

УДК 621.315.592

СНИЖЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ВЫСОКООМНЫМ ПОЛУПРОВОДНИКАМ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© В. А. Голубятников¹, Ф. И. Григорьев¹, А. П. Лысенко¹,
Н. И. Строганкова¹, М. Б. Шадов¹, А. Г. Белов²

Статья поступила 25 июня 2013 г.

Предпринята попытка снизить переходное сопротивление омических контактов к высокоомным полупроводникам (теллурид кадмия и полупроводящий арсенид галлия) путем создания в зоне контакта повышенной концентрации свободных носителей заряда за счет оптической стимуляции. Предложены различные варианты конструкции таких контактов. Показано, что с помощью освещения удается снизить общее сопротивление двухполосника на порядки, что однозначно указывает на снижение переходного сопротивления контактов при освещении.

Ключевые слова: омический контакт; переходное сопротивление контакта; высокоомный полупроводник; зондовые методы измерений; стимулирующее излучение.

Измерение электрофизических параметров полупроводников, например, таких, как удельное сопротивление ρ , концентрация свободных носителей заряда и их подвижность, связано в первую очередь с созданием электрических контактов к образцам. Достоверность полученных результатов в большой степени определяется их качеством. Контакты должны иметь не только линейную вольтамперную характеристику (быть омическими), но и маленькое переходное сопротивление. Обычно для снижения влияния контактов на результаты измерений используют четырехзондовые методы. Однако в случае высокоомных полупроводников для экспресс-анализа эти методы малоприменимы. Чаще всего удельное сопротивление таких материалов оценивают по вольтамперной характеристике двухполосника [1]. Очевидно, что при этом ошибка измерения ρ может оказаться непредсказуемо большой.

Один из путей снижения переходного сопротивления контакта — создание на поверхности полупроводника в области контакта неравновесных носителей заряда [2]. В идеальном случае оно должно быть значительно ниже сопротивления измеряемого образца независимо от полярности внешнего смещения.

В качестве источника неравновесных носителей можно использовать любое излучение (стимулирующее излучение), способное при взаимодействии с веществом образца генерировать электронно-дырочные пары.

Стимулирующее излучение, пригодное для создания контактов, должно:

поглощаться веществом образца на небольшой глубине;

генерировать большое количество электронно-дырочных пар в единицу времени;

не разрушать образец;

не создавать дефекты кристаллической решетки;

не менять химический состав образца.

В настоящей работе разработаны и экспериментально исследованы различные варианты контактов металл – полупроводник, стимулированные излучением. В качестве стимулирующего излучения использовалось облучение поверхности полупроводника интенсивным пучком сильно поглощаемого света.

Для получения качественного омического контакта металл — полупроводник с малым переходным сопротивлением необходимо создать в приповерхностном слое полупроводника область, обогащенную носителями заряда, так, чтобы с одной стороны она контактировала с образцом, а с другой — с металлическим контактом, расположенным непосредственно на поверхности образца.

Стимулирующее излучение, падающее на поверхность образца, поглощается и генерирует неравновесные электронно-дырочные пары, если энергия кванта излучения больше ширины запрещенной зоны полупроводника. Важно, чтобы генерация электронно-дырочных пар происходила вблизи поверхности. При достаточной и постоянной интенсивности стимулирующего излучения скорость генерации неравновесных электронно-дырочных пар в приповерхностном слое столь велика, что, несмотря на высокую вероятность рекомбинации, у поверхности образца возникает область, обогащенная носителями заряда. Это приводит к значительному (на несколько порядков) увеличению проводимости приконтактной области. Именно через такую обогащенную область и будет обеспечен ток носителей заряда между образцом и металлическим контактом. Для качественного контакта требу-

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия; e-mail: vad.golub@mail.ru

² ОАО «ГИРЕДМЕТ», Москва, Россия;
e-mail: bagira@giredmet.ru

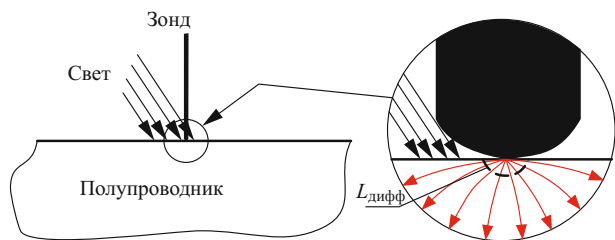


Рис. 1. Схема освещения зондового контакта

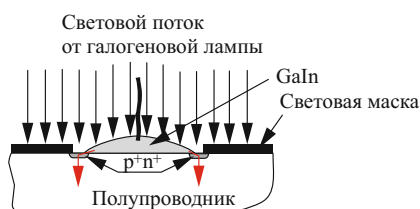


Рис. 2. Жидкий контакт

ется, чтобы электропроводность обогащенного слоя была больше, чем у образца, т.е. концентрация носителей заряда в обогащенной области должна быть существенно выше, чем в образце.

Снижение переходного сопротивления возможно, если созданные стимулирующим излучением неравновесные носители заряда попадают в область соприкосновения металлического контакта с полупроводником. Для этого необходимо создать конструкцию контакта, обеспечивающую попадание стимулирующего излучения на расстояние от этой области, не превышающее диффузионную длину неосновных носителей заряда. Были опробованы различные варианты контактов, стимулированных оптическим излучением, и исследованы их характеристики.

Прижимной металлический контакт. В качестве контактов применялись два металлических зонда в форме игл, прижатых заостренными концами к поверхности полупроводникового образца (рис. 1). Контакты освещались потоком белого света от галогеновой лампы; они не реагировали на свет, сопротивление между зондами оставалось очень высоким (десятки ГОм). Реакция на облучение светом отсутствовала потому, что световой поток падал на поверхность образца на расстоянии от области соприкосновения, значительно превышающем диффузионную длину носителей заряда, в то время как сама эта область оставалась в тени. Неравновесные носители заряда, созданные светом, не попадали в область соприкосновения зонд – полупроводник и в электропроводности участия не принимали.

Жидкий контакт GaIn – CdTe и GaIn – GaP. На поверхность образца наносилось малое количество эвтектического сплава GaIn, который при комнатной температуре находится в жидкой фазе (рис. 2). Контакты освещались потоком белого света от галогеновой лампы.

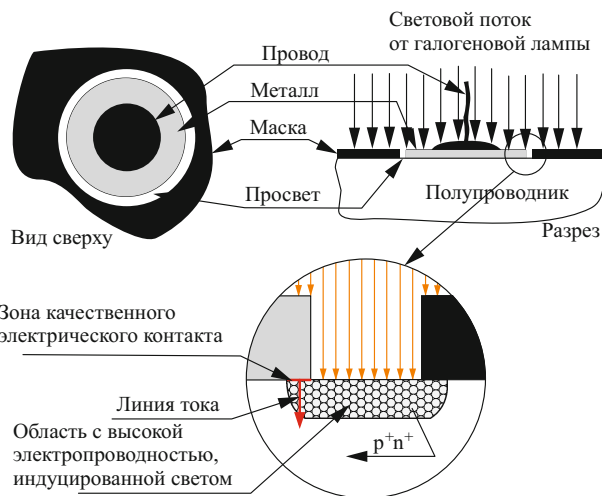


Рис. 3. Схема твердого металлического контакта

Эвтектический сплав GaIn хорошо смачивает поверхность большинства твердых веществ, образуя острый краевой угол смачивания, что позволяет свету падать непосредственно на границу области соприкосновения эвтектического сплава GaIn и полупроводникового материала. Поскольку генерация неравновесных носителей происходит непосредственно в области, прилегающей к границе раздела соприкасающихся материалов, то носители, которые образовались на расстоянии, меньшем диффузионной длины от границы раздела, попадают в область соприкосновения и участвуют в электропроводности. Такие контакты хорошо реагируют на свет; электрическое сопротивление двухполюсника, образованного двумя такими контактами, уменьшается под действием света на несколько порядков.

Аналогичные результаты получаются при нанесении на поверхность полупроводника расплавленного индия, который из-за хорошей смачиваемости поверхности образует (после застывания) конфигурацию, как на рис. 2.

Твердый металлический контакт. В качестве контакта на поверхность полупроводникового образца наносился слой металла, к которому для включения образца в электрическую цепь присоединялся (припаивался, приваривался или прижимался) электрический провод (рис. 3).

Для исключения влияния света вся поверхность образца, кроме области контакта, закрывалась маской, не проводящей электрический ток и не пропускающей свет. Между краями контакта и маски был оставлен просвет. На область контакта направлялся равномерный поток белого света, создаваемый галогеновой лампой накаливания.

Возникшие неравновесные электронно-дырочные пары диффундируют от засвеченной области на расстояние диффузионной длины ($L_{диф}$) во все стороны (см. рис. 3). Часть электронно-дырочных пар, возникших на расстоянии, меньшем диффузионной длины от

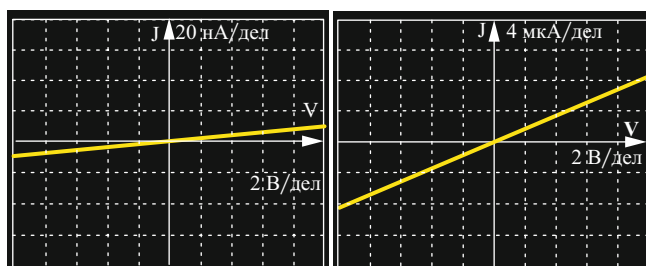


Рис. 4. Вольтамперные характеристики исследуемого образца в отсутствии (а) и в присутствии (б) света

края контакта, диффундирует и в подконтактную зону. В результате внешний край металлического контакта шириной $L_{\text{диф}}$ контактирует по всему периметру уже не с высокоомным слоем, а с областью, обогащенной носителями заряда, где и возникает зона качественного электрического контакта.

Обогащенная носителями заряда область с высокой электропроводностью с одной стороны контактирует с кромкой металлического контакта, а с другой — с образцом и таким образом шунтирует большое переходное сопротивление той части контакта, куда не попали неравновесные носители заряда. Результирующее сопротивление контакта значительно (на несколько порядков) снижается и при этом имеет омический характер.

На рис. 4 показано изменение вида вольтамперной характеристики двухполюсника, образованного парой индиевых контактов (см. рис. 3) и образцом CdTe, при наличии и отсутствии освещения.

Контакты, прозрачные для стимулирующего излучения. Поскольку сопротивление контакта тем меньше, чем больше площадь перекрытия контакта со стимулированной светом областью, сам контакт целесообразно выполнять из материала, прозрачного для стимулирующего излучения. В этом случае обогащенная область, возникающая непосредственно под прозрачным контактом, будет соприкасаться уже по всей площади контакта, а не только по площади узкого кольца с шириной, равной диффузионной длине, что значительно снижает его сопротивление.

Контакты, выполненные из прозрачного геля с высокой электропроводностью. В качестве геля использовали электролиты. Контакт электролита с полупроводниковым материалом очень отличается от контакта металл – полупроводник. Реакция прозрачного электролитического гелевого контакта на свет значительно отличается от контакта металл – полупроводник. Работа контакта осложняется еще и тем, что в присутствии электрического тока на границе электролит – полупроводник протекают электрохимические реакции [3]. Предварительные исследования показали, что такие контакты нестабильны.

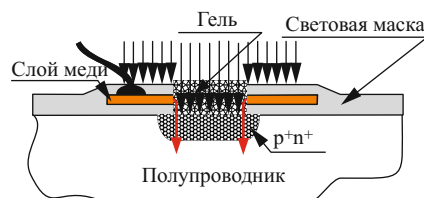


Рис. 5. Прозрачный электролитический гелевый контакт

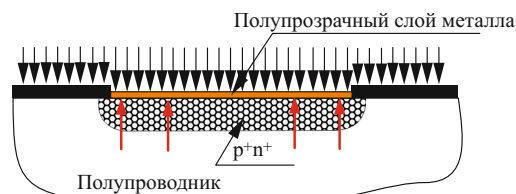


Рис. 6. Полупрозрачный металлический контакт

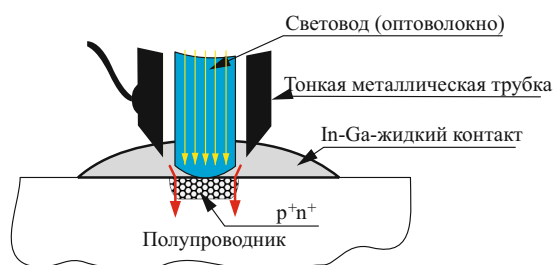


Рис. 7. Контакт с подводом стимулирующего излучения по световоду

Контакты в виде тонких пленок золота, титана или другого металла, полупрозрачного для стимулирующего излучения. Наилучшие результаты были получены на образцах теллурида кадмия, покрытых тонкой пленкой золота, прозрачной для стимулирующего излучения. Металлическая пленка значительно снижает воздействие света, что компенсировалось большей площадью контакта ($5 \times 5 \text{ мм}^2$).

Контакты со световодами. В каплю сплава Ga-In, нанесенную на поверхность образца, погружена тонкая металлическая трубка с внешним диаметром 0,4 мм и внутренним — 0,2 мм, в которую введен гибкий световод (применялось типовое оптоволокно диаметром 0,1 мм). Кончик волокна оплаивался в пламени кислородно-пропановой горелки. Для подключения контакта к трубке припаян гибкий проводник.

Были изготовлены зонды подобной конструкции, отличающиеся тем, что эвтектический сплав Ga-In был введен внутрь трубки, и зонд просто прижимался к поверхности образца.

Предварительные результаты исследований показали, что такой контакт обеспечивает высокое качество, особенно если в качестве источника излучения применяется лазер.

Таким образом, экспериментальные результаты показали, что исследованные контакты металл — вы-

сокоомный полупроводник сильно реагируют на свет. Переходное сопротивление таких контактов под действием света уменьшается на несколько порядков, а вольтамперные характеристики имеют линейный характер. Установлено, что наиболее перспективными являются контакты с подводом стимулирующего излучения по световоду или через прозрачную пленку золота.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Махний В. П.** Полуизолирующие слои теллурида кадмия / Журнал технической физики. 2005. Т. 75. Вып. 11. С. 122 – 123.
2. **Ламперт М., Марк П.** Инжекционные токи в твердых телах. — М.: Мир, 1973. — 413 с.
3. **Гуревич Ю. Я., Плесков Ю. В.** Фотоэлектрохимия полупроводников. — М.: Наука, 1983. — 332 с.