

Модернизация установок типа «Арсенид-1М» позволяет выращивать 100-мм-монокристаллы GaAs, что в настоящее время осуществлено на ГП «ЗЧМ» (г. Светловодск, Украина), но улучшения качества кристаллов при этом не наблюдается. Необходимо отметить, что на этом предприятии сосредоточен огромный потенциал бывшего Советского Союза для промышленного производства GaAs и получения исходных компонентов (Ga, As). В Украине — при надлежащей заинтересованности государства и бизнеса и зарубежных инвестиций — возможно быстрое восстановление до современного уровня основных звеньев производства GaAs — материаловедческих исследований, промышленного производства ПИ- и легированного GaAs, создания оборудования для выращивания, получения высокочистых исходных Ga и As.

В ННЦ "ХФТИ" создана ростовая установка, отвечающая (по заложенной идеологии) требованиям к установкам нового поколения ЖГЧ-метода [10]. В установке используется 4-зонный тепловой узел, позволяющий при пониженных ( $<40^\circ\text{C}/\text{см}$ ) осевых градиентах температуры вблизи фронта кристаллизации выращивать монокристаллы GaAs под слоем флюса с диаметром, близким к диаметру тигля (до 100 мм). Регулирование диаметра кристалла осуществляется путем согласования скорости выращивания кристалла, скорости и времени подъема тигля и скорости снижения температуры нижнего нагревателя для поддержания постоянного температурного градиента на фронте кристаллизации. Заложена возможность после ростового отжига кристалла в слое флюса обеспечивает снижение неоднородности распределения электрофизических и структурных параметров. Процесс выращивания кристалла осуществляется в автоматическом режиме от микропроцессора с возможным переходом к полному компьютерному контролю и управлению.

В настоящее время при финансовой поддержке Минпромполитики Украины осуществляется усовершенствование теплового узла установки, разработка автоматизированного программируемого управления процессом роста с компьютерным контролем и оптимизация технологических режимов выращивания кристаллов. По окончании этих работ установка будет сдана в эксплуатацию с отработкой на ней технологии получения монокристаллов ПИ-GaAs с высокими электрофизическими параметрами и более совершенной структурой по сравнению с кристаллами, выращенными «обычным» методом ЖГЧ.

\*\*\*

Таким образом, из анализа последних разработок по созданию ростового оборудования для производства GaAs-монокристаллов методом Чохральского с жидкостной герметизацией расплава слоем борного ангидрида видна тенденция к увеличению диаметра монокристаллов. Более половины пластин из арсенида галлия изготавливаются диаметром 100 мм. Достижение необходимых электрофизических и структурных свойств монокристаллов больших диаметров реализуется путем использования многозонных нагревателей, обеспечивающих низкие температурные градиенты на фронте кристаллизации, полной автоматизации процесса выращивания, применения высокочистых исходных и вспомогательных материалов.

В Украине к настоящему времени еще сохранились условия для возрождения всей инфраструктуры производства монокристаллов арсенида галлия — от создания ростового оборудования до получения продукции на основе GaAs.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Наумов А. В. Обзор мирового рынка арсенида галлия // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2005.— № 6.— С. 53—57.
2. Seide A., Eicher S., Flade T. et al. 200 mm GaAs crystal growth by the temperature gradient controlled LEC method // J. Cryst. Growth.— 2001.— Vol. 225.— P. 561—565.
3. Оборудование для синтеза и выращивания монокристаллов.— Каталог ПО «Донец».— Луганск, 1992.
4. Проспект фирмы Special Gas Control, Великобритания.— 1988.
5. Inada T., Komata S., Ohnishi M. et al. Development of mass production line for 150 mm GaAs wafers // GaAs MANTECH Conferens 1999, Digest of Press.— P. 205—208.
6. Otoki Y., Kamogawa H., Ohnishi M. et al. Large volume production of large size GaAs substrates and epitaxial wafers for microwave devices // GaAs 99 — Munich 1999, Conference Proceedings.— P. 314—319.
7. Flade T., Jurisch M., Kleinwechter A. et al. State of the art 6 SI GaAs wafers made of conventionally grown LEC-crystals // J. Cryst. Growth.— 1999.— Vol. 198/199.— P. 336—342.
8. Wafer World Inc.— Silicon Wafer Manufacturer 06.03.06 at URL. <http://www.waferworld.com>.
9. SEMI unveils 200 mm GaAs substrate standard (February 2006).— News—Compound... 21.02.06 at URL. <http://www.compoundsemiconductor.net/articles/news/>.
10. Ковтун Г. П., Кравченко А. И., Щербань А. П. Установка для выращивания малодислокационных монокристаллов GaAs большого диаметра // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2001.— № 6.— С. 52—53.

в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Технологии изготовления устройств на основе фотонных кристаллов. (Украина, г. Киев)
- Получение поверхностно-барьерных структур на основе четырёхкомпонентных твёрдых растворов  $\text{A}^4\text{B}^6$ . (Украина, г. Кировоград)
- Исследование влияния механических напряжений на свойства полупроводниковых структур. (Россия, г. Калуга)
- Малошумящий усилитель диапазона частот 7,525—8,025 ГГц с допустимой входной мощностью 7 Вт. (Украина, г. Киев)
- Исследование процессов нанесения пленок электроплазменным воздействием. (Украина, г. Запорожье)



в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции

$$\eta(z_0) = 1/t; \quad \eta(x_0, y_0) = \delta(x_0) \cdot \delta(y_0), \quad (21)$$

то шестикратное интегрирование по формуле (17) с учетом формулы (11) при распределении заряда (21) и использовании метода СГР для интегрирования по  $z$  и  $z_0$  дает:

$$\begin{aligned} \varphi_n = & \frac{K}{lb} \sum_{v=0}^r T_v \left[ b \operatorname{Arsh} \frac{l}{\sqrt{b^2 + (v\tau + s)^2}} + \right. \\ & + l \operatorname{Arsh} \frac{b}{\sqrt{l^2 + (v\tau + s)^2}} - \\ & \left. - (v\tau + s) \operatorname{arctg} \frac{bl}{(v\tau + s)\sqrt{l^2 + b^2 + (v\tau + s)^2}} \right]. \quad (22) \end{aligned}$$

Как показывает вычислительный эксперимент, аналогичный описанному в [19], формулы (19), (20), (22) дают двухстороннюю оценку потенциала при неизвестном, в том числе меняющемся, распределении заряда в объеме источника. При  $K=1/4\pi\epsilon_0$  формулы (16), (19), (20), (22) позволяют вычислить коэффициент затухания  $\alpha$  потенциала электрического поля, создаваемого источником поля малых размеров (коэффициент передачи канала паразитной связи по напряжению):

$$\alpha = \varphi_n / \varphi_n. \quad (23)$$

На основании принципа взаимности [1] можно утверждать, что формула (23) позволяет оценить в квазистационарном приближении степень взаимного влияния двух объектов на расстоянии, значительно превышающем размеры источника помехи, в слоистой среде.

Однако принятая при исследовании математическая модель физических явлений не учитывает частотную зависимость коэффициента передачи, а также реально существующих в микросхеме связей через элементы электрической принципиальной схемы. Этот недостаток легко устранить, если вычислить собственные и взаимную емкости названных выше объектов и включить эти емкости в эквивалентную схему, по которой можно рассчитать токи и напряжения в микросхеме во всем диапазоне рабочих частот или во временной области. Нужные емкости, как известно [20, с. 7], рассчитываются через потенциальные коэффициенты; соотношение (15) фактически представляет собой формулу для расчета взаимного потенциального коэффициента, а соотношение (16) — формулу для расчета собственного потенциального коэффициента методом Хуу [20, с. 21].

\*\*\*

Полученные результаты могут быть полезны при разработке математического и программного обеспечения САПР, а также на стадии предпроектных исследований при численно-эвристической оптимизации схемотехнических и конструкторских решений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики.— М.: Наука, 1977.
2. Пановский В., Филипс М. Классическая электродинамика.— М.: Физматгиз, 1963.
3. Семенов В. И. Расчет емкостей плоских проводников в слоистых средах // Радиотехника.— 1973.— Т. 28, № 10.— С. 84—90.
4. Конников И. А. Расчет емкостей прямоугольных пленочных проводников с произвольным коэффициентом формы // Судостроение.— 1980.— № 8.— С. 32—33.
5. Заборовский А. И. Электроразведка.— М.: Гостоптехиздат, 1963.
6. Морс Ф. М., Фешбах Г. Методы теоретической физики. Т. 1.— М.: ИЛ, 1958.
7. Корн Г. А., Корн Т. М. Справочник по математике для научных работников и инженеров.— СПб: Лань, 2003.
8. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений.— М.: Физматгиз, 1971.
9. Справочник по специальным функциям // Под ред. М. Абрамовица, И. Стиган.— М.: Наука, 1979.
10. Скобло В. С. Методика аппроксимации цилиндрических функций // Известия вузов. Приборостроение.— 2005.— № 7.— С. 61—63.
11. Хемминг Р. В. Численные методы для научных работников и инженеров.— М.: Наука, 1972.
12. Конников И. А., Соколов С. А., Янчук Е. С. Ранжирование электромагнитных связей в коммутаторах микросборок судовой РЭА // Судостроение.— 1986.— № 10.— С. 32—34.
13. Мурого С. Системное проектирование СБИС. Т. 1.— М.: Мир, 1986.
14. Ферри Д., Эйкерс Л., Гринич Э. Электроника ультрабольших интегральных схем.— М.: Мир, 1991.
15. Канторович Л. В., Акилов Г. П. Функциональный анализ.— СПб.: Невский диалект, 2004.
16. Cao Wei, Harrington R. F., Mautz J. R., Sarcar T. K. Multiconductor transmission lines in multilayered dielectric media // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.— 1984.— Vol. 32, N 4.— P. 439—450.
17. Двайт Г. В. Таблицы интегралов и другие математические формулы.— М.: Наука, 1978.
18. Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2.— М.: Наука, 1989.
19. Конников И. А. Емкость тонкого проводника прямоугольного сечения в микросхеме // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2006.— № 4.— С. 18—23.
20. Иоссель Ю. Я., Кочанов Э. С., Струнский М. Г. Расчет электрической емкости.— Л.: Энергия, 1969.

в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

➤ Конденсор тепловой трубы на основе адиабатического размагничивания парамагнитного вещества. (Россия, г. Таганрог)



- Методика определения эффективной площади фоточувствительного элемента фотодиода. (Украина, г. Черновцы)
- Повышение тепловой надежности ИС на этапе размещения элементов. (Армения, г. Ереван)
- Проектирование и анализ сумматоров в среде Active-HDL. (Украина, г. Одесса)

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции