

- [1] Вендик О. Г., Мироненко И. Г., Тер-Мартirosян Л. Т. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1987. Т. 51. № 10. С. 1748—1752.
- [2] Ильинский Л. С., Попов В. Ф., Смирнов А. Д., Беляев В. М. // ЖТФ. 1982. Т. 52. Вып. 1. С. 163—164.
- [3] Давыдова Т. Ю., Смирнов А. Д., Столяров Н. В., Хижа Г. С. // Электронная техника. Электроника СВЧ. Сер. 1. 1982. Вып. 11. С. 57—61.
- [4] Вендик О. Г., Ильинский Л. С., Смирнов А. Д., Хижа Г. С. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 4. С. 772—777.
- [5] Уманский Я. С., Скаков Ю. А., Иванов А. Н., Росторгуев Л. Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. 632 с.
- [6] Сегнетоэлектрики в технике СВЧ / Под ред. О. Г. Вендика. М.: Сов. радио, 1979. 272 с.
- [7] Брокс А. Я., Такере З. А., Биркс Э. К. и др. // Изв. вузов. Физика. 1981. № 8. С. 81—93.
- [8] Ирисова Н. А., Козлов Г. В., Нарытник Т. Н. и др. // Кристаллография, 1974. Т. 19. № 2. С. 403—404.

Ленинградский
электротехнический институт
им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
19 апреля 1988 г.
В окончательной редакции
17 ноября 1988 г.

ЖИДКОФАЗНАЯ ЭПИТАКСИЯ ИЗОПЕРИОДИЧЕСКИХ ГЕТЕРОСТРУКТУР В СИСТЕМЕ Pb—Sn—Te—Se

Г. И. Жовнир, О. Н. Царенко

Введение

Твердые растворы замещения на основе соединений A_4B_6 в последние годы находят широкое применение в ИК оптоэлектронике, в частности для создания инжекционных гетеролазеров, работающих в области спектра 3—30 мкм. Использование в гетеролазерах четверных твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$, согласованных по периоду кристаллической решетки с подложкой, позволяет повысить эффективный квантовый выход излучения и снизить пороговый уровень возбуждения при низких температурах, обеспечивает непрерывный режим работы при 77 К и повышение рабочей температуры до 170 К [1-3]. В [1-4] исследованы параметры изопериодических структур $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$, выращенных методом жидкофазной эпитаксии при температурах 870—940 К на подложках PbSe, PbTe и $Pb_{1-x}Sn_xTe$.

В данной работе приведены результаты исследований гетероструктур (ГС) $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$, согласованных по периоду решетки с KCl. Достоинством таких подложек является возможность осуществления электрической развязки при создании многоэлементных приборов.

1. Ширину запрещенной зоны E_g и параметр решетки a четверного твердого раствора $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se$ рассчитывали по формулам [4, 5]

$$E_g = 0.18 + 4.4 \cdot 10^{-4} \cdot T - 0.05x - 0.52y - 0.37xy, \quad (1)$$

$$a = 6.461 - 0.3345y - (0.134 - 0.0175y)x, \quad (2)$$

полученным в приближении линейной зависимости E_g и a от состава тройных твердых растворов. С учетом (1), (2) соотношение между концентрациями x и y вдоль изопериодной линии $a_{PbSnTeSe} = a_{KCl} = 6.29 \text{ \AA}$ описывается выражением

$$y = \frac{0.171 - 0.134x}{0.3345 - 0.0175x}, \quad (3)$$

а зависимость $E_g(x)$ приобретает вид

$$E_g = \frac{0.05x^2 - 0.0135x - 0.0289 + 1.47 \cdot 10^{-4} \cdot T}{0.3345 - 0.0175}. \quad (4)$$

На рис. 1 в концентрационном квадрате $\text{PbTe}-\text{SnTe}-\text{PbSe}$ показаны семейство изоэнергетических кривых $E_g(x, y)$ и изопериодная кривая $a_{\text{PbSnTeSe}} = a_{\text{KCl}}$, рассчитанные по формулам (3), (4). Видно, что изменение концентраций x и y вдоль изопериодной кривой происходит в пределах $0 \leq x \leq 0.5$, $0.32 \leq y \leq 0.51$.

2. Эпитаксиальные слои четверных твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ ($0 \leq x \leq 0.5$, $0.32 \leq y \leq 0.51$) выращивали на подложках KCl ориентации (100) при программном охлаждении раствора-расплава в интервале температур 803—793 К. Плотность дислокаций в подложке $(5-7) \times 10^8 \text{ см}^{-2}$. Состав равновесной жидкой фазы рассчитывали на основе модели простых регулярных растворов с учетом термодинамических параметров, приведенных в [6]. Селективным травлением при послойном удалении установлено, что максимальная плотность дислокаций N_D в ГС $\text{PbSnTeSe}/\text{KCl}$ локализуется вблизи межфазной границы. Увеличение N_D

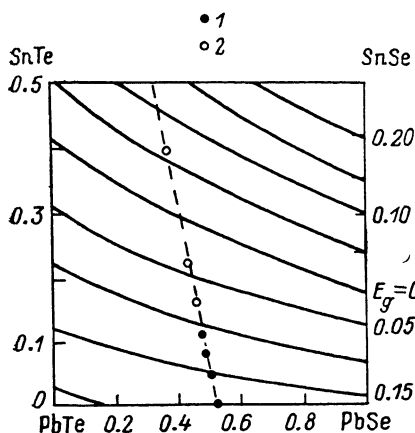


Рис. 1. Изоэнергетические линии и изопериодическая кривая $a_{\text{PbSnTeSe}} = a_{\text{KCl}}$ для четверных твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$. Точки — эксперимент. 1 — n -тип, 2 — p -тип.

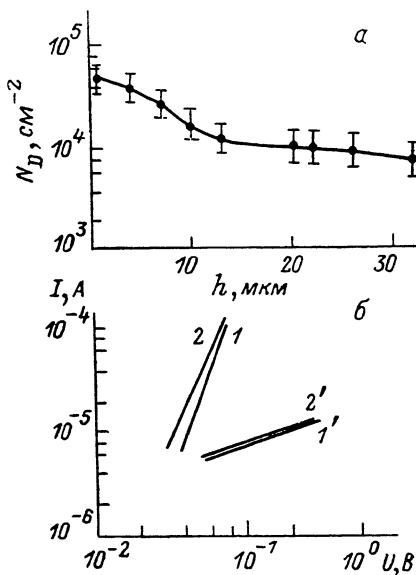


Рис. 2.

может быть обусловлено различием коэффициентов линейного термического расширения подложки и эпитаксиальных слоев. С ростом толщины слоя $h \approx 20-25 \text{ мкм}$ N_D на поверхности слоя составляет $(8-10) \times 10^8 \text{ см}^{-2}$. Измерение эффекта Холла в твердых растворах $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ ($0 \leq x \leq 0.5$, $0.32 \leq y \leq 0.51$), выращенных на подложках KCl , показывает, что при составах $0.32 \leq y \leq 0.44$ слои имеют p -тип проводимости, а при $0.45 \leq y \leq 0.51$ — n -тип.

3. Улучшения структурного совершенства эпитаксиальных слоев можно достигнуть при выращивании буферных слоев $\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ на подложках KCl . Из рис. 1 следует, что изопериодным является твердый раствор $\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ состава $y=0.51$. Методом жидкофазной эпитаксии в едином технологическом процессе выращены гетероструктуры $p\text{-Pb}_{0.79}\text{Sn}_{0.21}\text{Te}_{0.57}\text{Se}_{0.43}/n\text{-PbTe}_{0.49}\text{Se}_{0.51}/\text{KCl}$ (1) и $p\text{-Pb}_{0.79}\text{Sn}_{0.21}\text{Te}_{0.57}\text{Se}_{0.43}/n\text{-Pb}_{0.85}\text{Sn}_{0.15}\text{Te}_{0.55}\text{Se}_{0.45}/\text{KCl}$ (2). Толщина n -слоя $\sim 25 \text{ мкм}$, p -слоя $\sim 7 \text{ мкм}$ в обеих гетероструктурах. На рис. 2, а представлено характерное распределение плотности дислокаций по толщине изопериодных гетероструктур. Описанного выше повышения N_D вблизи гетерограницы между слоями не наблюдается, что свидетельствует о хорошем согласовании параметров решеток сопрягающихся эпитаксиальных слоев. Исследование сколов гетероструктур указывает на высокую планарность гетерограницы между слоями.

4. Характерные вольт-амперные характеристики при 200 К гетеродиодов с согласованными параметрами решеток эпитаксиальных слоев показаны на рис. 2, б. Прямые ветви ВАХ (1, 2) описываются экспоненциальной зависимостью $I \sim \exp(qU/nkT)$, где $n \sim 2-3$, что характерно для генерационного механизма протекания тока. Обратные ветви ВАХ (1', 2') удовлетворительно аппроксимируются степенной зависимостью $I \sim U^0.6$, характерной для резких $p-n$ -переходов.

Таким образом, в работе показана принципиальная возможность создания методом жидкофазной эпитаксии изопериодических p -гетероструктур четверных твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ на подложках KCl с параметрами, представляющими интерес для приборов ИК оптоэлектроники.

Список литературы

- [1] Гуреев Д. М., Даварашвили О. И., Засавицкий И. И. и др. // Квантовая электроника. 1978. № 5. С. 2630—2633.
- [2] Шотов А. П., Даварашвили О. И., Бабушкин А. В. // Письма в ЖТФ. 1981. Вып. 7. С. 1444—1449.
- [3] Horikoshi J., Kawashima M., Saito H. // Jap. J. Appl. Phys. 1982. Vol. 22. P. 77—79.
- [4] Даварашвили О. И., Зломанов В. П., Криалашвили И. В. и др. // ДАН СССР. 1983. Т. 272. С. 1371—1374.
- [5] Равич Ю. И. и др. Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца. М.: Наука, 1968. 383 с.
- [6] Домбругов М. Р., Жовнир Г. И. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1988. Т. 24. С. 332—336.

Кировоградский государственный педагогический институт им. А. С. Пушкина

Поступило в Редакцию
17 мая 1988 г.

07; 08

Журнал технической физики, т. 59, в. 9, 1989

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ЦИФРОВОЙ ПРОЦЕССОР-УМНОЖИТЕЛЬ

В. Ю. Раковский, А. С. Щербakov

Необходимость оперировать в реальном масштабе времени со сверхбольшими массивами данных, возникающая при решении многих современных физических проблем, требует от вычислительных устройств быстродействия, недостижимого при использовании традиционных радиоэлектронных систем, что делает целесообразным обращение к альтернативному методу обработки информации — оптическому. Широкие возможности оптического метода

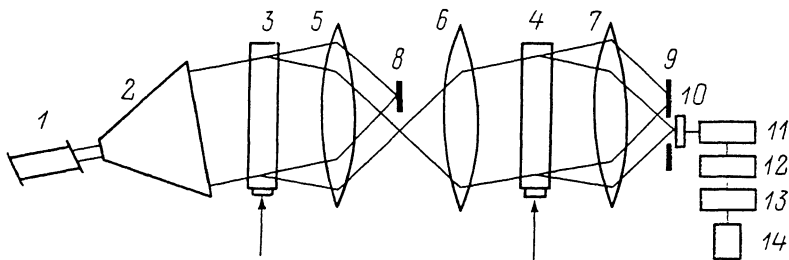


Рис. 1. Оптическая схема АОЦП-умножителя.

1 — источник когерентного света; 2 — призмный расширитель; 3, 4 — акустооптические ячейки; 5, 6, 7 — цилиндрические линзы; 8, 9 — диафрагмы; 10 — фотодетектор; 11 — усилительно-согласующий каскад; 12 — АЦП; 13 — сдвигающий сумматор; 14 — осциллограф.

подтверждаются успехами аналоговых оптических процессоров, например для корреляционного и спектрального анализа [1]. Тем не менее аналоговые методы оптической обработки информации не могут обеспечить необходимую при решении многих задач точность вычислений, в связи с чем в последнее время возрос интерес к цифровым оптическим вычислительным методам, которые в будущем, вероятно, составят конкуренцию двум имеющимся методам — аналоговому оптическому и цифровому электронному [2]. Работы по цифровой оптической вычислительной технике делятся на ряд направлений, одно из которых, отчасти используя методы аналоговой обработки информации, применяет цифровое представление данных в целях создания высокоскоростных прецизионных процессоров для выполнения операций линейной алгебры. При построении многофункциональной элементной базы алгебраических оптических процессоров в большой степени используются акустооптические устройства.