

05.2; 05.3; 06.3; 12

© 1992

ЖИДКОФАЗНАЯ ЭПИТАКСИЯ $Mn_xHg_{1-x}Te$ и $Zn_xHg_{1-x}Te$ В ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЕ

А.М. Андрухи в, В.И. Иванов - Омский,
К.Е. Миронов

Твердые растворы $Me_xHg_{1-x}Te$ ($Me = Cd, Mn, Zn$) в настоящее время являются основными материалами ИК-оптоэлектроники, а метод жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) — один из основных способов их получения [1]. Отметим, что если по технологии получения $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) накоплен большой экспериментальный опыт, то технология выращивания $Mn_xHg_{1-x}Te$ (МРТ) и $Zn_xHg_{1-x}Te$ (ЦРТ) находится в стадии лабораторных исследований. Особенностью технологии рассматриваемых систем является высокое давление паров компонентов (ртути, теллура), что может приводить к обеднению жидкой фазы в процессе эпитаксиального выращивания. С целью предотвращения этого нежелательного явления для проведения процесса ЖФЭ нами была выбрана закрытая система — росто-вой контейнер с подложкой и шихтой размещался в вакуумированной кварцевой ампуле.

Эпитаксия твердых растворов МРТ и ЦРТ осуществлялась на подложках $CdTe$, либо $CdZnTe$ из растворов, обогащенных теллу-ром [2, 3]. Содержание теллура в жидкой фазе состава $(Me_zHg_{1-z})_{1-y}Te_y$ выбиралось $y=0.75-0.85$, что обеспечивало понижение температур процесса эпитаксии до значений $480-520^\circ C$. Значение z определялось экспериментально из условия получения слоя заданного состава и обычно находилось в интервале $z = 0.01-0.10$. Кристаллизация слоя на подложке реализовывалась пересы-щением жидкой фазы методом ступенчатого охлаждения, либо суперохлаждения на $5-10$ градусов относительно температуры лик-видуса. В результате были получены эпитаксиальные слои толщи-ной $5-40$ мкм.

Принципиально сложным моментом при ЖФЭ твердых растворов МРТ и ЦРТ является получение слоев с планарной поверхностью, свободной от остаточного расплава, что связано в первую очередь с очень малой величиной поверхностного натяжения теллура, ко-торый в нашем случае выступает в качестве растворителя [4]. Как известно, высокое качество поверхности является необходимым условием при планарной технологии изготовления приборных струк-тур. Используемая модификация процесса ЖФЭ в закрытой систе-ме направлена именно на решение этой проблемы.

В традиционных способах контакта-деконтации раствора-распла-ва и подложки методом „макания“ (квазиоткрытая система) и

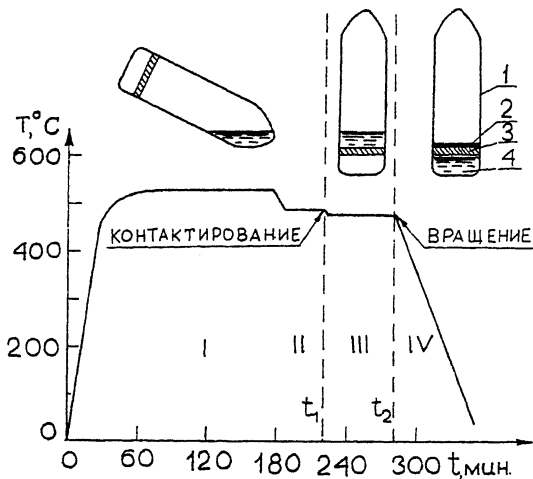


Рис. 1. Температурно-временной режим процесса ЖФЭ. 1 - кварцевая ампула, 2 - эпитаксиальный слой; 3 - подложка; 4 - раствор-расплав. Ростовой контейнер не показан.

„наливания“ (закрытая система) [5, 6] жидкая фаза удалялась с поверхности выросшего слоя под действием силы тяжести. Результаты, как правило, были плохо воспроизводимы и на поверхности очень часто присутствовали следы раствора-расплава. Другой известный способ удаления жидкой фазы под действием центробежных сил применительно к КРТ и методу макания был рассмотрен в работе [7]. Показано, что центробежная сила при скоростях вращения подложки в несколько сот оборотов в минуту может превышать по величине силу тяжести. Таким образом, удаление жидкой фазы под действием центробежных сил становится более эффективным. Принципиально этот прием может быть применен и для закрытой системы в том случае, когда ампула размещена в тепловом узле печи, который может вращаться вокруг вертикальной оси. Тогда при вращении жидкая фаза подвергается воздействию центробежной силы $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$, которая, как видно, пропорциональна квадрату угловой скорости вращения и величине смещения ампулы относительно оси вращения.

Рассмотрим температурно-временной режим процесса ЖФЭ, который приведен на рис. 1. На участке I контейнер нагревается до температуры на 10-50 градусов выше температуры ликвидуса для заданного состава жидкой фазы и выдерживается в течение 2-4 часов до полной гомогенизации раствора-расплава. На этом участке подложка и жидкая фаза находятся в противоположных концах ампулы. Затем на участке II раствор-расплав охлаждается ниже температуры ликвидуса и в момент t_1 приводится в контакт

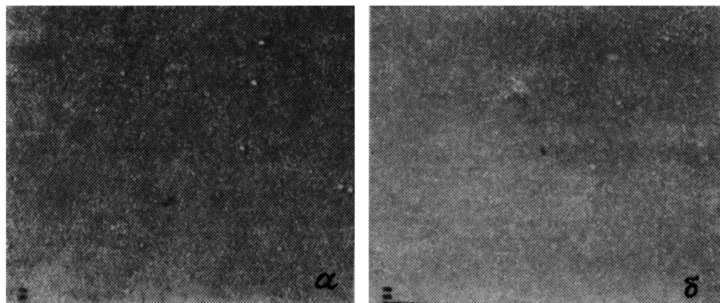


Рис. 2. Микрофотография поверхности эпитаксиального слоя. Удаление раствора-расплава поворотом печи (а) и центрифугированием (б). Маркер - 100 мкм.

с подложкой путем поворота печи относительно горизонтальной оси. На участке Ш происходит кристаллизация эпитаксиального слоя на подложке. В момент t_2 включается вращение печи вокруг вертикальной оси. Ростовый контейнер имеет узкую прорезь, через которую жидкая фаза под действием центробежных сил удаляется с поверхности эпитаксиального слоя (в статическом положении вытеканию раствора-расплава через щель препятствуют силы поверхностного натяжения). На участке IУ печь охлаждается до комнатной температуры.

Эффективность удаления раствора-расплава иллюстрируется (рис. 2) на примере эпитаксиальных слоев ЦРТ. Показаны поверхности при традиционном удалении жидкой фазы путем поворота печи (под действием силы тяжести) и при центрифугировании по описанной методике (под действием центробежных сил). Видно, что в первом случае на поверхности слоя присутствуют характерные затвердевшие капли радиусом ~ 20 мкм, в то время как во втором случае поверхность свободна от следов раствора-расплава.

Описанная методика была использована при эпитаксиальном выращивании твердых растворов МРТ и ЦРТ. Основные параметры процесса эпитаксии и характеристика слоев представлены в таблице. Выращенные слои в обеих системах имели зеркально-гладкую поверхность, причем более гладкая поверхность, как видно из таблицы, характерна для эпитаксиальных слоев ЦРТ. На рис. 3 представлена профилограмма поверхности слоя ЦРТ и, для сравнения, типичного слоя КРТ. Видно, что высота микрорельефа в первом случае в 2-3 раза меньше. Таким образом, можно констатировать, что по критерию планарности для изготовления приборных структур слои ЦРТ предпочтительнее.

Выращенные слои МРТ и ЦРТ имели р-тип проводимости и концентрацию дырок $5 \cdot 10^{16} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$, что несколько меньше, чем типичные для системы КРТ $10^{17} - 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Последнее об-

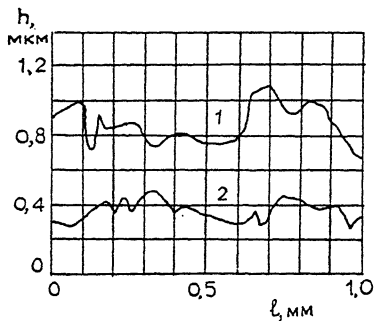


Рис. 3. Профилотграммы поверхности эпитаксиальных слоев КРТ (1) и ЦРТ (2).

Т а б л и ц а

| Параметры | МРТ | ЦРТ |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Состав слоя, мол. доля | 0.1-0.15 | 0.15-0.2 |
| Подложки | <i>CdTe, CdZnTe</i> | <i>CdTe, CdZnTe</i> |
| Температуры эпитаксии, °С | 500-520 | 480-520 |
| Интервал переохлаждения, °С | 5-10 | 5-10 |
| Время роста, мин | 30-60 | 30-60 |
| Толщина слоя, мкм | 5-40 | 5-40 |
| Высота микрорельефа, мкм | 0.2-0.3 | 0.1-0.2 |
| Концентрация дырок, см ⁻³ , отжиг 240 °С | $5 \cdot 10^{16} - 10^{17}$ | $5 \cdot 10^{16} - 10^{17}$ |
| Концентрация электронов, см ⁻³ | $> 2 \cdot 10^{14}$ | $> 10^{14}$ |
| Подвижность электронов, см ² /В с | $> 2 \cdot 10^4$ | $> 5 \cdot 10^4$ |

стоятельность связано, по нашему мнению, с более узкой областью гомогенности в этих системах. Для уменьшения концентрации вакансий ртути производился термический отжиг слоев в насыщенных парах ртути. Отжиг слоев в течение 48 часов при температурах ниже 260 °С позволял получать п-тип проводимости, обусловленный, главным образом, концентрацией фоновых примесей. Концентрация некомпенсированных доноров и их подвижности при 77 К для слоев с длинноволновой границей фотоответа 5 мкм представлены в таблице. Полученные результаты свидетельствуют об эффективном управлении в широком интервале концентрацией собственных дефектов путем термического отжига в насыщенных парах ртути.

Таким образом, основные параметры выращенных в закрытой системе слоев МРТ и ЦРТ соответствуют или превышают уровень, достигнутый на сегодняшний день на этих материалах, приближаясь по качеству к КРТ, а используемая модификация удаления жидкой фазы путем центрифугирования позволяет получить планарную поверхность, свободную от остатков раствора-расплава.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Г и р и ч Б.Г., Л а к е е н к о в В.М. // Новости науки и техники. Сер.: Новые материалы, технология их производства и обработки. В. 3. 1990. С. 1-51.
- [2] И в а н о в - О м с к и й В.И., М и р о н о в К.Е., М о в и л э В.Ф., К о р н я к о в а О.В. Тез. докл. 7 Всес. конф. по росту кристаллов. Т.2. М., 1988. С. 316-317.
- [3] А н д р у х и в А.М., М и р о н о в К.Е. Тез. докл. 3 Всес. конф. по материаловедению халькогенидных полупроводников. Т. 1. Черновцы, 1991. С. 131.
- [4] P e l l i c i a r i B. // J. Cryst. Growth. 1988. V. 86. N 1. P. 146-160.
- [5] W a n g C.C., S h i n S.H., C h u M., L a n i r M., V a n d e r w y c k A.H. // J. Electrochem. Soc. 1980. V. 127. N 1. P. 175-179.
- [6] M r o s z k o w s k i J.A., V y d y a n a t h H.R. // J. Electrochem. Soc. 1981. V. 128 N 3. P. 655-661.
- [7] B y l a n d e r E.G. // J. Mat. Sci. Lett. 1984. V. 3. P. 827-828.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
15 июня 1992 г.