

Фотоэлектроника: элементная база и технология

УДК 621.383

Свойства фотодиодов Шоттки Au—n-GaP при высоких температурах

В. С. Рудневский, В. И. Стафеев

ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Исследованы фотодиоды Шоттки Au—n-GaP (толщина Au ~10 нм) при высоких температурах. Показано, что при температурах выше 70 °С последовательное сопротивление фотодиода растет необратимо. Отжиг фотодиодов при $T = +125$ °С способен увеличить квантовую эффективность фотодиода на 66 %, температура $T = +300$ °С является предельной для таких фотодиодов. Деградация фотодиодов Шоттки (ФДШ) связана с температурным изменением структуры Au-пленки на поверхности полупроводника.

PACS: 85.60.Dw; 85.-60.-q

Введение

Для работы в тяжелых условиях эксплуатации, когда аппаратура подвергается воздействию высокой температуры (контроль за факелом пламени, наблюдение за атомными реакторами, управление термическими процессами, исследование планет) требуются фотодиоды, способные работать в таких условиях, поэтому исследование фотодиодов Шоттки Au—n-GaP при температурах свыше 125 °С представляет научный и практический интерес.

Подготовка образцов

Фотодиоды Шоттки создавались термовакuumным напылением слоя золота толщиной 10 нм на эпитаксиальные структуры nn^+ -GaP с чистой нелегированной эпитаксиальной пленкой с концентрацией носителей $n \sim 10^{16}$ см⁻³. Структуры изготавливались методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) путем наращивания эпитаксиального слоя на подложках n^+ -GaP. Концентрация носителей в подложке составляла $(3-5) \cdot 10^{17}$ см⁻³, толщина подложки ~350 мкм. После нанесения полупрозрачного золотого электрода производилось выделение контактных областей, которое заключалось в том, что методом вакуумного напыления через соответствующую металлическую маску производилось напыление золотых контактов толщиной 0,1 и диаметром 300 мкм на полупрозрачный слой золота. После этого методами фотолитографии проводилось выделение чувствительных площадок диаметром 1,5 мм. Сформированные на пластине мезаструктуры с фоточувствительными элементами "выкалывались" в виде

блоков размером 2,2×2,2 мм, которые монтировались на коваровый цоколь корпуса. Распайка выводов от контактных площадок осуществлялась золотой проволокой диаметром 30 мкм. Фоточувствительные элементы размещали в герметизированном корпусе с окном из кварца. Свет попадал на фотодиод со стороны полупрозрачного золотого электрода толщиной ~10 нм.

Экспериментальные результаты

- *Последовательное сопротивление.* На рис. 1 приведена температурная зависимость последовательного сопротивления ФДШ Au—n-GaP. Измерения проводили с интервалом 25 °С. При каждой температуре перед измерениями фотодиод выдерживали в течение 1 ч.

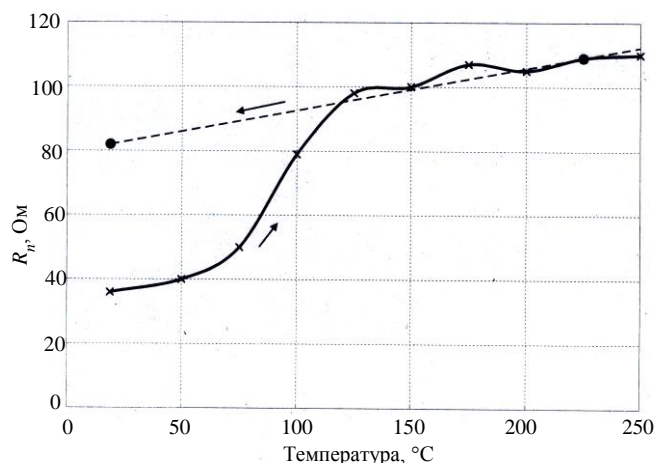


Рис. 1. Изменение последовательного сопротивления ФДШ Au—n-GaP при возрастании рабочей температуры от 19 до 250 °С

Как видно из графика, при увеличении температуры последовательное сопротивление возрастает. При температуре свыше $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ последовательное сопротивление растет необратимо до температуры $\sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$. От ~ 125 до $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ рост последовательного сопротивления вновь становится обратимым. Последовательное сопротивление фотодиода определяется сопротивлением растекания барьерного электрода, которое зависит от удельного сопротивления тонкого слоя золота, образующего барьерный электрод. Рост последовательного сопротивления фотодиода вызван температурным ростом удельного сопротивления тонкой золотой пленки, образующей барьер Шоттки.

- *Отжиг ФДШ при $125\text{ }^{\circ}\text{C}$.* Отжиг фотодиодов при $T = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1—2 ч заметно не сказывается на токовой фоточувствительности. Длительный отжиг в течение десятков часов может существенно сказаться на чувствительности фотодиода. При воздействии температуры $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 40 ч максимальная токовая чувствительность (ТЧ) ФДШ Au—n-GaP возросла на 5—66 % (для разных приборов), а при $\lambda = 250\text{ нм}$ — на 20—131 %.

Максимальными были следующие изменения: токовая чувствительность при $\lambda = 250\text{ нм}$ возросла с 0,048 до 0,111 А/Вт, а при $\lambda_{\text{max}} = 430\text{ нм}$ (длина волны максимума чувствительности) — с 0,117 до 0,194 А/Вт. При дополнительном отжиге (40 ч) ТЧ уменьшалась на 15—20 %. Такие температурные изменения связаны с поведением тонкого золотого электрода на поверхности GaP, который под воздействием температуры меняет свою структуру.

- *Отжиг ФДШ при $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.* Воздействие температуры $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ на фотодиоды в течение 6 ч (измерения проводили через каждые 1, 2, 4, 6 ч) показало, что ТЧ таких ФДШ на длине волны максимума чувствительности может измениться в пределах 4 %. Первичный отжиг ФДШ при $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч термостабилизирует их фоточувствительность.

- *Отжиг ФДШ при $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.* Фотодиоды были подвергнуты отжигу при $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 3 и 4 ч. Наблюдалось значительное падение ТЧ, показанное на рис. 2. Одновременно было исследовано пространственное распределение фоточувствительности по площадке фотодиода, которое представлено на рис. 3. Кривые на рис. 2 соответствуют представленным изображениям на рис. 3, а—в.

Такое распределение фоточувствительности было получено на сканирующей установке, работающей по принципу телевизионного раstra с бегущим оптическим лучом размером $\sim 15\text{ мкм}$. Слева вверху видны контактная площадка и электрический вывод от нее. Диаметр фоточувствительно-

го элемента исследованного фотодиода равен 1,5 мм. На рис. 3 видно, что падение фоточувствительности при температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит неравномерно по всей площадке, что было бы свойственно исчезновению барьера Шоттки, а начинается с самых дальних от контактной площадки участков поверхности. Такое поведение объясняется следующим образом: фотодиод можно представить как совокупность параллельно соединенных фотодиодов с небольшими фоточувствительными участками, поэтому у более удаленных от контакта участков фотодиода быстрее нарастает сопротивление растекания, вызванное температурным ростом удельного сопротивления золотого электрода. Когда последовательное сопротивление удаленного участка становится большим, то фототок от данного участка прекращается и, соответственно, уменьшается общий измеряемый фототок.

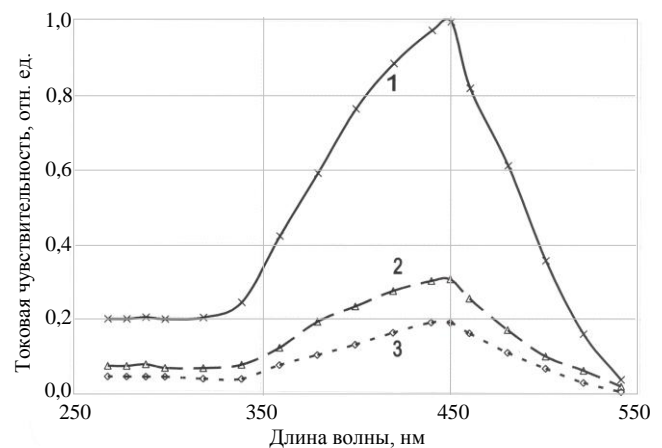


Рис. 2. Спектральная характеристика чувствительности ФДШ Au—n-GaP после отжига при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ (измерения проведены при $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$):

1 — до отжига; 2 — после 3 ч отжига; 3 — после 4 ч отжига

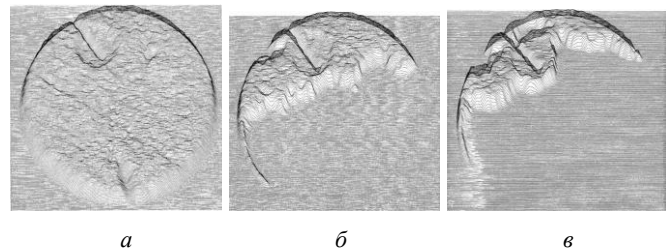


Рис. 3. Пространственное распределение чувствительности ФДШ Au—n-GaP

по чувствительной площадке диаметром 1,5 мм:

1 — до отжига; 2 — после 3 ч отжига при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 — после 4 ч отжига при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$

- *Деградация фоточувствительности.* На рис. 4 представлены кривые токовой монохроматической чувствительности ФДШ Au—n-GaP для отдельных длин волн в зависимости от температуры.

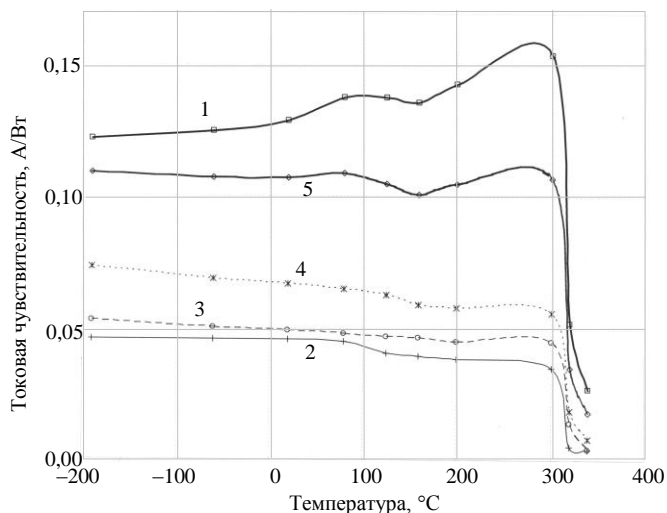


Рис. 4. Температурная зависимость спектральной характеристики токовой чувствительности ФДШ Au—n-GaP: 1 — L_{max} ; 2 — 250 нм; 3 — 300 нм; 4 — 350 нм; 5 — 400 нм

Время выдержки при каждой температуре перед измерениями составляло 1 ч. Кривые указывают на температурную границу ~ 300 °С, после которой фоточувствительность резко падает. Это связано с тем, что наличие полей внутренних механических напряжений повышает свободную энергию системы металл—полупроводник и делает ее термодинамически неравновесной.

Стремление системы к минимальной свободной энергии проявляется в последующей пластической деформации, уменьшающей упругую энергию. Это может быть движение пленки металла относительно полупроводника, когда нарушается адгезионная связь между пленкой металла и полупроводником. Пластическая деформация также может быть связана с образованием и перемещением дислокаций, что объясняет влияние температуры на поведение тонкой пленки золота (~10 нм), напыленной на полупроводник GaP в качестве барьерного контакта.

Миграция тонкой золотой пленки по поверхности полупроводника является основной причиной температурного роста удельного сопротивления этой пленки и, соответственно, деградации фоточувствительности ФДШ Au—n-GaP.

Заключение

Фотодиоды Шоттки, созданные напылением слоя золота толщиной 10 нм на полупроводник n-GaP, сохраняют работоспособность при температурах до 250 °С. Температура 300 °С является для них предельной.

Статья поступила в редакцию 1 июля 2008 г.

GaP Shottky photodiodes properties at high temperatures

V. S. Rudnevsky, V. I. Stafeyev

Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Shottky Photodiodes Au—n-GaP (Au thickness is 10 nm) have been investigated at high temperatures. Photodiode resistivity grows irreversible at a temperature above 70 °C. Annealing at 125 °C can increase photodiodes quantum efficiency up to 66 %. Limiting temperature for such photodiodes is 300 °C. The photodiode degradation with temperature is related to Au-film structure on a semiconductor surface change.

PACS: 85.60.Dw; 85.-60.-q