

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УДК 621.383.032

В. И. БУДАРНЫХ, В. Ф. КРАСНОВ, В. Э. РЯБЧЕНКО

(Новосибирск)

ФОТОЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК $p\text{-GaAs} : \text{Cs}, \text{O}$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭПИТАКСИИ

В литературе известны фотокатоды с отрицательным электронным сродством (ОЭС) на основе полупроводников p -типа GaAs, работающих в режиме пропускания [1,2]. Трудность получения эффективной фотоэмиссии на таких структурах заключается в сложности выполнения условия высокого кристаллического совершенства полупроводниковой пленки GaAs (ответственного за большие диффузионные длины L_D), выращенной на прозрачной подложке в связи с большими рассогласованиями в постоянных кристаллических решетках.

Рост полупроводниковых эпитаксиальных пленок сложного состава методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) в условиях сверхвысокого чистого вакуума в последние годы интенсивно развивается как у нас в стране, так и за рубежом [3,4].

Нами были выращены эпитаксиальные слои арсенида галлия p -типа, легированные Ве с концентрацией $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ на подложках GaP с ориентацией (100) методом молекулярной эпитаксии без введения буферного слоя, обычно применяемого для подавления рассогласования между подложкой и пленкой. Технологическая установка и режимы роста подробно описаны в [3]. Температура подложки при эпитаксиальном росте была равна 550°C , температуры источников Ga, As, Ве составляли $950, 260, 800^\circ\text{C}$ соответственно. Активация фотокатода цезием и кислородом должна проходить на атомарно чистой поверхности полупроводниковой пленки, которая достигается либо высокотемпературным прогревом в сверхвысоком вакууме ($600\text{--}620^\circ\text{C}$), близком к температуре неконгруэнтного разложения, либо ионной бомбардировкой с последующим отжигом [5]. Часто эти методы обработки поверхности приводят к нежелательным результатам, а именно к появлению на поверхности фотокатода ямок травления с характерными размерами $25\text{--}100 \text{ нм}$ [6], что снижает пространственное

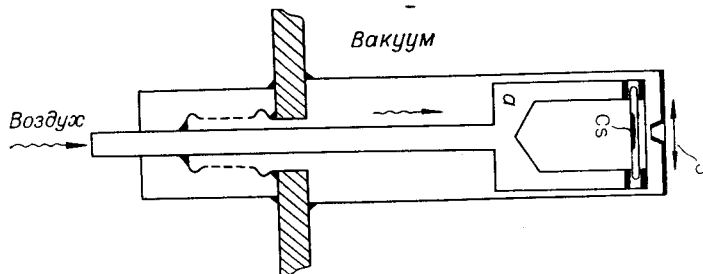


Рис. 1.

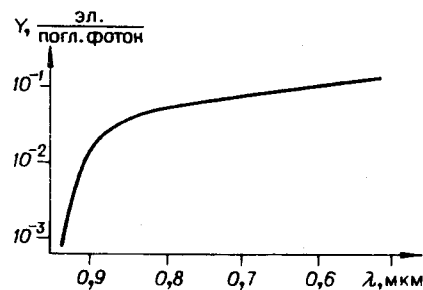


Рис. 2.

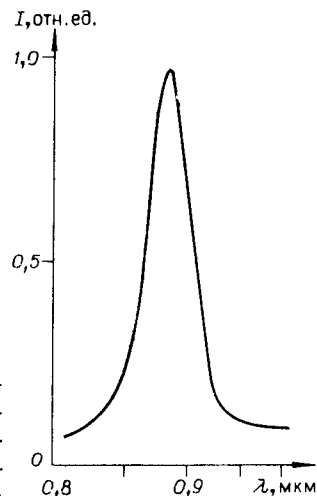


Рис. 3.

разрешение приборов на основе ОЭС-эмиттеров. Чтобы предотвратить разрушение поверхности, сопутствующее высокотемпературной очистке, измерение фотоэмиссионных характеристик проводилось на этой же установке без выноса образцов в атмосферу, т. е. с соблюдением атомарной чистоты поверхности перед активацией фотокатода без дополнительного ее нагрева. Вакуумный объем был снабжен источниками цезия, кислорода, оптическим окном и сеточным анодом, который во время роста убирался. Источник цезия (рис. 1) представляет собой ячейку Кнудсена, снабженную устройством для слома ампулы с металлическим цезием при движении штока вверх и заслонкой (3). Нагрев источника осуществлялся подачей горячего воздуха в полость *a*.

После роста эпитаксиальной пленки *p*-GaAs происходила поочередная активация катода Cs и O₂ общепринятым способом [7]. В различные моменты процесса активации снимались спектральные кривые фотоэмиссии. На рис. 2 показана спектральная характеристика *p*-GaAs/GaP:Cs, O₂ фотокатода, активированного оптимальным образом. Резкий спад квантового выхода происходит в области 0,88 мкм. Этот же катод, активированный только Cs, имел квантовый выход приблизительно на порядок ниже, чем фотокатод с активацией Cs и O₂. Для исключения ошибок при расчете диффузионной длины *L_D* по диффузионной модели [7] нами был измерен коэффициент поглощения полученной пленки *p*-GaAs на этой же самой оптической системе. Диффузионная длина составила ~0,2 мкм, величина вероятности выхода *B* = 0,17. На относительно высокое кристаллическое совершенство полученных пленок указывают и измерения спектров фотолюминесценции, показанные на рис. 3. Полуширина пика фотолюминесценции, измеренная при комнатной температуре, 0,2 эВ.

В работе [8] отмечалось, что пленки GaAs, выращенные на подложках GaP методом молекулярной эпитаксии, по своим электрофизическим свойствам не хуже подобных пленок, выращенных другими методами, но с буферными слоями. Удовлетворительные параметры, полученные нами при исследовании фотоэмиссионных свойств пленок *p*-GaAs толщиной ~1 мкм, приводят к такому же выводу.

Таким образом, метод молекулярно-лучевой эпитаксии, как следует из полученных результатов, дает возможность формировать простые прострельные ОЭС-фотокатоды на основе пленок *p*-GaAs, выращенных непосредственно на широкозонных подложках GaP.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fisher D. G., Olsen G. H. Properties of High Sensitivity GaP/In_xGa_{1-x}P/GaAs:Cs—O Transmission Photocathodes.— J. Appl. Phys., 1979, vol. 50, N 4.
2. Allenson M. B. et al. An Improved GaAs Transmission Photocathode.— J. Phys. D: Appl. Phys., 1972, N 5.

3. Бударных В. И., Иванченко В. А., Логвинский Л. М., Рябченко В. Э. Нелегированные пленки арсенида галлия, выращенные методом молекулярной эпитаксии.— Письма в ЖТФ, 1979, т. 5, вып. 1.
4. Lusner Paul E. Crystal Growth by Molecular Beam Epitaxy.— Solid State Technol., 1977, vol. 20, N 12.
5. Sommer A. H. Cesium-Oxygen Activation of Three-Five Compound Photoemitters.— J. Appl. Phys., 1971, vol. 42, N 5.
6. Bradley D. J., Allenson M. B., Holeman B. R. The Transverse Energy of Electrons Emitted from GaAs Photocathodes.— J. Phys. D: Appl. Phys., 1977, vol. 10, N 1.
7. James L. W., Moll J. L. Transport Properties of GaAs Obtained from Photoemission Measurements.— Phys. Rev., 1969, vol. 183, N 3.
8. Joyce B. A., Foxon C. T. Growth and Doping of Semiconductor Films by Molecular Beam Epitaxy.— In: 6-th European Solid State Device Research Conference Held up Technische Universität München, 13—16 Sept., 1976/Ed. R. Müller and E. Lange. Bristol — London: Inst. of Physics, 1977 (Conf. Ser. N 32).

Поступила в редакцию 28 апреля 1980 г.

УДК 621.382.2

В. В. АХТЫРСКИЙ, А. И. БАЗЫК, Б. И. СУШКО,
А. М. ТУЗОВСКИЙ, Л. Г. ШЕНЕЛЬ

(Киев)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ GaAs, ОТОЖЖЕННОГО В РАСТВОРЕ Al

Первые исследования, посвященные фотоэлектрическим преобразователям (ФЭП) на основе GaAs, показали, насколько проблематичными являются скорость поверхностной рекомбинации (СПР) и диффузионная длина этого материала при создании эффективных приборов. Хотя величина СПР специально обработанных кристаллов GaAs всего на порядок выше соответствующей величины кремния, эффект влияния СПР на эффективность преобразования (КПД) оказался значительным. Это обусловлено тем, что практически все неравновесные носители генерируются в узкой приповерхностной области.

Второй проблемой ФЭП на основе GaAs является малая величина диффузионной длины неосновных носителей в этом материале, что требует изготовления мелких *p-n*-переходов. В свою очередь, мелкий переход всегда вызывает трудности при изготовлении надежных и оптимизированных по генерируемой мощности контактов. От величины диффузионной длины зависит также коэффициент собирания во всей спектральной области.

Проблема поверхностной рекомбинации в GaAs решалась двумя путями: созданием поверхности с минимальной плотностью поверхностных состояний и созданием тянущих встроенных полей в области генерации неравновесных носителей, способствующих их эффективному собиранию на *p-n*-переходе. Использование гетеропереходов $Al_xGa_{1-x}As-GaAs$ позволило решить в некоторой мере обе указанные проблемы. Установлено, что слой $Al_xGa_{1-x}As$, выращенный на поверхности GaAs, приводит к снижению СПР до 10^4 см/с и при этом выполняет функцию оптического фильтра [1, 2]. Помимо этого, на основе данной системы разработаны методы создания плавных гетероструктур [3,4], в которых встроенное квазиэлектрическое поле, обусловленное градиентом состава твердого раствора, приводит к увеличению эффективной длины смещения неравновесных носителей, а также к уменьшению поверхностного рекомбинационного потока. Однако требование одновременного уменьшения поверхностных