

Фотоэлектроника: элементная база и технология

УДК 621.383

Влияние пленки Si_3N_4 , осажденной в плотной плазме, на темновой ток и стабильность планарного InGaAs/InP pin-ФД

Т. В. Киселева, А. В. Кулыманов, О. В. Огнева, А. Е. Трошков,
И. В. Чинарева, А. Г. Шарипов

ФГУП «Научно-производственное объединение "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Представлены результаты воздействия пленки Si_3N_4 , осажденной в плотной плазме, на темновой ток и стабильность планарного InGaAs/InP pin-ФД. Указаны режимы осаждения пленки из смеси азота с моносиланом и параметры полученной пленки. Технология осаждения пленки Si_3N_4 обеспечивает получение и стабилизацию плотности темнового тока планарного InGaAs/InP pin-ФД на уровне 10^5 — 10^6 А/см², в том числе и при повышенной температуре.

При изготовлении планарного InGaAs/InP pin-ФД пленка Si_3N_4 используется в качестве маскирующей, защитной и просветляющей. Выбор для этих целей указанной пленки определяется ее преимуществами:

- соответствие соединениям $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ по величине коэффициента термического расширения [1];
- малое содержание кислорода, препятствующее образованию на поверхности InGaAsP проводящих окислов (типа In_2O_3) [2];
- высокая стойкость к радиационным воздействиям [3];
- непроницаемость по отношению к наиболее часто используемым диффузантам — Cd, Zn и их соединениям [2, 3].

Диэлектрическая пленка, применяемая при изготовлении pin-ФД, должна обеспечивать полную изоляцию поверхности p - n -перехода от внешней среды, а также просветление в рабочем диапазоне длин волн. К диэлектрику для защиты поверхности структур на основе InGaAsP/InP предъявлялись следующие требования:

толщина пленки должна составлять 0,17—0,2 мкм, а коэффициент преломления — $2 \pm 0,1$, при этом коэффициент френелевского отражения от поверхности структуры на рабочих длинах волн — менее 5 %;

плотность микропор пленки не должна превышать 100 см^{-2} ;

электрическая прочность пленки должна быть не менее 10^6 В/см.

Преимущества планарной технологии в большой степени определяются электрофизическими свойствами границы раздела "полупроводник-диэлектрик", в частности, плотностью поверхностных состояний на указанной границе N_{ss} и плотностью встроенного заряда в

диэлектрике N_{fb} . При этом высокие требования к собственно диэлектрику по электрической прочности, плотности микропор, химической и термической стойкости сохраняются.

В данной работе исследовалось влияние пленки Si_3N_4 , осажденной в плотной плазме, на темновой ток и стабильность планарного InGaAs/InP pin-ФД.

При стандартном процессе реакция взаимодействия газов активировалась разрядом частотой 5,28 МГц и мощностью 200 Вт. Температура процесса — 200 °С; давление в камере — 60 Па.

Процесс осаждения в плотной плазме проводили в модернизированной установке RDE-300 при следующих режимах: частота разряда 13,56 МГц, мощность 350 Вт. Температура процесса — 270 °С; давление в камере — 10^{-4} Торр. Скорость роста пленки — $100 \text{ \AA} / \text{мин}$.

В качестве исходных реагентов для синтеза пленки Si_3N_4 использовались смесь моносилана с аргоном (4 % SiH + 96 % Ar) и азот.

Введение в рабочую смесь аргона позволило снизить скорость осаждения пленки и улучшить равномерность осаждения (уменьшить разброс значений толщины диэлектрика для разных пластин). Использование в рабочей смеси азота вместо аммиака (другого традиционного реагента для осаждения Si_3N_4) обусловлено более высокой чистотой первого и легкостью его применения в вакуумных системах. Кроме того, N_2 обеспечивает значительно меньшую (по сравнению с NH_3) концентрацию водорода в пленке Si_3N_4 , более высокую термическую прочность и плотность диэлектрика.

С изменением химического состава пленки (отношения Si/N), который определяется соотношением по-

токов моносилана и азота в реакционной камере, существенно изменяется коэффициент преломления пленки n . В нашем случае соотношение SiH_4 и N_2 выбиралось таким, чтобы обеспечить $n \sim 1,9\text{--}2,1$, и составляло ~ 10 . При этом пленка характеризуется показателем преломления около 2 и низким содержанием водорода (4 %).

Параметры пленки Si_3N_4 исследовались с помощью эллипсометрии (контроль толщины и коэффициента преломления), Оже-спектроскопии (контроль элементного состава в объеме и на поверхности пленки), электрографии (контроль плотности микропор). Степень стехиометричности и плотность пленки Si_3N_4 оценивались по скорости травления диэлектрика в травителе на основе плавиковой кислоты [$\text{HF}(49\%)$]. Электрическая прочность контролировалась вольт-амперными характеристиками МДП-структур, полученных напылением контактов $\text{Ti}\text{--}\text{Au}$ на исследуемую пленку.

Кроме того, на планарных рпн-ФД после вскрытия в пленке Si_3N_4 контактных окон контролировалась величина I_{cur} (при $U = 10$ В). Вскрытие контактных окон осуществлялось фотолитографическим способом с использованием плазмохимического травления Si_3N_4 в смеси CF_4 и O_2 .

Результаты измерений параметров пленки Si_3N_4 и темновых токов p - n -переходов в зависимости от способа осаждения пленки представлены в таблице.

Метод Оже-спектроскопии не позволяет оценить присутствие в пленке Si_3N_4 водорода. Однако в виде связей $\text{Si}\text{--}\text{H}$ и $\text{N}\text{--}\text{H}$ водород обнаружен на спектрах поглощения указанной пленки в ИК-диапазоне длин волн (рис. 1).

Общая концентрация связанного водорода, оцененная по скорости травления пленки Si_3N_4 в растворе $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ (в нашем случае — $50 \text{ \AA}/\text{мин}$), составляла 10—15 ат.% для стандартного процесса и 4 % — для процесса в плотной плазме.

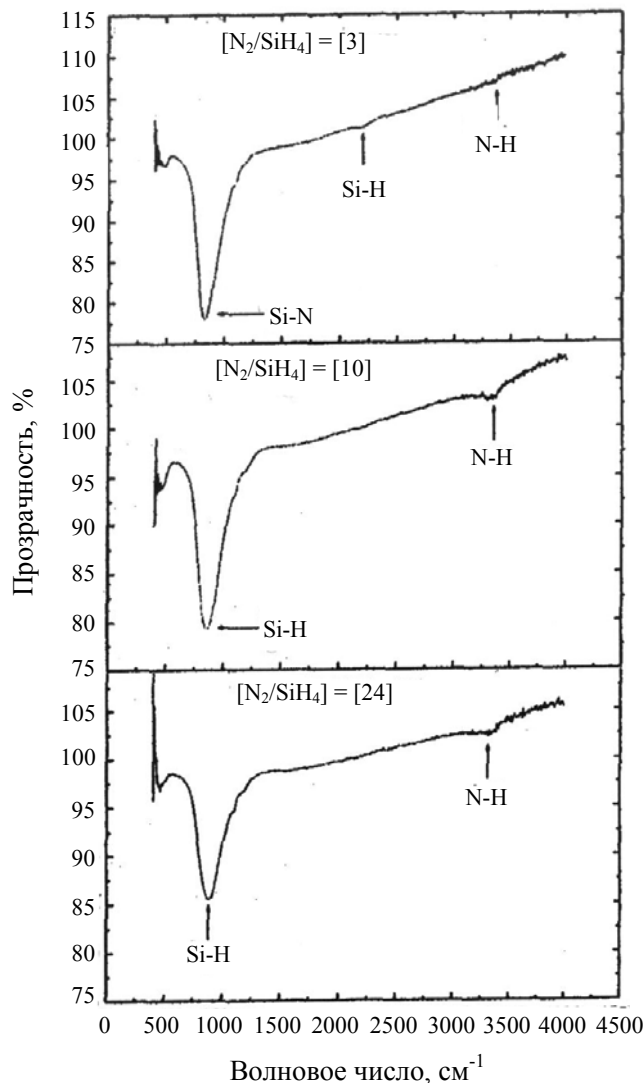


Рис.1. ИК-спектры диэлектрических слоев, осаждаемых в плотной плазме

Свойства диэлектрика	Si_3N_4 Стандартный процесс	Si_3N_4 Плотная плазма
Показатель преломления	1,9—2,1	1,8—1,9
Скорость травления в $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:10$, $\text{ \AA}/\text{мин}$	50	10
Содержание водорода, %	10—15	4
Отношение Si/N	0,7	1,1
Электрическая прочность, 10^6 В/см	1—2	7—8
Плотность микропор, см^{-2}	50—70	0—20
Плотность темнового тока рпн-ФД, 10^{-6} / см^2	0,1—0,3	1—10

В планарных ФД типичные значения I_{cur} составляли 0,1—0,5 нА ($\varnothing_{\text{фпн}} = 200$ мкм) и 0,06—0,1 нА ($\varnothing_{\text{фпн}} = 80$ мкм) (рис. 2). Лучшие ФД имели $I_{\text{cur}} = 0,03\text{--}0,04$ нА. Эти значения соответствуют плотности темнового тока $j_{\text{cur}} = (1\text{--}3) \cdot 10^{-7}$ А/см². Следует отметить высокую однородность значений темнового тока по пластине, а также воспроизводимость этих значений при планарной технологии изготовления ФД.

Наблюдалось увеличение темновых токов по сравнению со стандартным способом осаждения (в некоторых случаях более чем на порядок) при улучшении качества самой пленки. Возможно это связано с возникновением на поверхности нарушенного слоя (аналогичного слою, обнаруженному на поверхности полупроводника после воздействия плазмы CF_4).

На рис. 2 приведены вольт-амперные характеристики планарных ФД.

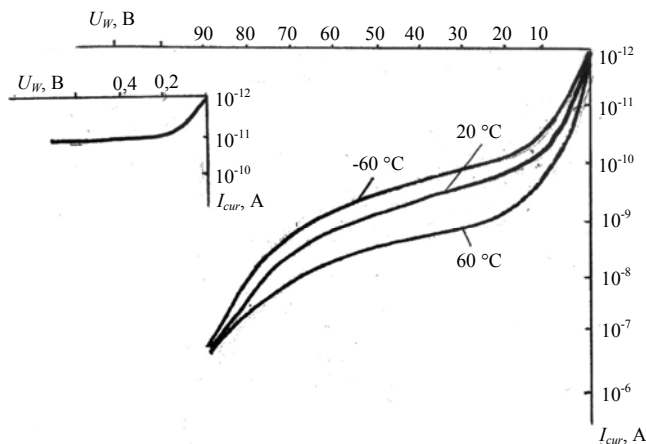


Рис.2. Обратные ветви ВАХ планарного ФД с диаметром p-n-перехода 200 мкм в диапазоне температур -60÷+60 °С

Наибольший интерес представляли испытания на долговечность, оценивающие, по сути, уровень и качество технологии изготовления ФД. Испытаниям подвергались две выборки приборов. ФД первой выборки испытывались в рабочем режиме ($U_w = 10$ В, $T = 60$ °С). ФД второй выборки испытывались в форсированном режиме ($U_w = 30$ В, $T = 100$ °С). Форсированный режим давал возможность на ранней стадии обнаружить приборы, которые, вероятнее всего, откажут и при работе в нормальных условиях.

Каждая выборка состояла из 20 приборов. Критерием отказа служило изменение темнового тока (параметра, наиболее чувствительного к процессу "старения") более чем на порядок. Измерения I_{cur} проводились не позднее чем через 1 ч

после извлечения ФД из термостата. Результаты испытаний представлены на рис. 3.

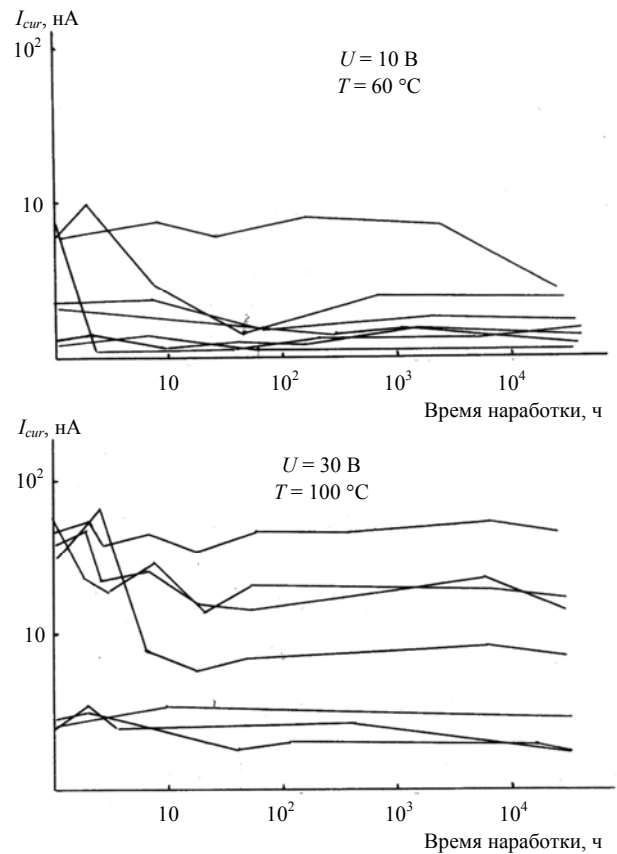


Рис.3. Результаты испытаний на долговечность планарных ФД

Планарные ФД характеризовались стабильным уровнем темнового тока после 10 000 ч работы при $T = 100$ °С (см. рис. 3).

Таким образом, технология осаждения пленки Si_3N_4 в плотной плазме обеспечивает получение и стабилизацию плотности темнового тока планарного InGaAs/InP pin-ФД, в том числе и при повышенной температуре, на уровне 10^{-5} — 10^{-6} А/см².

Л и т е р а т у р а

1. Antell G.// Electronics Letters. 1984. V. 20. № 22. P. 919.
2. Susa N., Kanbe H., Ando H., Ohmachi Y.// Japanese Journal of Applied Physics. 1980. V. 19. № 11. P. L675.
3. Пичугин И. Г., Таиров Ю. М. Технология полупроводниковых приборов. — М.: Высшая школа, 1984.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

Deposition of silicon nitrid layer in high-density plasma and its effects on dark current and stability of planar InGaAs/InP pin-photodiodes

*T. V. Kiseleva, A. V. Kulymanov, O. V. Ogneva, A. E. Troshkov,
I. V. Tchinareva, A. G. Sharipov*
ORION, Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Results are described of high density plasma deposition technology of Si_3N_4 films on dark current and stability of planar InGaAs/InP pin-photodiodes. The processing parameters of film deposition from nitrogen-mono-silan gas mixture as well resulting films parameters itself are presented. The described technology of Si_3N_4 film deposition provides dark current density of InGaAs/InP pin-photodiodes as low as 10^{-6} — 10^{-5} A/cm² under operating a range temperatures up to 60 centigrade.

УДК 621.384.3

Моделирование характеристик матричного фотоприемного устройства в составе тепловизионной системы

В. А. Балоев, В. П. Иванов, Я. М. Латыпов
ФГУП «НПО "Государственный институт прикладной оптики"», г. Казань, Россия

Многоэлементные фотоприемники обладают значительным разбросом чувствительности между элементами, что приводит к появлению на выходном изображении помех за счет различия выходных напряжений элементов при одинаковых параметрах облучающего сигнала. Для исключения указанных дефектов изображения применяются различные методы выравнивания чувствительности каналов. При этом надо заметить, что эффективность такого выравнивания во многом зависит от исходного разброса вольтовой чувствительности многоэлементного фотоприемника.

Один из перспективных путей создания современных инфракрасных систем с высокими характеристиками — это применение фотоприемных устройств второго поколения — многорядных линейных матриц, работающих в режиме временной задержки и накопления. Однако многоэлементные фотоприемники в силу ряда технологических причин [1] обладают, как правило, значительным разбросом чувствительности между элементами. Различия в чувствительности каналов тепловизионного прибора приводят к появлению на выходном изображении помех за счет различия выходных напряжений с элементов при одинаковых параметрах облучающего сигнала — так называемого геометрического шума [2].

Цель работы — проведение численного моделирования выходного сигнала тепловизионного прибора с матричным фотоприемным устройством в целях изучения влияния разброса чувствительности элементов матрицы фотоприемника (геометрического шума) на характеристики тепловизионной системы.

Геометрический шум характерен как для тепловизионных приборов с фотоприемниками в виде линейки чувствительных элементов, так и для тепловизионных приборов с матричными фотоприемниками. Таким образом, геометрический шум практически неизбежно присутствует в тепловизионных приборах с многоэлементными фотоприемниками и выглядит как неизменяющееся от кадра к кадру, случайное от прибора к прибору распределение яркости строк. При этом в теп-

ловизионных приборах с матричными фотоприемниками зачастую геометрический шум превалирует над временным шумом и, соответственно, оказывает определяющее влияние на основные характеристики тепловизионного прибора. Существенной особенностью геометрического шума является то, что он фиксирован от кадра к кадру. Если в случае временного шума происходит повышение отношения сигнал/шум от кадра к кадру за счет интегрирующих свойств глаза, то для геометрического шума аналогичного повышения отношения сигнал/шум от кадра к кадру не происходит [3].

Для исключения указанных дефектов изображения, обусловленных неоднородностями чувствительности каналов фотоприемника, применяются различные методы выравнивания чувствительности каналов, в частности выравнивание по сигналам от одного или нескольких протяженных излучателей с неизменными от кадра к кадру температурами. Суть метода в том, что в начале и/или в конце кадра фотоприемником принимается сигнал от эталонного источника, и на его основе формируется разностный сигнал, служащий для вычисления коэффициентов коррекции. При этом зачастую сигнал с "дефектных" каналов (т. е. каналов, имеющих чувствительность ниже заданного уровня) заменяется сигналом соседнего рабочего канала. Сигнал со всех прочих элементов корректируется до требуемого уровня путем домножения на коэффициент коррекции.

Надо отметить, что процедура выравнивания чувствительности каналов по сигналам от нескольких про-