

06:07

Влияние интенсивности сигнала оптического возбуждения на импульсный отклик МПМ-фотодиода

© С.В. Аверин, П.И. Кузнецов, Н.В. Алкеев

Институт радиотехники и электроники РАН,
141190 Фрязино, Московская область, Россия
e-mail: sva278@ire216.msk.su

(Поступило в Редакцию 17 марта 2008 г. В окончательной редакции 13 февраля 2009 г.)

Исследовано влияние интенсивности сигнала оптического возбуждения на импульсный отклик фотодетектора в системе выпрямляющих контактов металл—полупроводник—металл (МПМ). Отклик детектора лучше при низком уровне сигнала оптического возбуждения. При большом уровне энергии импульса оптического возбуждения возможно улучшение сигнала отклика детектора при увеличении смещения. Установлены преимущества МПМ-диода на основе GaN при детектировании излучения с большой энергией импульса. Анализ показывает, что при энергии импульса оптического возбуждения 60 pJ на длине волны 290 nm, быстродействие GaN МПМ-детектора может достигать ~ 25 ps.

PACS: 73.40.Sx, 42.79.Pw, 07.57.Kp, 85.25.Pb

Введение

В последнее время уделяется повышенное внимание исследованиям, направленным на создание фотодетекторов ультрафиолетового излучения [1,2]. GaN и его твердые растворы являются наиболее перспективными полупроводниковыми материалами для создания фотодетекторов ультрафиолетовой части спектра. Вследствие высокой тепловой стабильности и радиационной стойкости нитриды чрезвычайно устойчивы к агрессивным воздействиям окружающей среды, в то же время подбором мольного состава AlGa_N граничная длина волны чувствительности фотодетектора может варьироваться в широком диапазоне значений длины волны [1]. Это позволяет создавать фотодетекторы с требуемой спектральной чувствительностью, в том числе „солнечно-слепые“ (фотодетекторы с минимальным откликом на длине волны > 300 nm) [2]. Сильное поглощение озоном солнечного излучения в диапазоне длины волн 250–290 nm делает такие детекторы уникальными для коммерческого и военного применения: мониторинг озонового слоя, старта ракет, очагов возгорания, датчики допустимой дозы солнечного излучения (загара) и т.д. Область длины волны 250–290 nm также позволяет создавать помехозащищенные системы скрытой связи в космосе, поскольку передаваемые информационные сигналы недоступны для наблюдателя, находящегося на поверхности Земли. В этом случае также затруднено создание активных помех. В отличие от фотоумножителей и кремниевых детекторов солнечно-слепые фотодиоды на основе AlGa_N не требуют использования специальных фильтров, которые вносят значительные потери. Они могут также использоваться в „тяжелых“ условиях работы — при высоких температурах и больших уровнях мощности излучения [1,2].

Одним из основных направлений исследований является получение наиболее „быстрого“ сигнала импульсного отклика фотодетектора. Для создания систем связи

ультрафиолетового диапазона, например систем связи в ближнем космосе, для научных исследований необходимы быстродействующие фотодетекторы. Из возможных вариантов создания быстродействующих детекторов ультрафиолетового излучения (PIN-диоды, фоторезисторы, диоды с барьером Шоттки) наиболее перспективными представляются поверхностно-барьерные планарные диоды на основе выпрямляющего контакта в системе металл—полупроводник—металл (МПМ-диоды) [3,4]. Наряду с потенциально высоким быстродействием достоинством таких диодов является относительная простота изготовления и, как следствие, высокая воспроизводимость характеристик. Они легко интегрируются с другими компонентами электронных схем, в частности с усилителем на FET's. Следует также отметить, что при равной емкости площадь активной области МПМ-диода в 4 раза больше площади PIN-диода, это заметно облегчает фокусирование принимаемого оптического излучения на светочувствительную область детектора.

Увеличение скорости отклика МПМ-детектора обычно достигается путем оптимизации его геометрии [5]. Уменьшение межконтактного расстояния приводит к уменьшению времени дрейфа фотогенерированных носителей заряда, однако емкость диода при этом заметно растет, что ведет к увеличению времени отклика детектора. Тогда чтобы уменьшить емкость диода, приходится уменьшать его апертуру и, следовательно, площадь детектора. Это усложняет фокусирование принимаемого оптического сигнала, уменьшает активный объем фотодиодной структуры, что, в свою очередь, приводит к эффектам экранирования внутреннего поля диода пространственным зарядом фотогенерированных носителей заряда при больших уровнях энергии сигнала оптического возбуждения [6–8]. Ранее было проанализировано влияние экранирования внутреннего электрического поля на форму сигнала импульсного отклика GaAs МПМ-диода с достаточно большим (10 μ m) расстоянием между контактами [8]. Оказалось, что имеют место

уширение сигнала импульсного отклика фотодетектора и снижение его широкополосности и эффективности [8]. Расчеты показывают, что эффекты, связанные с накоплением носителей заряда в активной области МПМ-диода и экранированием его темнового поля, становятся особенно заметным при уменьшении межконтактных зазоров диода вследствие уменьшения эффективной глубины проникновения электрического поля [4,9]. В связи с этим появляется необходимость изучения поведения быстродействующего детектора ультрафиолетового излучения с малым зазором между контактами при больших уровнях энергии сигнала оптического возбуждения и влияния интенсивности подсветки на характеристики импульсного отклика фотодетектора. Необходим детальный анализ физических процессов, определяющих быстродействие фотодиодных структур на основе GaN.

Теоретический анализ [10–12] предсказывает величину пиковой скорости электронов в GaN $\sim 3 \cdot 10^7$ cm/s, т.е. выше, чем в GaAs. Таким образом, можно предположить, что быстродействие МПМ-детекторов на основе GaN должно быть выше быстродействия подобных устройств на GaAs. Действительно, моделирование, а также экспериментальные измерения демонстрируют пикосекундное быстродействие МПМ-детектора на основе GaN [13]. Здесь авторы, используя вычисления методом Монте-Карло, показали возможность реализации сигнала импульсного отклика с длительностью FWHM = 3.5 ps (полная ширина сигнала отклика детектора, измеренная на половине его амплитуды) на GaN МПМ-фотодетекторе с $0.25 \mu\text{m}$ межконтактным зазором при низком уровне энергии сигнала оптического возбуждения. Однако моделирование — теоретическое рассмотрение — эффектов экранирования в GaN МПМ-диодах и сравнение с экспериментальными результатами в широком диапазоне уровней сигнала оптического возбуждения детектора к настоящему времени отсутствуют.

В настоящей работе исследуется импульсный отклик МПМ-диода с использованием одномерной и двумерной моделей. В рамках одномерной модели [3,5] вычисляется длительность сигнала импульсного отклика МПМ-диода при низком уровне энергии сигнала оптического возбуждения. Затем в рамках двумерной модели, детально описанной в работах [4,7], исследуются процессы дрейфа фотогенерированных носителей заряда в МПМ-детекторах при различных уровнях энергии принимаемого оптического излучения. В отличие от других моделей в наших расчетах учитывается неоднородность электрического поля в активном объеме МПМ-детектора вследствие двумерного характера его пространственного распределения, при этом: 1) исследуется распределение фотогенерированных носителей заряда и проводится последовательное самосогласованное вычисление электрического поля в активной области МПМ-детектора с учетом движения носителей заряда; 2) фототок на контактах, вследствие движения зарядов, вычисляется по теореме Рамо, внешний ток фотодиода

определяется с учетом емкости встречно-штыревой системы контактов; 3) влияние гетеробарьера учитывается посредством поля, создаваемого разностью потенциалов двух различных полупроводниковых слоев.

Отклик МПМ-детектора на основе GaN сравнивается с откликом более длинноволнового GaAs МПМ-детектора.

Анализ быстродействия МПМ-фотодетектора

Структура МПМ-диода достаточно проста: встречно-штыревые контакты методами фотолитографии формируются на поверхности активного слоя полупроводникового материала, выращенного на полупроводниковой подложке [3,4]. Световое излучение, падающее на поверхность МПМ-диода, в пределах глубины поглощения создает электронно-дырочные пары, которые разделяются внутренним электрическим полем, создавая фототок во внешней цепи. К очевидным преимуществам таких диодов следует отнести отсутствие необходимости использования противоположного типа легирования. В сравнении с PIN-диодами, как уже отмечалось, при равной емкости МПМ-диод имеет преимущество в большей площади для фокусирования излучения.

Скорость отклика МПМ-фотодиода в основном определяется временем дрейфа фотогенерированных электронов и дырок к соответствующим контактам встречно-штыревой системы диода и его RC -постоянной времени [3–5]. Следуя анализу, изложенному в работе [5], в рамках одномерной модели была вычислена зависимость сигнала импульсного отклика МПМ-детектора на основе GaN от величины межэлектродного расстояния при разных размерах светочувствительной области МПМ-детектора (рис. 1).

В расчетах принималось, что дрейфовые скорости насыщения для электронов и дырок равны соответственно, $V_e = 2.4 \cdot 10^5$, $V_h = 4 \cdot 10^4$ m/s [9,10], а относительная

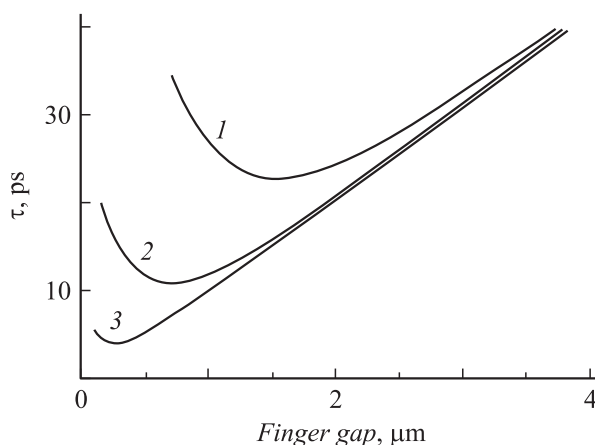


Рис. 1. Расчетная зависимость длительности сигнала импульсного отклика GaN МПМ-фотодиода от величины межэлектродного зазора: $L^2 = 100 \times 100 \mu\text{m}$ (1), $50 \times 50 \mu\text{m}$ (2), $20 \times 20 \mu\text{m}$ (3).

диэлектрическая постоянная полупроводникового материала $\epsilon_s = 8.9$. Видно, что существует оптимальный межэлектродный зазор, обеспечивающий достижение минимальной длительности сигнала импульсного отклика GaN МПМ-детектора. Слева от минимума основной вклад в сигнал отклика детектора обусловлен возрастающей емкостью диода, в то время как справа от минимума определяющим является время дрейфа фотогенерированных носителей в активной области диода к соответствующим контактам. Каждому значению апертуры встречно-штыревой системы детектора L соответствует оптимальная величина межконтактного зазора t , при котором обеспечивается минимальное время отклика детектора. При уменьшении апертуры детектора оптимальная величина межконтактного зазора смещается в область меньших значений и обеспечивается большее быстродействие детектора. Оптимальная величина межконтактного зазора, которая приводит к максимальному быстродействию МПМ-диода с апертурой L , может быть найдена по соотношению [5]:

$$t_{\text{opt}} = L[1.1RV\epsilon_0(\epsilon_s + 1)]^{1/2}, \quad (1)$$

где R — сопротивление нагрузки фотодиода, V — усредненное значение скорости дрейфа фотогенерированных носителей [14]. В случае МПМ-диода на основе GaN выражение (1) упрощается:

$$t_{\text{opt}} \approx 0.015L. \quad (2)$$

Расчеты показывают, что для GaN МПМ-диода с площадью $L^2 = 100 \times 100 \mu\text{m}^2$, оптимальным будет межконтактный зазор $t \cong 1.6 \mu\text{m}$; при такой геометрии диодной структуры может быть реализован сигнал импульсного отклика детектора с длительностью ~ 22 ps.

Интересно сравнить результаты проведенных расчетов с вычислениями и экспериментальными данными других исследователей. В работе [13] изучался импульсный отклик МПМ-диодов с использованием моделирования по методу Монте-Карло. Расчетная длительность сигнала импульсного отклика детектора с межконтактным зазором $t = 0.25 \mu\text{m}$ составила 3.5 ps, что находится в хорошем соответствии с результатами наших вычислений (кривая 3 на рис. 1). Измеренный отклик GaN МПМ-диода ($t = D = 2 \mu\text{m}$, $L^2 = 50 \times 50 \mu\text{m}^2$) был равен 21 ps [15], расчетное время отклика детектора с такой геометрией составляет 20 ps (рис. 1). Таким образом, экспериментальные результаты находятся в хорошем соответствии с вычислениями, представленными на рис. 1. С другой стороны, эти расчеты показывают, что быстродействие МПМ-фотодиодов в [15] может быть заметно улучшено (12 ps), если, не меняя площадь фотодетектора, уменьшить его межэлектродный зазор до оптимального для данной геометрии $t \cong 0.8 \mu\text{m}$. Для МПМ-диодов с субмикронными размерами контактов результаты наших вычислений также находятся в хорошем соответствии с экспериментальными данными. Сигнал отклика GaN МПМ-диода с параметрами: $t = D = 0.5 \mu\text{m}$, $L^2 = 25 \times 25 \mu\text{m}^2$ был равен

6.2 ps [16], а вычисления дают длительность сигнала отклика 5.5 ps (рис. 1). Для вычислений использованы значения $V_e = 2.4 \cdot 10^5$, $V_h = 4 \cdot 10^4$ m/s [10,11], при этом следует заметить, что эти величины справедливы и для слоев AlGaIn [11,17].

Рассмотрение импульсного отклика МПМ-диода на GaN было проведено в рамках простой одномерной модели. Хотя емкость МПМ-диода является весьма малой и быстродействие детектора обычно не ограничено его RC -постоянной времени при достаточно малых апертурах фотодетектора, влияние емкости детектора на его быстродействие учтено в этом анализе. При этом предполагалось, что электрическое поле в активной области между встречно-штыревыми контактами однородно и носители заряда движутся при скоростях насыщения. Такой подход к анализу дрейфа фотогенерированных носителей тока справедливо только при низких уровнях сигнала оптического возбуждения. Увеличение уровня энергии сигнала оптического возбуждения увеличивает концентрацию фотовозбужденных носителей заряда в активной области МПМ-фотодиода. Вследствие этого можно ожидать экранирование внутреннего поля диода пространственным зарядом фотогенерированных дырок [8]. По этой причине для исследования процесса транспорта носителей заряда и анализа быстродействующего отклика детектора при различных уровнях энергии сигнала оптического возбуждения был использован двумерный анализ распределения электрического поля и движения фотогенерированных носителей заряда в активной области МПМ-диода [4]. Также этот метод был использован для того, чтобы сравнить динамические характеристики GaN МПМ-детектора с детектором на GaAs. В качестве параметра оценки характеристики сигнала импульсного отклика фотодетектора был использован FWHM.

Анализ показывает (рис. 2), что в случае МПМ-детектора на GaAs, когда энергия импульса принимаемого оптического излучения превышает определенный уровень,

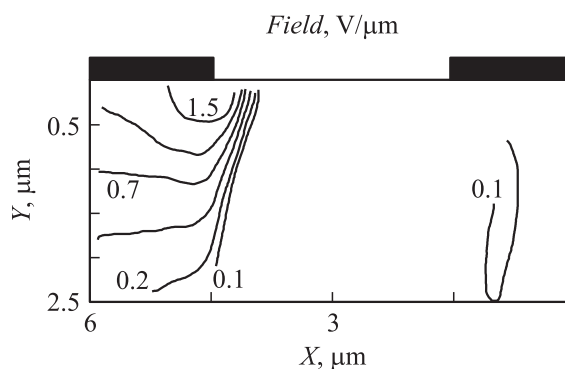


Рис. 2. Пространственное распределение электрического поля в активной области GaAs МПМ-диода ($t = D = 3 \mu\text{m}$, $L^2 = 100 \times 100 \mu\text{m}^2$, напряжение смещения 3 V) спустя 5 ps после прибытия импульса оптического возбуждения с величиной энергии 10 pJ на длине волны 850 nm. Темновое электрическое поле диода почти полностью экранировано. Цифры на рисунке рядом с кривыми обозначают величину напряженности электрического поля, V/μm.

пространственный заряд фотогенерированных носителей („медленных“ дырок) может существенно экранировать темновое электрическое поле в активной области диода. Отклик детектора становится зависимым от уровня энергии сигнала оптического излучения (рис. 3, 4). Сигнал отклика детектора заметно отличается, особенно сильно отклик GaAs-детектора искажается при энергии оптического импульса 10 pJ (рис. 4), при этом длительность сигнала отклика МПМ-детектора заметно увеличивается. Это объясняется снижением скорости дрейфа электронов при понижении интенсивности поля.

Из данных рис. 4 видно, что вклад дырок в общий ток составляет примерно 13% и по этой причине компонента дырочного тока не оказывает такого заметного влияния на длительность сигнала отклика МПМ-детектора, как его электронная компонента. При достаточном смещении (поле $E \sim 10^5$ V/cm для GaAs) облако электронов первоначально имеет дрейфовую скорость насыщения. С увеличением накачки внутреннее поле в МПМ-диоде постепенно снижается и большинство электронов уже находится под воздействием поля, обеспечивающего их дрейф при пиковой скорости (при полях $\sim (3-4) \cdot 10^4$ V/cm), при дальнейшем увеличении накачки темновое поле диода все больше экранируется, в таких условиях скорость дрейфа электронов быстро и монотонно спадает (поле $< 2 \cdot 10^4$ V/cm) [18]. Таким образом, увеличение длительности сигнала отклика диода связано с уменьшением средней скорости дрейфа электронов вследствие резкого снижения внутреннего поля МПМ-диола, обусловленного эффектами экранирования при фиксированном смещении. Следует также заметить, что в этих условиях величина фототока не находится в линейной зависимости с уровнем сигнала оптической подсветки. Несмотря на 5-кратное увеличение оптического сигнала ток диода увеличился только в ~ 2 раза. Очевидно, чтобы „уйти“ от эффектов экранирования надо приложить большее смещение и тем самым обеспечить условия дрейфа носителей при скоростях, близких к скоростям насыщения. Однако увеличение смещения ограничено пробивным напряжением диода.

Итак, увеличение уровня сигнала оптического возбуждения приводит к эффектам экранирования внутреннего поля диода пространственным зарядом фотогенерированных носителей, искажению сигнала отклика фотодиода и снижению его эффективности и быстродействия. Ранее была установлена связь параметров полупроводникового материала и геометрических параметров МПМ-детектора с величиной энергии импульса оптического возбуждения до начала действия эффектов экранирования темнового поля диода [6,8]:

$$E < \frac{\epsilon_0(\epsilon_s + 1)L^2U(t + D)hs}{4\lambda qt^2(1 - r)[1 - \exp(-\alpha d)]}, \quad (3)$$

где E — энергия импульса света на длине волны λ , h — постоянная Планка, c — скорость света в вакууме, q — заряд электрона, d — толщина активного слоя

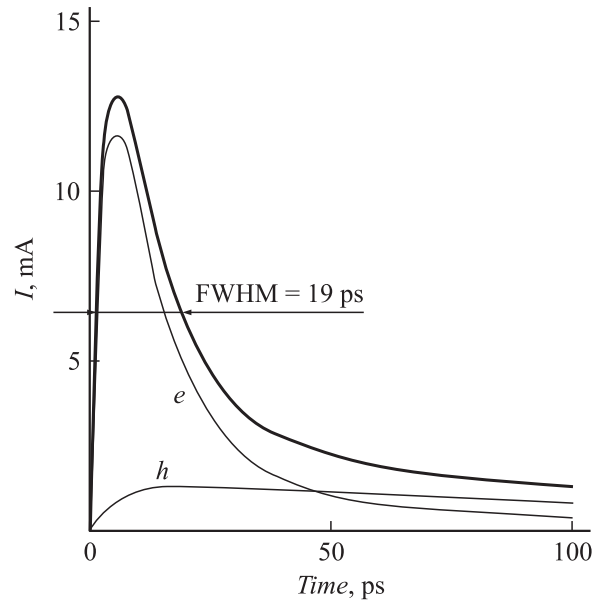


Рис. 3. Импульсный отклик GaAs МПМ-диола ($t = D = 3 \mu\text{m}$, $L^2 = 100 \times 100 \mu\text{m}^2$, напряжение смещения 3 В) и его электронная и дырочная составляющие. Энергия импульса оптического возбуждения на длине волны 850 нм равна 2 pJ.

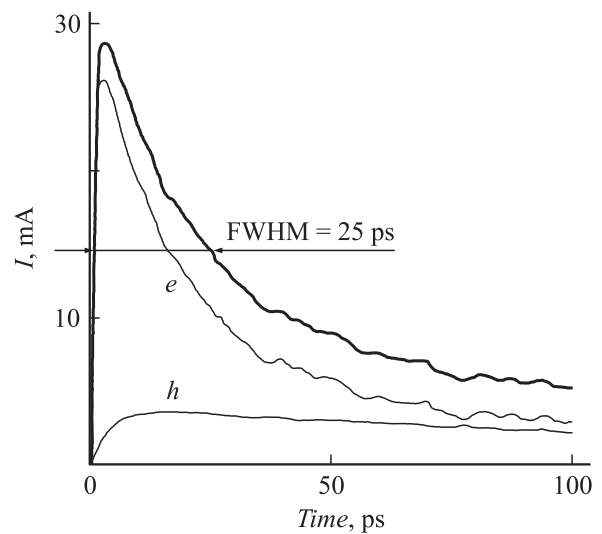


Рис. 4. Сигнал фотоотклика GaAs МПМ-диола на воздействие импульса оптического излучения с величиной энергии 10 pJ на длине волны 850 нм, другие параметры аналогичны рис. 3.

полупроводникового материала диода, r , α — коэффициент отражения и коэффициент поглощения оптического излучения, D , t — ширина контактов и расстояние между ними, L — апертура детектора, U — напряжение смещения.

Справедливость выражения (3) недавно подтверждена экспериментально для МПМ-диодов на InGaAs [9] и GaN [19] и, по-видимому, оно может служить руководством при разработке быстродействующих МПМ-фотодетекторов, работающих при больших уровнях оп-

тической подсветки. Легко видеть, что наиболее эффективный путь для того, чтобы минимизировать эффекты экранирования поля и увеличить динамический диапазон МПМ-детектора — увеличение напряжения смещения. Это позволяет создать внутреннее поле диода достаточно сильное, чтобы компенсировать поле пространственного заряда даже при больших уровнях оптической подсветки. Таким образом, напряжение смещения должно выбираться не только из условия полного обеднения области между контактами МПМ-детектора, но и уровень оптического возбуждения должен также приниматься во внимание. Ранее был проанализирован импульсный отклик GaAs МПМ-диода с достаточно большим ($10\ \mu\text{m}$) зазором между контактами [8]. В таком зазоре при выбранном смещении $10\ \text{V}$ напряженность электрического поля даже на глубине $2\ \mu\text{m}$ достаточно велика ($\sim 30\text{--}40\ \text{kV/cm}$), что обеспечивает условия дрейфа электронов и дырок при скоростях насыщения. Энергия импульса оптического возбуждения, при которой еще не наблюдается влияние экранирования темнового электрического поля на импульсный отклик детектора, на длине волны $850\ \text{nm}$ составляет $130\ \text{pJ}$. Это находится в хорошем соответствии с экспериментом, когда наблюдаемое насыщение тока диода наступало при энергии оптического импульса $150\ \text{pJ}$ [6]. В то же время при переходе к структурам с меньшим зазором наши расчеты показывают, что для получения неискаженного отклика для GaAs МПМ-диода при $t = D = 3\ \mu\text{m}$ и общей площади детектора $100 \times 100\ \mu\text{m}$ энергия импульса света на длине волны $850\ \text{nm}$ не должна превышать $6\ \text{pJ}$ при смещении $10\ \text{V}$.

В случае детектора на GaN следует, по крайней мере, в 10 раз увеличить смещение для того, чтобы достичь условий дрейфа электронов при их максимальных скоростях [10–12]. Увеличение смещения увеличивает внутреннее поле диода. Эта ситуация особенно выгодна для детектирования сигналов с большими уровнями энергии оптического возбуждения.

На рис. 5 демонстрируется распределение линий поля одинаковой интенсивности в активном объеме GaN МПМ-фотодиода ($t = D = 3\ \mu\text{m}$) при напряжении смещения $90\ \text{V}$. Темновое электрическое поле в диоде при таком смещении намного сильнее и моделирование показывает, что в этих условиях пространственный заряд „медленных“ дырок не оказывает заметного влияния на распределение внутреннего поля диода даже при энергии светового импульса $60\ \text{pJ}$ на длине волны $290\ \text{nm}$. Следует также заметить, что электрический пробой наступает в структурах GaN при заметно больших полях ($> 5 \cdot 10^6\ \text{V/cm}$) в сравнении с GaAs ($4 \cdot 10^5\ \text{V/cm}$) [10], а в эксперименте показано, что AlGaIn МПМ-диоды с $3\ \mu\text{m}$ зазором между встречно-штыревыми контактами могут без пробоя выдерживать напряжение смещения $100\ \text{V}$ [20]. Анализ дает при таком смещении неискаженный отклик AlGaIn МПМ-детектора даже при энергии импульса оптического возбуждения $60\ \text{pJ}$ на длине волны $290\ \text{nm}$ (рис. 6).

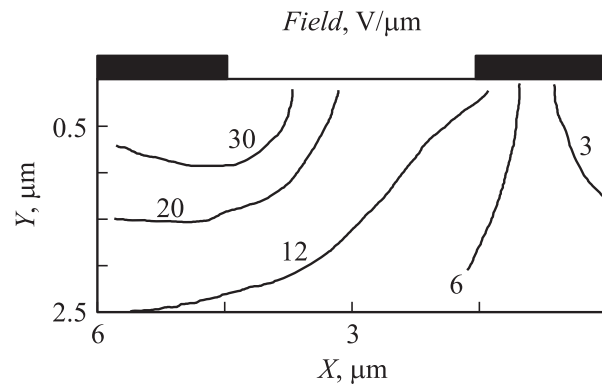


Рис. 5. Пространственное распределение электрического поля в активной области GaN МПМ-диода ($t = D = 3\ \mu\text{m}$, $L^2 = 100 \times 100\ \mu\text{m}$) при воздействии импульса оптического возбуждения с энергией $60\ \text{pJ}$ на длине волны $290\ \text{nm}$. Напряжение смещения $90\ \text{V}$. Цифры на рисунке рядом с кривыми обозначают величину напряженности электрического поля, $\text{V}/\mu\text{m}$.

Другим преимуществом детектора на GaN и его твердых растворах является более коротковолновый рабочий диапазон, что также увеличивает динамический диапазон детектора, поскольку в этом случае при фиксированной энергии оптического импульса фотогенерируется меньшее число электронно-дырочных пар. Таким образом, при переходе с длины волны $850\ \text{nm}$ (GaAs-детектор) на длину волны $290\ \text{nm}$ (AlGaIn-детектор) можно ожидать 30-кратного увеличения верхнего энергетического предела линейного отклика МПМ-детектора на основе AlGaIn в сравнении с детектором на GaAs при одинаковых геометрических параметрах встречно-штыревой системы контактов диодов.

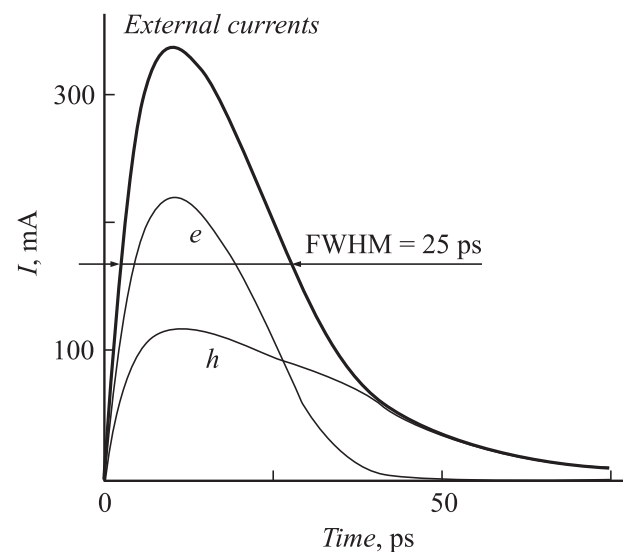


Рис. 6. Импульсный отклик GaN МПМ-диода ($t = D = 3\ \mu\text{m}$, $L^2 = 100 \times 100\ \mu\text{m}$, напряжение смещения $90\ \text{V}$). Энергия импульса оптического возбуждения на длине волны $290\ \text{nm}$ равна $60\ \text{pJ}$.

Следует заметить еще одно преимущество поверхностно-барьерных структур на основе GaN. Уже на длине волны 360 nm (что всего на 5 nm выше энергетической щели GaN) глубина проникновения излучения, как было измерено, составила 370 nm [16], что существенно меньше толщины активного слоя пленок GaN, обычно применяемых в МПМ-детекторах. По этой причине эффекты, связанные с фотогенерацией носителей на достаточно большой глубине, наблюдаемые в Si, GaAs и InGaAs МПМ-фотодетекторах и ухудшающие их быстродействие [4,16], являются несущественными в МПМ-фотодиодах на основе GaN и его твердых растворах.

Заключение

Исследован импульсный отклик МПМ-фотодетектора на воздействие короткого импульса света при разных уровнях энергии сигнала оптического возбуждения. При низких уровнях сигнала оптического возбуждения импульсный отклик МПМ-детектора в основном определяется временем переноса носителей заряда и постоянной времени детектора. При высоком уровне энергии падающего на диод излучения плотность фотогенерированных носителей заряда может быть достаточно большой, чтобы изменить распределение поля внутри диода вследствие различных скоростей дрейфа электронов и дырок в активном объеме МПМ-диода. В результате большинство фотогенерированных носителей находится в области пониженного поля и их дрейф происходит при заниженных скоростях. Это сильно изменяет форму сигнала отклика диода и снижает его эффективность и быстродействие. По этой причине напряжение смещения должно выбираться не только из условия полного обеднения области между контактами МПМ-детектора, но и уровень оптического возбуждения должен также приниматься во внимание.

Наиболее эффективный путь для того, чтобы минимизировать эффекты экранирования поля и увеличить динамический диапазон МПМ-детектора — увеличение напряжения смещения. Высокие рабочие напряжения GaN фотодетектора позволяют сместить энергетический порог экранирования поля в область больших значений энергий импульса оптического возбуждения. Анализ показывает, что даже при достаточно большой энергии импульса оптического возбуждения (60 pJ на длине волны 290 nm) быстродействие GaN МПМ-детектора ограничивается временем дрейфа фотогенерированных носителей и постоянной времени, обусловленной емкостью диода, и может достигать ~ 25 ps. Показано, как геометрия МПМ-детектора может быть оптимизирована с целью увеличения сигнала и достижения заданной скорости отклика.

Результаты анализа находятся в хорошем соответствии с экспериментальными данными и могут служить руководством при разработке и оптимизации МПМ-детекторов излучения ультрафиолетовой части спектра.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-07-00009). Результаты работы доложены на VIII Российской конференции по физике полупроводников „Полупроводники-2007“, 30 сентября–5 октября 2007 г., Екатеринбург.

Список литературы

- [1] Бланк Т.Б., Гольдберг Ю.А. // ФТП. 2003. Т. 37. Вып. 9. С. 1025.
- [2] Ambacher O.J. // Phys. D: Appl. Phys. 1998. Vol. 31. P. 2653–2710.
- [3] Ito M., Wada M. // IEEE J. Quantum Electronics. 1986. Vol. 22. N 7. P. 1073–1007.
- [4] Averine S.V., Sachot R., Hugi J., de Fays M., Ilegems M. // J. Appl. Phys. 1996. Vol. 80. N 3. P. 1553–1558.
- [5] Averine S.V., Chan Y.C., Lam Y.L. // Solid-State Electronics. 2001. Vol. 45. N 3. P. 441–446.
- [6] Averine S.V., Sachot R. // IEE Proceedings-Optoelectronics. 2000. Vol. 147. N 3. P. 145–150.
- [7] Аверин С.В. // ЖТФ. 2004. Т. 74. Вып. 6. С. 51–56.
- [8] Аверин С.В., Гуляев Ю.В., Илегемс М., Сауо Р. // Квант. электрон. 1998. Т. 25. № 2. С. 183–186.
- [9] Aliberti K., Wraback M., Stead M., Newman P., Shen H. // Appl. Phys. Lett., 2002. Vol. 80. N 16. P. 2848–2850.
- [10] Bhapkar U.V., Shur M.S. // J. Appl. Phys. 1997. Vol. 82. N 4. P. 1649–1655.
- [11] Mishra U.K., Wu Yi-F., Keller B.P., Keller S. and Denbaars S.P. // IEEE Trans. Microwave Theory and Technique. 1998. Vol. 46. N 6. P. 756–760.
- [12] Albrecht J.D., Wang R.P., Ruden P.P., Farahmand M., and Brennan K.F. // J. Appl. Phys. 1998. Vol. 83. N 9. P. 4777–4781.
- [13] Joshi R.P., Dharamsi A.N., McAdoo J. // Appl. Phys. Lett., 1994. Vol. 64. N 26. P. 3611–3613.
- [14] Kato K. // IEEE Trans. Microwave Theory and Technique. 1999. Vol. 47. N 7. P. 1265–1281.
- [15] Carrano J.C., Li T., Braun D.L., Grudovski P.A., Eiting C.J., Dupuis R.D., Campbell J.C. // Appl. Phys. Lett. 1998. Vol. 73. N 17. P. 2405–2407.
- [16] Li J., Xu Y., Hsiang T.Y., Donaldson W.R. // Appl. Phys. Lett. 2004. Vol. 84. N 12. P. 2091–2093.
- [17] Gelmont B., Kim K., Shur M. // J. Appl. Phys. 1993. Vol. 74. N 3. P. 1818–1821.
- [18] Sze S.M. Physics of Semiconductor Devices. NY: John Wiley & Sons, 1981. P. 46.
- [19] Li J., Donaldson W.R. // IEEE Photonics Technol. Lett. 2003. Vol. 15. N 8. P. 1141–1143.
- [20] Аверин С.В., Кузнецов П.И., Житов В.А., Захаров Л.Ю., Якущева Г.Г., Дмитриев М.Д. // Радиотехника и электроника. 2005. Т. 50. № 3. С. 394–398.