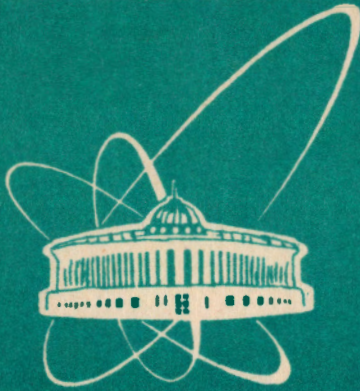


93-75



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P14-93-75

Л.Грубчин*, А.П.Кобзев, Р.Шандрик, Я.Шафранкова*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР
С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ НА ОСНОВЕ GaAs

*Электротехнический институт Словацкой академии наук,
Братислава

1. Введение

В производстве быстрых интегральных схем на основе арсенида галлия с активными деталями субмикронных размеров важную роль играет их взаимная электрическая изоляция. В настоящее время в технологии изготовления интегральных схем применяются следующие способы изоляции и защиты [1,2]: химическое мезотравление (mesa etching) и селективная либо протонная имплантация. Кроме создания изоляции, в технологическом процессе на GaAs облучение протонами используется также для изменения свойств структур (деталей) [3-5]. Модификация свойств осуществляется обычно путём бомбардировки протонами с энергией от 50 до 180 кэВ и дозами от 10^{13} до 10^{16} см⁻². Длина пробега протонов с такой энергией в GaAs меньше 1 мк, поэтому не возникает затруднений при создании маски (например, CaF_2 - фоторезист- Au [2]), защищающей активные структуры от их повреждения в процессе облучения.

В настоящей работе основное внимание уделено исследованию влияния протонного облучения на электрические характеристики планарных структур на основе GaAs с двойным барьером Шоттки. Также металл-полупроводник-металл (МПМ) структуры встречно-штыревого типа были подготовлены в ЭТИ САН в Братиславе, а затем облучались протонами в ЛФФ ОИЯИ на электростатическом ускорителе ЭГ-5, который обеспечивает плавное изменение энергии протонов от 0,75 до 4 МэВ при токе пучка до нескольких микроампер. Эта энергия протонов во много раз превышает энергию, обычно используемую для целей модификации. Пробег протонов этих энергий в GaAs составляет от 7 до 30 мк, что затрудняет создание защитной маски. Поэтому мы

проводили облучение МПМ-структур без маски. Фактически были облучены пластины вместе со всеми исследуемыми структурами, что повлияло на полученные результаты.

2. Подготовка МПМ-структур

В качестве исходного материала были использованы полупроводниковые пластины GaAs:Cr, на которых был создан активный легированный n-канальный слой путем имплантации ионами кремния с энергией 90 кэВ и с дозой 10^{13} см⁻². После быстрого теплового отжига в вакууме концентрация носителей достигла значения $N_d \sim 6 \cdot 10^{17}$ см⁻³. МПМ-структуры (металлические контакты типа Шоттки) в виде гребенок контактных электродов, напыленных на поверхности полупроводникового материала, создавались в такой технологической последовательности: электронная литография, взрывная (lift-off) техника и вакуумное напыление Ti/Pt/Au (50/70/50 нм). Ширина и длина электродов были соответственно $w = 0,5$ мк и $l = 50$ мк. Были созданы три типа МПМ-структур, которые отличались только расстоянием между электродами $d = 1$ мк, 2 мк и 4 мк. Для взаимной изоляции МПМ-структур от остальных активных деталей использовалось химическое мезотравление без дополнительного покрытия диэлектрическим защитным слоем. На рис. 1 показана МПМ-структура с параметрами $w = 0,5$ мк и $d = 1$ мк.

3. Результаты измерений и их обсуждение

Измерение электрических характеристик МПМ-структур

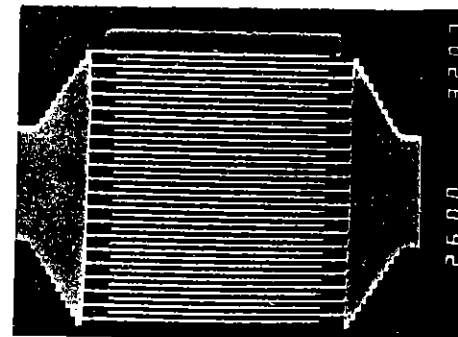


Рис. 1а. Фотография встречноштыревой МПМ-структуры

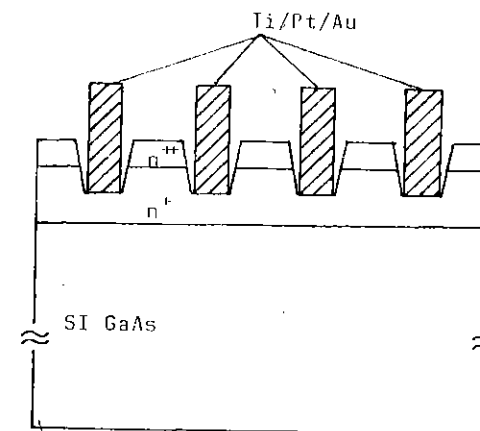


Рис. 1б. Поперечное сечение МПМ-структуры, созданной на GaAs

проводилось сразу после их изготовления. Темновые вольт-амперные характеристики (ВАХ) измерялись при комнатной температуре. Все подготовленные структуры были измерены в обоих направлениях в интервале от -5 В до $+5$ В.

Эксперименты показали, что вольт-амперные характеристики в обоих направлениях практически симметричны вследствие наличия двойного барьера Шоттки. На рис. 2 показаны типичные вольт-амперные характеристики МПМ-структур (три верхние кривые), из которых следует, что темновой ток возрастал от нескольких десятых наноампера в окрестности нулевого напряжения до нескольких десятых микроампера при 5 В. Величина тока также зависит от межэлектродного расстояния d .

После измерений вольт-амперных характеристик GaAs-пластина разламывалась на 9 примерно одинаковых частей (3×3 мм) для их последующего облучения в ЛФ ОИЯИ на ускорителе ЭГ-5. Облучение проводилось в вакуумной камере, обычно используемой для измерений резерфордовского обратного рассеяния. Пучок протонов фокусировался до диаметра 2 мм и падал на образцы под углом 90° . Получаемая образцом доза определялась по величине переносимого пучком частиц заряда за время экспозиции с помощью интегратора тока. Дозы облучения были выбраны такими же, как и для низкоэнергетических протонов: 10^{13} , 10^{14} и 10^{15} см $^{-2}$ при энергии протонов $0,75$; $1,5$ и $3,0$ МэВ. После облучения девяти образцов (по одному образцу на каждую из трех доз и на каждую из трех энергий) в ЭТИ САН проводилось повторное измерение вольт-амперных характеристик.

Сравнивая характеристики до и после облучения, мы выяснили, что в облученных образцах произошло заметное уменьшение тока во

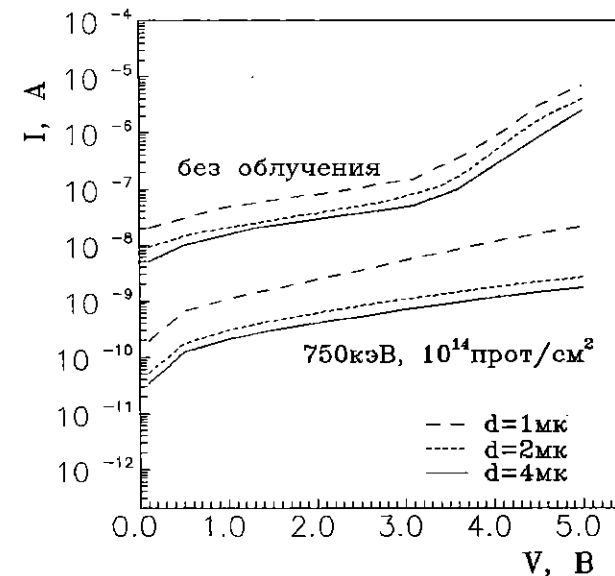


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики МПМ-структуры на GaAs до и после облучения протонами

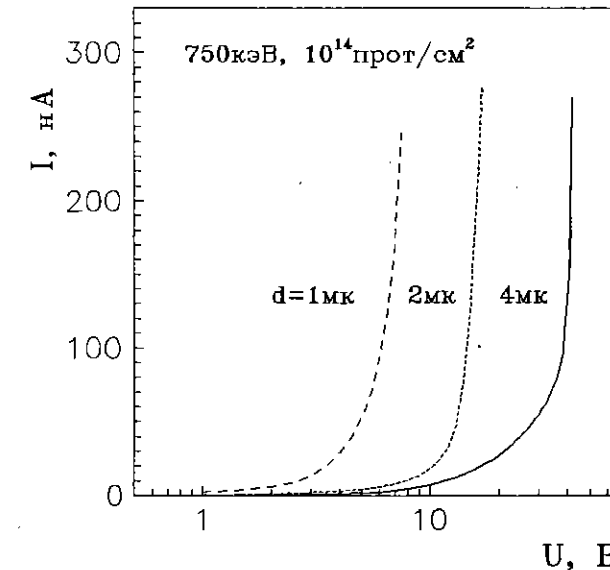


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики облученной МПМ-структуры при разных расстояниях d между электродами

всем интервале напряжений вплоть до 5 В и, таким образом, удалось точно определить облученную область на каждом образце. Оказалось, что уменьшение токов на разных образцах зависит как от дозы, так и от энергии протонов. Максимальное подавление токов (понижение на два порядка) наблюдалось у МПМ-структур, облученных протонами с энергией 750 кэВ при дозе 10^{14} см⁻². В нижней части рис.2 приведены три кривые, полученные после облучения при упомянутых выше условиях. Сравнивая эти кривые с верхними кривыми, можно заметить эффект облучения протонами, а также сделать вывод о необходимости увеличения диапазона измерения вольт-амперных характеристик. Измерения показали, что сохранилась зависимость величины темнового тока от междуэлектродного расстояния. Для отмеченных выше условий облучения наблюдается, кроме того, радикальное увеличение пробивного напряжения $U_{\text{П}}$ (определено при 100 нА). Так, для расстояния $d = 1$ мк оно достигло 6 вольт, для $d = 2$ мк 14 вольт и для $d = 4$ мк 37 вольт (рис.3).

На рис.4 показана зависимость $U_{\text{П}}$ от расстояния между электродами. Объяснение этой зависимости было дано ранее^[2]. При протонном облучении в GaAs возникают центры повреждения, которые эффективно захватывают электроны и дырки. Эти центры снижают проводимость активного слоя путём удаления свободных электронов из зоны проводимости.

Таким образом, в результате данного исследования было показано, что облучение МПМ-структур протонами с высокими энергиями приводит к образованию довольно однородных высокорезистивных слоёв на глубину в несколько микрометров.

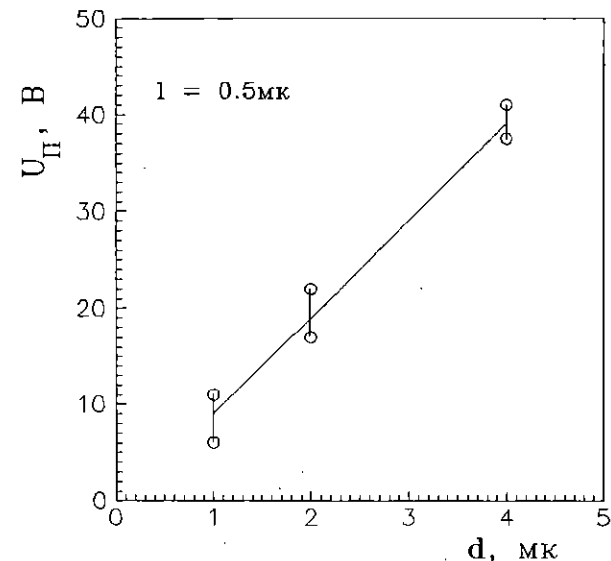


Рис. 4. Зависимость пробивного напряжения $U_{\text{П}}$ от расстояния d между электродами

ЛИТЕРАТУРА

1. R.C.Eden, B.M.Welch and R.Zucca, IEEE J. Solid State Circuits, SC-13 (1978) 419.
2. D.C.D'Avanzo, IEEE Trans. on El. Dev. ED-29 (1982) 1051.
3. A.F.Galashan and S.W.Bland, J.Appl.Phys. 67 (1990) 173.
4. K.Steeple, G.Dearnley and A.M.Stoneham, Appl.Phys.Lett. 36 (1980) 981.
5. M.Lambsdorf et al., Appl.Phys.Lett. 58 (1991) 1881.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 марта 1993 года.