

06;07;11;12

Влияние диэлектрической пленки SrF_2 на люминесцентные свойства $n\text{-InP}$

© В.В. Агаев, В.А. Созаев, Г.И. Яблочкина

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)
362021 Владикавказ, Россия
e-mail: skgtu@skgtu.ua

(Поступило в Редакцию 30 марта 2004 г.)

Показано, что в качестве эффективных защитных покрытий пленок фосфида индия можно использовать SrF_2 , который способствует снижению скорости поверхностной рекомбинации из-за близости параметров решеток. В результате этого повышается внешний квантовый выход излучательной рекомбинации.

В последние годы приобрели особую остроту регистрация и количественная оценка ультрафиолетового излучения (УФ). Это в первую очередь связано с изучением экологической ситуации и все более широким использованием источников УФ в науке и технике, медицине и народном хозяйстве. Все это потребовало расширения ассортимента функциональных измерительных приборов, основным элементов которых является фотоприемник [1,2].

Наряду с GaP, Si, Ge и InGaAsP [3] фотоприемники с верхним слоем $n\text{-InP}$ перспективны для разработки фотоприемников в ультрафиолетовом диапазоне. Как известно, для таких приемников $p\text{-}n$ -переход необходимо располагать как можно ближе к поверхности, но в этом случае поверхностная рекомбинация начинает оказывать существенное влияние на эффективность фотоприемника.

Из-за высокого внутреннего квантового выхода (90%) и низкой скорости поверхностной рекомбинации в $n\text{-InP}$ повышается роль эффектов многопроходности и переизлучения, которые играют важную роль в оптоэлектронных приборах [4]. Благодаря этим эффектам, в $n\text{-InP}$ осуществляется эффективный перенос возбуждения [5].

$n\text{-InP}$, обладая низкой скоростью поверхностной рекомбинации $2 \cdot 10^4 \text{ cm/s}$ (для сравнения в $n\text{-GaAs}$ — $3 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$ [6]), позволит создать фотоприемник с высокой чувствительностью в ультрафиолетовой области. Однако открытая поверхность $n\text{-InP}$ оказывается нестабильной во времени [7]. Для стабилизации поверхности InP следует использовать защитные покрытия. Имеется большое количество диэлектрических покрытий, которые можно использовать в качестве защитных поверхностей $n\text{-InP}$. К ним можно отнести как собственный окисел $\text{In}(\text{PO}_4)_2$, так и окислы других соединений Al_2O_3 , SiO_2 и т.д. В последнее время возрос интерес к пленкам на фторидной основе [8,9], для InP это пленки из SrF_2 .

Пленка из SrF_2 обеспечивает прозрачность в ближней ультрафиолетовой области и при этом увеличивает скорость поверхностной рекомбинации, так как параметр решетки близок к параметру InP. Пленка из SrF_2 создает на границе с InP „гетеропереход“, что не только обеспечивает эффективную защиту поверхности, но и снижает

поверхностную рекомбинацию в InP, на что указывает повышение внешнего квантового выхода излучательной рекомбинации.

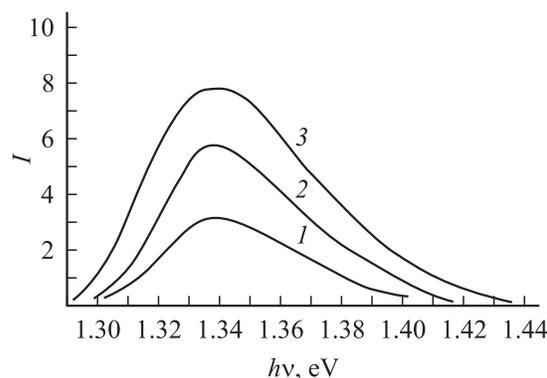
Эпитаксиальные пленки InP получали методом жидкофазной эпитаксии [4]. Толщина эпитаксиального слоя составляла $2\text{--}3 \mu\text{m}$, а концентрация неконтролируемой примеси $n = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, которая определялась по пробою металл–полупроводник.

Выращенную таким образом пленку делили на три части. Одна оставалась нетронутой и являлась контрольной, а на две другие напылялись диэлектрические пленки SrF_2 , или CaF_2 , или $\text{SiO}+\text{SiO}_2$.

Напыление диэлектрических пленок осуществлялось вакуумным напылением. Толщина напыленной пленки варьировалась в пределах $0.4\text{--}1 \mu\text{m}$.

Для исследования фотолюминесцентных свойств использовалась установка, аналогичная [4], в которой в качестве источника возбуждающего излучения использовался непрерывный Ar лазер ($\lambda = 0.514 \mu\text{m}$) с максимальной мощностью 1 W.

Спектральные зависимости всех трех частей эпитаксиальной пленки показаны на рисунке. Для оценки внешнего квантового выхода спектры исследуемых об-



Спектры люминесценции $n\text{-InP}$ с нанесенной пленкой диэлектрика и без: 1 — чистая непокрытая пленкой зеркальная поверхность эпитаксиальной пленки $n\text{-InP}$, 2 — на зеркальную поверхность эпитаксиальной пленки нанесена диэлектрическая пленка из $\text{SiO}+\text{SiO}_2$, 3 — на зеркальную поверхность эпитаксиальной пленки нанесена диэлектрическая пленка из SrF_2 .

разцов сравнивались со спектром калиброванной гетероструктуры и при неизменной геометрии эксперимента и постоянной квантовой чувствительности фотоприемника оценивался внешний квантовый выход излучательной рекомбинации эпитаксиальных пленок InP.

Внешняя квантовая эффективность люминесценции для чистого непокрытого образца составляла $\eta_e = 2.2\%$, для пленки с диэлектриком из SiO+SiO₂ $\eta_e = 4\%$, а для пленки с напылением SrF₂ $\eta_e = 6.1\%$.

Для сравнения экспериментальных данных с теоретическими нами были проведены расчеты внешнего квантового выхода интенсивности люминесценции для чистых и имеющих диэлектрические покрытия эпитаксиальных пленок InP. Расчеты были выполнены при допущениях: внутренний квантовый выход люминесценции в узкой возбужденной области равен 100%, а в остальной невозбужденной области равен нулю; эффекты переизлучения отсутствуют; поверхность образца зеркальна, а выходящее излучение ограничено эффектами полного внутреннего отражения

$$\eta_e = \frac{2n_0^3}{n(n_0 + n)^2}.$$

Проведенные расчеты показали, что для чистых *n*-InP эпитаксиальных пленок внешний квантовый выход $\eta_e = 2.6\%$, а у образцов, покрытых диэлектрической пленкой с показателем преломления $n_0 = 1.43$, внешний квантовый выход не превышает 4.5%. Данные расчетов хорошо согласуются с полученными результатами для некоторых пленок *n*-InP и с покрытием из SiO+SiO₂. Повышение внешнего квантового выхода напыленных пленок из SrF₂ более чем в 3 раза по сравнению с непокрытыми образцами обусловлено, по нашему мнению, уменьшением скорости граничной рекомбинации, так как SrF₂ имеет кубическую сингонию с постоянной решетки 5.79 Å, что практически совпадает с параметром решетки InP и приводит к заметному снижению безызлучательной рекомбинации на границе InP–SrF₂ и, как следствие, к возрастанию эффектов переизлучения, на что указывает рост полуширины спектра и существенный рост внешнего квантового выхода, величина которого превосходит расчетные данные, полученные из простых теоретических предположений.

Таким образом, диэлектрические пленки из SrF₂ могут служить эффективным защитным покрытием эпитаксиальных пленок из InP.

Список литературы

- [1] Стафеев В.И., Анисимов И.Д. // ФТП. 1994. Т. 28. Вып. 3. С. 461–466.
- [2] Анисимова И.М., Викулин И.М., Заитов Ф.А., Курмашев Ш.Д. Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра. М.: Радио и связь, 1984. 216 с.
- [3] Филачев А.М., Пономаренко В.П., Таубкин И.И. и др. // Прикладная физика. 2002. № 6. С. 52–61.

- [4] Гарбузов Д.З., Агаев В.В., Гореленок А.Т. // ФТП. 1982. Т. 16. Вып. 9. С. 1538–1542.
- [5] Гарбузов Д.З., Агафонов В.Г., Агаев В.В., Лантратов В.М., Чудинов А.В. // ФТП. 1983. Т. 17. Вып. 12. С. 2168–2172.
- [6] Hoffman G.A., Gerritsen J. // J. Appl. Phys. 1980. Vol. 51. N 3. P. 1603–1604.
- [7] Kim T.S., Lester S.D., Streetman B.G. // J. Appl. Phys. 1987. Vol. 61 (5). N 1 March. P. 2072–2074.
- [8] Башников А.Г., Кимель А.В., Павлов В.В., Писарев Р.В., Соколов Н.С. // ФТТ. 2000. Т. 42. Вып. 5. С. 884–892.
- [9] Гастеев С.В., Иванова С.Э., Соколов Н.С., Сутурин С.М., Лангер Е.М. // ФТТ. 2002. Т. 44. Вып. 8. С. 1385–1389.