



## КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ АВТОЭМИССИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ

В.Одинокоев, Г.Павлов, Е.Шешин  
info@niitm.ru

Вопросы создания производства, эксплуатации и утилизации энергоэффективных, экологически чистых и дешевых источников света пока до конца не решены, поскольку лампы накаливания низкоэффективны, а газоразрядные лампы неэкологичны, так как содержат пары ртути, производство полупроводниковых светоизлучающих диодов (СИД) дорого и неэкологично, а их цена достаточно высока.

В качестве альтернативы предлагаются катодолуминесцентные источники света (КИС) [1], в конструкции и при производстве которых не используются вредные вещества, однако их энергоэффективность пока ниже, чем у газоразрядных ламп. Эксперты считают, что именно развитие нанотехнологий позволит повысить энергоэффективность чистых источников света, существенно (на 30–40%) сократить потребление электроэнергии, одновременно уменьшив на сотни миллионов тонн выброс  $\text{CO}_2$  в атмосферу и эконо-

мив таким образом к 2030 году до двух миллиардов баррелей нефти [2].

Принцип действия КИС хорошо известен по телевизионному кинескопу, который представляет собой вакуумную трубку с экраном, покрытым тремя видами люминофора со спектрами излучения в области красного, зеленого и синего цвета, возбуждаемого электронным пучком с энергией 7–10 кэВ. Эмиссия электронов осуществлялась накальным катодом с управляющей сеткой.

Многие еще хорошо помнят как «гасли» телевизоры, когда

перегорали такие катоды. При длительной эксплуатации из-за разрушения катодолуминофора наблюдалось также потемнение экранов. Вероятно, эти факторы и сформировали мнение, что на основе катодолуминесценции невозможно создать конкурентоспособные источники света.

Вместе с тем, специалисты полагают, что использование современных технологий формирования новых наноматериалов и наноструктур будет способствовать существенному повышению эффективности катодолуминофоров, понижению анодного напряжения, замене «горячего» катода на экономичный «холодный» (автоэмиссионный) и созданию КИС с эффективностью, не уступающей полупроводниковым СИД, причем, по оценкам ряда экспертов, новые КИС должны быть существенно дешевле, а их производство, эксплуатация и утилизация экологически чистыми.

При формировании автоэмиссионных катодов используются наноуглеродные материалы в виде порошков, объемных (терморасширенный графит, углеродные волокна) и пленочных наноуглеродных структур [3]. Принцип работы источников света на основе наноструктурированных углеродных материалов основан на явлении автоэлектронной

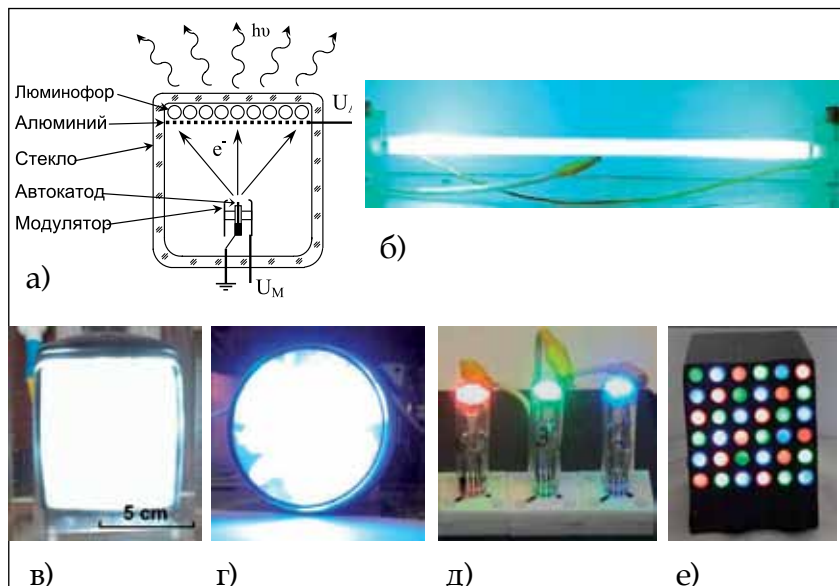


Рис.1. Принципиальная схема (а) и экспериментальные образцы КИС: б, в – осветительные приборы; г – источники света для светофоров и семафоров; д – лампы подсветки и видеоэкранов; е – модуль видеоэкрана

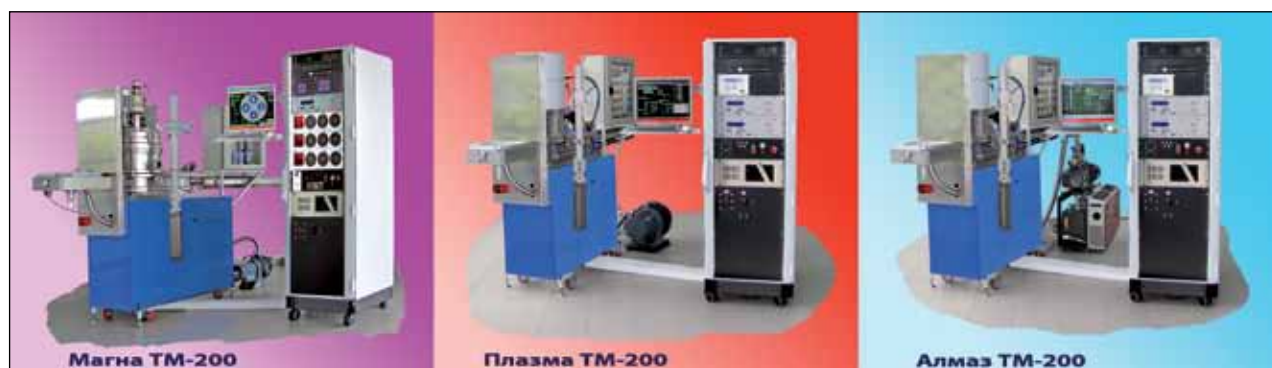


Рис.2. Вакуумное технологическое оборудование со шлюзовой загрузкой для индивидуальной обработки пластин

эмиссии, при которой электроны, вылетевшие из катода под действием поля модулятора, ускоряются электрическим полем анода и, ударившись о него, возбуждают световые кванты в слое люминофора. На рис.16-е представлены экспериментальные образцы различных КИС с «холодными» катодами, изготовленными по инновационной технологии наноструктурирования углеродных волокон, осуществляемой в несколько этапов:

- предварительная обработка;
- формовка эмиссионной поверхности автокатаода потоками ионов;
- тренировка автокатаода на финишном этапе.

Несмотря на значительные усилия в этом направлении со стороны исследовательских организаций таких стран, как США, Великобритания, Южная Корея, Япония и Китай, автокатаоды, аналогичные разработанным в [1], пока не созданы. Важно отметить, что в тех-

нологии их изготовления используются дешевые углеродные материалы, промышленно производимые в России, да и само производство КИС относительно дешево, поскольку, в отличие от СИД, здесь не используются дорогостоящие материалы и технологии.

Пленочные автокатаоды формируются на основе углеродных наноструктур, выращенных методом газофазного осаждения на каталитических наноклстерах (Co, Ni и Fe). В зависимости от параметров получены различные наноструктуры, которые условно называются: «ребристые», «перья», «конусы», «нанотрубы» и «нанотрубки» [3]. Исследования показали, что приемлемыми автоэмиссионными свойствами обладают «нанотрубки» и «перья», у которых достаточно низкие пороговые поля автоэмиссии – 2х4 В/мкм, однако токи порядка 100 мкА делают их пригодными в основном для использования в сла-

боточных приборах. Специалисты отмечают, что увеличение автоэмиссионного тока ограничено разрушением эмиссионных центров при выделении «джоулевого» тепла.

Для повышения тока эмиссии электронов, необходимого для мощных источников освещения, использована инновационная разработка, а именно: умножитель потока электронов на основе вторичной эмиссии тонкой алмазной сетки [3], с которой, благодаря ее высокой теплопроводности, можно «снимать» большие токи, принципиально недостижимые для автокатаодов. Разработка обеспечивает возможность создания мощных, практически безинерционных, осветительных приборов, причем экспериментально подтверждено, что при использовании умножительного элемента специальной конструкции удается реализовать коэффициент умножения ~30 и плотность тока в несколько ампер на см<sup>2</sup>. До-



Рис.3. Малогабаритное технологическое оборудование с камерами настольного типа



Рис.4. Комплект физико-термического оборудования

стижение плотности тока более  $50 \text{ А/см}^2$  возможно в двухкаскадных конструкциях или с автокатадами с плотностью тока  $\sim 1 \text{ А/см}^2$ .

Для разработки технологических процессов и организации производства энергосберегающих источников света, в том числе полупроводниковых СИД и функциональных элементов КИС, в НИИТМ разработаны три комплекта технологического оборудования [4,5]:

- комплексная установка со шлюзовой загрузкой и возможностью обработки пластин диаметром до 200 мм, в состав которой входят четыре установки: Магна ТМ-200 – магнетронное нанесение тонких пленок, Плазма ТМ-200 – реактивно-ионное ВЧ-травление; Алмаз ТМ-200 – газофазное ВЧ-осаждение (рис.2), УПСА-100 – СВЧ-выращивание алмазных пленок;
- экономичные малогабаритные вакуумные установки для обработки пластин до 150 мм, включающие две установки нанесения пленок – МВУ ТМ-Магна (маг-

нетронное распыление), МВУ ТМ-ТИС (термическое испарение), установки реактивно-ионного ВЧ-травления – МВУ ТМ Плазма-РИТ и установки термического отжига, сушки слоев и материалов – МВУ ТМ-Отжиг (рис.3);

- физико-термическое оборудование для работы при атмосферном и пониженном давлении (Оксид ТМ-1, Отжиг ТМ-2, Изотрон ТМ-1, Изоплаз ТМ-1 и др.), обеспечивающее обработку наноматериалов и наноструктур и реализацию процессов окисления, восстановления, диффузии, эпитаксии, отжига (рис.4).

В настоящее время ведется разработка новых реакторов, которые должны обеспечить обработку пластин диаметром до 450 мм и выращивание на них наноуглеродных автоэмиссионных структур. На предприятии созданы либо находятся в стадии реализации следующие технологические процессы и оборудование, модернизируемое для производства СИД и КИС:

- установки Плазма ТМ-200 или МВУ ТМ Плазма-РИТ – травление подложек СИД (сапфир, SiC, Si, природный GaN), металлизация (Pt, Au, Ni, Cr др.), диэлектриков ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_x$ , алмазных пленок и других материалов (рис.5);
- установки Магна ТМ-200 или МВУ ТМ-Магна – нанесение и металлизация

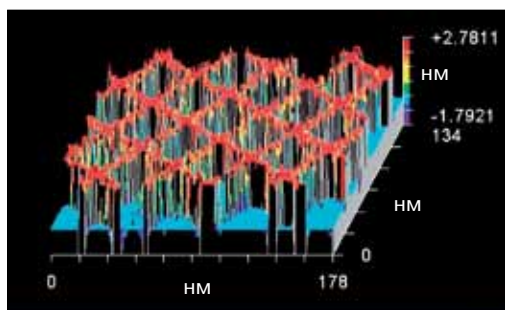


Рис.5. Фрагмент алмазной сетки после травления на установке Плазма ТМ-200

разводки, контактных площадок, нанокластерных каталитических слоев и других материалов;

- установка Алмаз ТМ-200 – выращивание углеродных наноструктур и низкотемпературного осаждения диэлектриков ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_x$ , SiC и др.);
- установка УПСА-100 – осаждение легированных алмазных пленок для формирования умножителя потока электронов мощных КИС и широкого круга других применений.

Таким образом, разработанное и производящееся НИИТМ оборудование может обеспечить реализацию основных технологических процессов производства, как полупроводниковых СИД, так и вакуумных КИС.

## Литература

1. Лупарев Н.В., Стариков П.А., Чадаев Н.Н., Шешин Е.П. Высокоэкономичные и экологически чистые источники общего освещения с автоэмиссионным катодом из наноструктурированных углеродных материалов. – Альтернативная энергетика и экология, 2010, №3, с.26–29.
2. ICT for Energy Efficiency. – Ad-Hoc Advisory Group Report, Brussels, 24.10.2008, p. 33.
3. Вартапетов С., Ильичев Э., Одинокое В., Павлов Г., Полторацкий Э. и др. Эмиссионная электроника на основе нано- (микро-) структурированных углеродных материалов. – Наноиндустрия, 2009, №4, с.4–10, №5, с.12–20.
4. Одинокое В.В., Павлов Г.Я., Смиронов Ю. В. Новым технологиям – инновационное оборудование. – Нанотехнологии. Экология. Производство, 2010, №2(4), с.70–71.
5. Одинокое В.В., Павлов Г.Я., Рачинский В.П., Сологуб В.А. Малогабаритное оборудование для изучения и реализации инновационных техпроцессов от НИИТМ. – Ежегодник “НАНО Россия 2010”, 2010, с. 47–48.