

06.2;06.3;07;12

©1995

## ФОРМИРОВАНИЕ ФОСФИДА ИНДИЯ НА КРЕМНИИ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СВЕТОДИОДОВ

*В.П.Бабарькина, В.И.Рудаков*

Для изготовления интегральных источников излучения на длину волны 1.3 мкм используется структура типа InP/Si. При этом основным требованием к материалу InP является его кристаллическое совершенство. Получение InP на Si с бездефектной структурой материала связано с двумя проблемами:

1) различием периодов кристаллографических решеток материалов InP и Si, приводящим к дислокациям несоответствия в InP;

2) влиянием структуры поверхности кремниевой подложки на фазовое упорядочение в InP.

Одним из наиболее эффективных способов уменьшения рассогласования периодов решеток смежных материалов является введение буферных слоев с промежуточным значением периода решетки или буферной системы сверхрешетки. Однако несомненно: рост каждого дополнительного слоя — дополнительное усложнение и удорожание процесса. В связи с этим становятся актуальными [1-4] исследование механизма прямого роста бездефектного InP на Si и поиск технологий для реализации соответствующего механизма.

Для получения структур InP на Si существуют проблемы, связанные как с природой материала, так и с техническими возможностями оборудования. К числу первых относятся: рассогласование периодов кристаллических решеток InP и Si — 8%; фазовое разупорядочение при росте полярного InP на поверхности подложки неполярного материала Si. К числу последних: термические возможности установки "ГФЭ из МОС" (газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений) (Superlat-200 до 700 C), что не позволяет очищать поверхность подложки высокотемпературным деоксидированием при 900 C [3,4]. Поэтому в условиях Superlat-200 приходится рассчитывать рост InP на подложке естественного SiO<sub>2</sub>/Si. Адсорбционные свойства поверхности определяются не только поверхностным слоем атомов, но также приповерхностными слоями, эффективный радиус действия адсорбционных сил которых со-

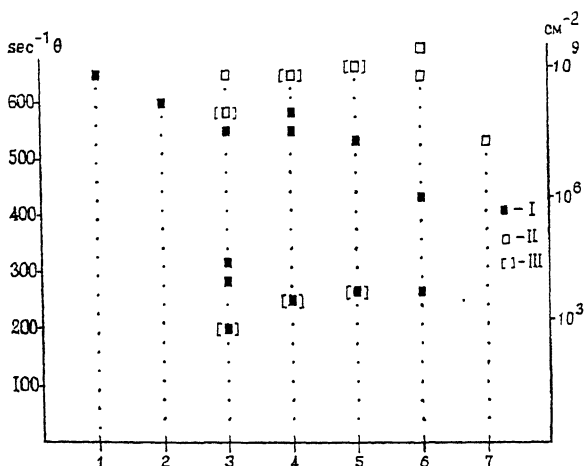
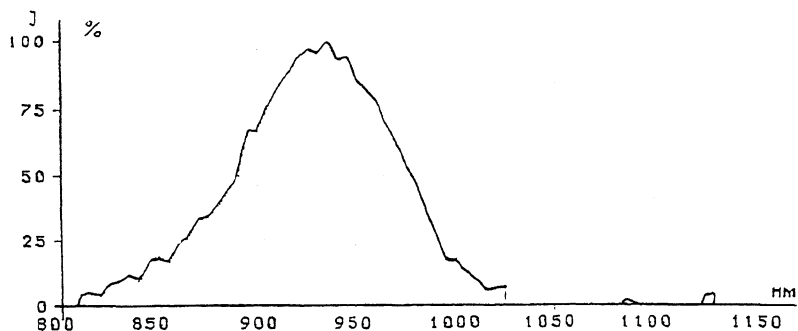


Рис. 1. Диаграмма качества InP на Si: 1 — без буферного слоя; 2 — буфер InP/InAs; 3 — буфер InP; 4 — буфер InP/GaP; 5 — буфер ZnSe; 6 — буфер GaAs; 7 — буфер-сверхрешетка  $5 \cdot (\text{InP}_{50\text{A}} - \text{Ga}_{0.25}\text{In}_{0.75}\text{As}_{0.5}\text{P}_{0.5})_{50\text{A}}$ ; I — ширина на полувысоте максимума кривой качания,  $\text{arcsec}\theta$ ; II — плотность ямок травления,  $\text{cm}^{-2}$ , III — постэпитаксиальный отжиг.

ставляет 2–3 атомных радиуса. При размере ковалентного радиуса атома кремния 5.4 Å глубина слоя, оказывающего влияние на адсорбционные свойства поверхности порядка 10–15 Å. Из этого следует, что экранирование поверхности, с некоторым правильно периодическим полем потенциала взаимодействия, слоем, толщина которого не превышает 2–3 ковалентных радиусов кремния, не уничтожает полностью влияния этого потенциала на поверхности слоя экранирующего материала. То есть имеет смысл думать о наличии некоторого ориентирующего влияния через экранирующий слой. В преломлении на поставленную задачу роста InP на кремнии этим решением может служить атомарно-гладкая поверхность подложки кремния, покрытая тонким слоем естественного оксида кремния. Процесс естественного окисления не термический, и изменения в состоянии структуры поверхности оксида кремния ожидать не следует: окислена атомарно-гладкая поверхность, поэтому поверхность слоя естественного оксида кремния также является атомарно-гладкой.

Рост InP на подложке  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  не является правильным эпитаксиальным ростом, потому что растущая пленка определяется в значительной мере структурой приповерхностного слоя. Поверхностный слой оксида кремния оказыва-



**Рис. 2.** Спектральная зависимость интенсивности фотолюминесценции для InP на Si подложке.

ет экранирующее воздействие, ослабляя и размывая спектр распределения потенциала поверхности кремния. Это значит, что экранирующий слой будет релаксировать положения атомов фосфида индия и напряжения, возникающие из-за несоответствия параметров кристаллических решеток.

Таким образом, основные условия получения InP на Si без использования высокотемпературного процесса деоксидирования состоят в следующем:

1) атомарно-гладкая исходная поверхность кремниевой подложки, позволяющая получать структуру InP с фазовым упорядочением;

2) наличие слоя естественного оксида кремния толщиной порядка одного межатомного расстояния кремния (порядка 5 Å), релаксирующего напряжения несоответствия в структуре;

3) низкая скорость роста InP; предполагается, что это увеличит вероятность определяющего влияния потенциала взаимодействия кремния при встраивании молекул InP на поверхность естественного оксида кремния.

Эксперимент, который позволяет исследовать предложенную гипотезу, требует более сильных экспериментальных возможностей по сравнению с теми, которыми мы располагаем. Только этим объясняется упрощенность эксперимента. В эксперименте не использована предэпитаксиальная обработка поверхности для получения атомарно-гладкой поверхности, в связи с чем материал не будет свободен от дефектов фазового разупорядочения. На положительный результат можно рассчитывать, если структура InP не будет поликристаллической. В эксперименте исполь-

InP/буф	$a / a$		$\Delta a, \%$		$a / a$		буф/Si
	InP	Si	InP/буф	буф/Si	буф	Si	
InP/Ge	5.8687	5.6575	3.66	4.1	5.6575	5.4307	Ge/Si
InP/InP	5.8687	5.8687	—	7.75	5.8687	5.4307	InP/Si
InP/GaAs	5.8687	5.6531	3.7	4.0	5.6531	5.4307	GaAs/Si
InP/GaP	5.8687	5.4505	7.39	0.36	5.4505	5.4307	GaP/Si
InP/ZnSe	5.8687	5.6676	3.49	4.27	5.6676	5.4307	ZnSe/Si
InP/AlP	5.8687	5.452	7.38	0.37	5.452	5.4307	AlP/Si
InP/ZnS	5.8687	5.4093	8.15	0.39	5.4093	5.4307	ZnS/Si
InP/AlAs	5.8687	5.6622	3.58	4.17	5.6622	5.4307	AlAs/Si
GaAs/GaP	5.6531	5.4505	3.65	0.36	5.4505	5.4307	GaP/Si

зованы промышленные образцы подложек, толщина естественного оксида кремния на поверхности подложки составляет 7 Å [5]. Выращивание InP на Si(100) со слоем естественного оксида проводилось эпитаксией из мателлоорганических соединений (МОСГФЭ). Источниками использованы фосфин и триметил индия, разбавленные в водороде. Подложки не проходили предварительной влажной обработки, предэпитаксиального высокотемпературного деоксидирования. Загруженный реактор откачивали и последовательно продували азотом, водородом. Формирование слоя InP включает этапы предэпитаксиального отжига в атмосфере  $\text{PH}_3 + \text{H}_2$  при температуре 610 С в течение 10 мин и последующего роста при температуре 650 С и давлении 50 Тор со скоростью 1.5 мкм/ч. После роста InP не проводилось дополнительного постэпитаксиального отжига, структуры охлаждали до комнатной температуры в потоке фосфина.

В результате была получена пленка InP на Si подложке с удовлетворительной морфологией поверхности. Визуально отсутствуют характерные признаки поликристаллической структуры материала. Получен материал с гладкой, блестящей поверхностью (рис. 1).

На рис. 2 приведена спектральная характеристика фотolumинесценции полученного материала. Сравнение спектральных зависимостей InP, полученного на подложках InP [6] и Si, позволяет отметить совпадение значений длины волны в максимуме спектральных кривых на 920 нм. Большому значению ширины пика (80 нм) на полувысоте максимума в спектре фотolumинесценции InP на Si подложке по сравнению с InP на InP подложке соответствует более напряженная структура InP на глубине 0.1 мкм от поверхности.

Полученный результат выращивания InP на Si подложке удовлетворительный. Для роста взята Si подложка с ориентацией поверхности (100), поверхность которой содержит тонкий слой естественного оксида кремния толщиной порядка одного монослоя структуры кремния (7 Å). Выращенный на этой поверхности фосфид индия имеет структуру, близкую к монокристаллической. Возможной причиной эффекта является ориентирующее влияние потенциала взаимодействия кремниевой подложки через экранирующий слой диоксида кремния на структуру фосфида индия.

#### Список литературы

- [1] *Uhrberg R.I.G., Bringans R.D., Bachrach R.Z., Northrup J.E.* // J. Vac. Sci. Technol. 1986. V. A4. N 3. Pt. 2. P. 1256.
- [2] *Ohno T.R., Williams E.D.* // J. Vac. Sci. Technol. 1990. V. B8. N 4. P. 874-882.
- [3] *Grundmann M., Krots A., Bimberg D.* // J. Vac. Sci. Technol. 1991. V. B9. N 4. P. 2158-2166.
- [4] *Lubnow A., Tang G.P., Wehmann H.-H., Schlachetzki A.* // J. Electronic Materials. 1992. V. 21. N 12. P. 1141-1146.
- [5] *Takahagi T., Nagai I., Kuroda H.* // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 7. P. 3516-3521.
- [6] *Pearton S.G., Al-Jassim M.M., Short K.T.* // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 3. P. 1083-1088.

Институт  
микроэлектроники РАН  
Ярославль

Поступило в Редакцию  
23 августа 1995 г.