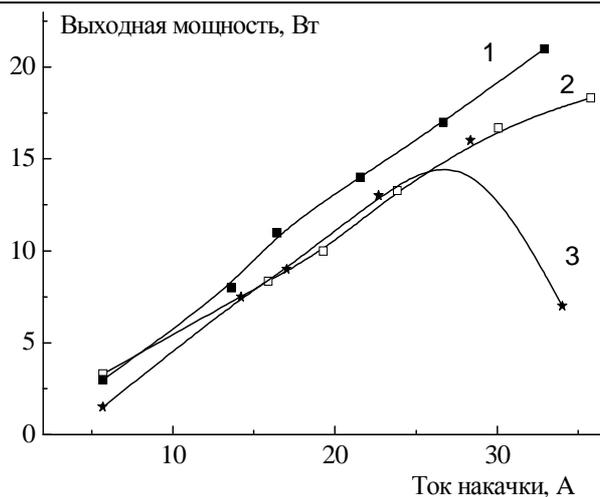
Использовались теплоотводы на основе *искусственных алмазов* и лазерные диоды, аналогичные описанным выше. Измеренные значения теплопроводности неметаллизированных АТО, используемых в наших экспериментах, находились в диапазоне 600–1400 Вт/м·К. Напыление пленки Ti/Ni ионно-лучевым распылением производилось на установке Z-400 «Leybold-Heraeus» с безмасляной откачкой при рабочем давлении  $7,8 \cdot 10^{-2}$  Па после нагрева алмазного основания до температуры 200–350°C. Металлизация производилась с помощью специальной распылительной системы, позволяющей перед нанесением пленок производить обработку поверхности пучком ионов аргона с энергией  $\sim 1$  кэВ. Это позволяло удалять с поверхности алмаза загрязнения и нарушенные приповерхностные слои с низким сцеплением и обеспечивало величину адгезии наносимой металлической пленки на уровне энергии межатомных связей. Толщина пленок титана составляла  $\approx 20$  нм при скорости напыления 0,2–0,25 нм/с, никеля –  $\approx 300$  нм при скорости напыления 0,35 нм/с.

Сравнение параметров изготовленных инжекционных лазеров показало, что при использовании теплоотводящих оснований из синтетического алмаза, металлизированных методом ионно-лучевого распыления, их характеристики близки к таковым для лазерных диодов, собранных на теплоотводящих основаниях из природного алмаза с теплопроводностью  $\sim 1400$  Вт/м·К. Измеренные величины адгезии для различных образцов лежали в пределах 5–30 МПа. Разброс значений величины адгезии для одного образца составлял не более 30% и определялся режимами нанесения пленок и процессом пайки. Удельное сопротивление напыленных слоев не превышало  $\sim 1$  Ом·см.

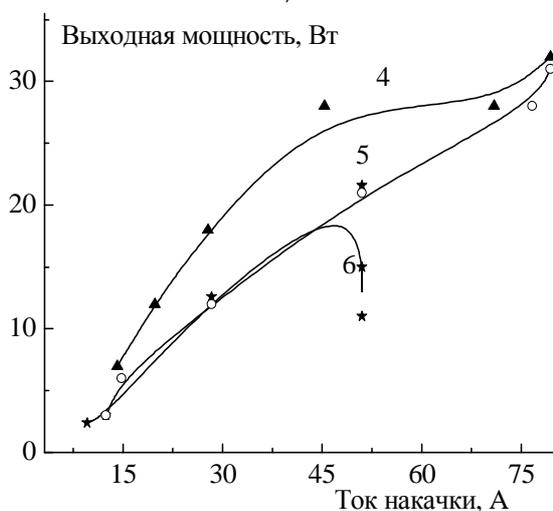
#### в) Импульсные диодные линейки на АТО.

Изучена сравнительная эффективность лазерных диодных линеек (ЛДЛ) на основе алмазных и медных подложек. Исследовались 30-ваттные диодные линейки (длиной 2–3 мм) на базе гетероструктур типа InGaAs/AlGaAs/GaAs, излучающие на длине волны  $\sim 810$  нм импульсы света миллисекундной длительности в широком диапазоне амплитуд возбуждающих импульсов (до  $\sim 100$  А) при частоте следования до  $\sim 10$  Гц. Использовались алмазные теплоотводящие основания из поликристаллов, выращенных модифицированным CVD-методом. При этом рассмотрены два метода соединения алмазного основания с медной подложкой – один с использованием традиционной технологии металлизации и последующего припайвания, другой – упрощенным способом механической впрессовки. Сравнительные исследования ваттамперных характеристик ЛДЛ, собранных с использованием указанных АТО, а также на основе искусственных монокристаллов и медных оснований показало (рис. 3), что при частотах следования импульсов тока накачки  $f \sim 10$  Гц и прочих равных условиях рабочая область ЛДЛ по длительности импульсов возбуждения в случае алмазных теплоотводов простирается до  $\tau \geq 1000$  мкс, тогда как медные основания позволяют работать лишь в ограниченной области длительностей возбуждающих импульсов  $\tau \leq 100$  мкс (рис. 3а).

Следует отметить, что наиболее эффективными в данном случае оказались АТО из монокристаллов. Метод впрессовки поликристаллов дает сравнимые и несколько худшие результаты, однако отличается большей технологичностью и менее трудоемок. Использование комбинированного охлаждения «микрочанальный жидкостный теплоотвод - АТО» (рис. 3б, кривые 4, 5) позволяет расширить рабочую область ЛДЛ по току накачки в 2–3 раза при частоте следования импульсов  $\sim 10$  Гц в миллисекундном диапазоне. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования алмазных технологий при разработке мощных линеек и других структур на основе инжекционных лазеров.



а)



б)

Рис. 3. Ваттамперные характеристики ЛДЛ на медных (а) и алмазных (б) основаниях. Длительность импульсов тока: 30 (1), 50 (2), 100 (3), 500–1000 (4–6) мкс. Кривые 1–4 получены для образцов, не прошедших наработку, 5 и 6 – после наработки

**Заключение.** Разработана технология формирования высокоадгезионных металлических покрытий, позволяющая создавать лазерные диодные структуры с высокоэффективным теплоотводом на основе искусственных алмазов, обладающие улучшенными базовыми характеристиками. В случае лазерных диодов непрерывного режима на основе АТО достигается увеличение выходной мощности до 2-х раз и существенное расширение линейного (рабочего) участка ваттамперной характеристики. Применение алмазных теплоотводящих оснований для импульсных линеек позволяет расширить рабочую область по току накачки в 2–3 раза и более чем на порядок - по длительности возбуждающих импульсов при частоте следования  $\geq 10$  Гц в миллисекундном диапазоне.

Работа поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Вьетнамской академией наук и технологий в рамках совместного международного проекта (Ф09ВН-007).

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Природные алмазы России / Под ред. В.Б. Кваскова. – Москва: Полярон, 1997. – 304 с.
2. Anthony T.R, Banholzer W.F., Fleischer T.F et al. Thermal diffusivity of isotopically enriched  $^{12}\text{C}$  diamond // Phys. Rev. B., 1990. – V. 42. – No. 2. – P. 1104–1111.
3. Моряков, О.С. Природные алмазы в полупроводниковой электронике // Обзоры по электронной технике / О.С. Моряков, В.Б. Квасков, В.В. Горбачев, Р.Б. Зезин, Т.В. Храброва. – Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1988. – В. 4 (1342), 36 с. – М: ЦНИИ "Электроника".
4. Моряков, О.С. Алмазные теплоотводы в конструкции полупроводниковых приборов // Обзоры по электронной технике. – Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1982. – В. 1(857), 46с. – М: ЦНИИ "Электроника".
5. Баранов, В.В. Особенности микромонтажа мощных лазерных диодов / В.В. Баранов, В.В. Паращук, Г.И. Рябцев [и др.] // Сб. материалов V Международной научно-технической конференции "Проблемы проектирования и производства РЭС" (Новополоцк, 29–30 мая 2008). – ПГУ, 2008. – С. 40–44.
6. Рябцев, Г.И. Теплоотводы на основе искусственных алмазов для мощных лазерных диодов / Г.И. Рябцев, Л.Е. Батай, В.В. Паращук [и др.] // Lithuanian Journal of Physics, 1999. – V. 39. – No.4–5. – P. 389–394.

Материал поступил в редакцию 12.11.09

PARASHCHUK V.V., BELYAEVA A.K., BARANOV V.V., TELESH E.V., RUSAKOV K.I., VU DOAN MIEN, VU VAN LUC, PHAM VAN TRUONG.  
Optimization of thermal regimes of diode lasers

Are developed chemical and vacuum methods of formation of metal coverings with high adhesion to various surfaces on the basis of multifunction ionic-beam and magnetron evaporation systems, including with reference to the copper and diamond heat sink substrates for diode lasers. Optimum conditions of assembly of the diode lasers and bars are determined on the basis of the developed metallization methods and essential improvement of output characteristics of devices is achieved.

УДК 534.42

Русаков К.И., Пфедфер М.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТРУКТУР С НАНОКРИСТАЛЛАМИ CdS и CdSe МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

**Введение.** В последнее время физико-химические свойства полупроводниковых наночастиц привлекают к себе внимание ввиду их непосредственного использования при разработке устройств микроэлектроники, интегральной оптики, спектрального кодирования биомолекулярных процессов. Широкие возможности дизайна нанообъектов на принципах самосборки в процессах коллоидно-химического синтеза позволяют реализовать масштабируемые технологии с массовым выходом наноразмерных продуктов. Одним из методов исследования

структуры наночастиц является атомно-силовая микроскопия [1].

Изучение оптических свойств нанокристаллов (НК) полупроводниковых соединений  $\text{A}_2\text{B}_6$  представляет большой интерес как с точки зрения исследования фундаментальных физических свойств низкоразмерных систем, так и в связи с возможностью использования НК при разработке нелинейных оптических устройств. Интенсивные экспериментальные и теоретические исследования эффектов в системах наночастиц позволили установить основные механизмы их

Пфедфер Михаэль, проректор по науке и международным связям Hochschule Rawensburg-Weingarten, Вайнгартен, Германия.

Физика, математика, информатика