

Формирование омических контактов к полуизолирующему GaAs путем лазерного осаждения In

© В. Казлаускаене*, В. Кажукаускас†¶, Ю. Мишкинис*, А. Петравичюс*¶¶, Р. Пурас†, С. Сакалаускас†, Ю. Синюс*, Ю.-В. Вайткус†*, А. Жиндулис†*

† Вильнюсский университет, Физический факультет, кафедра физики полупроводников, 2040 Вильнюс, Литва

* Вильнюсский университет, Физический факультет, Институт материаловедения и прикладных наук, 2040 Вильнюс, Литва

(Получена 10 апреля 2003 г. Принята к печати 21 апреля 2003 г.)

Цель настоящей работы заключалась в разработке метода создания омических контактов к высокоомному GaAs путем лазерного травления поверхности с последующим лазерным осаждением In. Предложенный метод позволяет формировать омические контакты при комнатной температуре, исключая таким образом высокотемпературный отжиг, который обычно необходим при применении других технологий. Омические свойства контактов сохраняются в широком диапазоне токов, перекрывающих несколько порядков величины, независимо от направления тока. При этом электрический потенциал изменяется линейно вдоль образца, а ток ограничивается лишь объемным сопротивлением материала. Метод перспективен для формирования прецизионной сети из омических контактов, проходящей через всю толщу кристалла, при изготовлении приборов и элементов микроэлектроники.

1. Введение

Создание омических контактов к полуизолирующему GaAs является актуальной задачей при изготовлении ряда практически необходимых электронных приборов, в частности детекторов радиационного излучения. В настоящее время омические контакты изготавливаются нанесением слоев Sn–Ge–Au, Au–Ge–Ni или Pd–Ge методом термического испарения с последующим отжигом. Эта технология требует нескольких этапов нанесения и высокотемпературного ($> 300^\circ\text{C}$) отжига. Кроме того, так формируются планарные контакты (электроды), хотя часто более подходящими были бы контакты, проходящие через всю толщу кристалла. Современная лазерная технология позволяет прецизионно обрабатывать материалы, включая „просверливание“ отверстий малого (меньше 50 мкм) диаметра в пластинке полупроводникового кристалла. Практически было бы перспективным в таких отверстиях формировать омические контакты, способствуя созданию групп приборов с минимальными взаимными помехами и токами утечки. Практически пригодная технология для изготовления омических электродов такого типа пока не предложена. Лазерный отжиг импульсами малой мощности был применен для восстановления кристаллической структуры полупроводниковых соединений III–V после ионной имплантации [1]. Применение лазерного излучения большой мощности для обработки GaAs было менее успешным из-за изменения стехиометрии поверхности материала.

Вследствие этих обстоятельств основной целью данной работы является выяснение и определение возможностей создания устойчивых омических контактов из

индия к полуизолирующему GaAs с использованием методик лазерного отжига, лазерного травления (абляции) и лазерного испарения.

2. Изготовление образцов и методика эксперимента

Материалом для формирования омических контактов на полуизолирующем GaAs по физическим свойствам был избран индий, который является изовалентной примесью в GaAs, уменьшающей концентрацию дислокаций и плотность других дефектов [2] и таким образом улучшающей условия переноса носителей заряда. В связи с изовалентностью In контакты In/GaAs в принципе отличаются от других, например от AuGe/GaAs. В последнем случае омичность контактов обусловлена n^+ -легированием приконтактной области. В отличие от этого, включение атомов индия в приконтактную область не приводит к n^+ -легированию, следовательно, омичность обуславливается другим механизмом. Показано [3,4], что в данном случае создается плавный переход InGaAs. Такие переходы были созданы с применением молекулярно-лучевой эпитаксии в [5]. Формирование плавного перехода, приводящего к омичности контактов, было подтверждено также в [6], но в этой работе омические контакты были созданы посредством ионного распыления, что для получения омичности потребовало применения термического отжига при температуре 375°C . Нами была поставлена цель исключить высокотемпературный отжиг посредством применения лазерного излучения. Этому способствует и низкая температура плавления In, что позволяет уменьшить необходимую мощность лазерного излучения и, следовательно, значительно уменьшить вероятность появления неконтролируемых повреждений кристалла. Механически In — достаточно прочный мате-

¶ E-mail: vaidotas.kazukauskas@ff.vu.lt

¶¶ E-mail: antanas.petravicius@ff.vu.lt

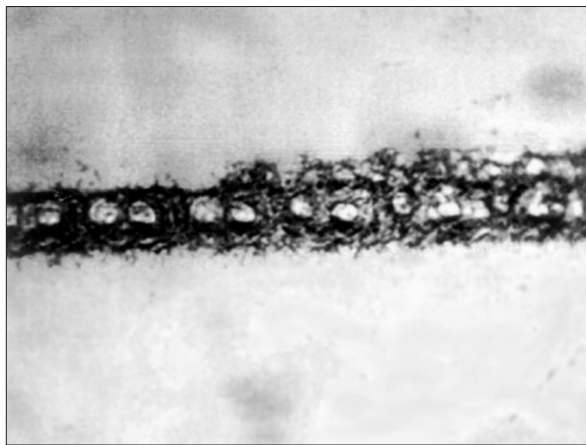


Рис. 1. Микрофотографии поверхности GaAs в области контактной канавки, созданной при помощи лазерной абляции. Правая половина вытравленной контактной канавки методом лазерного испарения покрыта In. Диаметр следа лазерного излучения ~ 100 мкм. Более светлая область вокруг всей обработанной лазером площади — термически рекристаллизованная поверхность GaAs.

риал и пригоден для изготовления стабильного соединения между кристаллом и контактными проводами из Au или Al.

Для изготовления электродов и исследования контактных свойств применялось несколько технологических операций и методик. Во-первых, на химически очищенную поверхность GaAs при помощи стандартного термического напыления в высоком вакууме были нанесены электроды из In. Для увеличения прочности электродов слои In были покрыты более толстыми слоями Cr или Al. Таким способом изготовленные электроды были нестабильными, а их вольт-амперные характеристики отличались нелинейностью. Поэтому для ускорения диффузии In в GaAs и улучшения электрических характеристик контакта был использован промежуточный тепловой низкотемпературный (120°C) или лазерный отжиг. Свойства таких контактов сравнивались со свойствами контактов, изготовленных лазерным испарением In и его осаждением на локально вытравленную (лазерной абляцией) поверхность кристалла GaAs. Для лазерного испарения GaAs использовались импульсы второй гармоники лазера на YAG:Nd³⁺ (длина волны $\lambda = 532$ нм) длительностью 30 нс с максимальной энергией 6 Дж/см². Пучок излучения был сфокусирован в пятно диаметром 50 или 100 мкм (при необходимости уменьшения интенсивности облучения). Перед формированием контактов поверхность GaAs очищалась химически и в потоке ионов в течение 45 мин. После этого осуществлялось травление (абляция) контактной области лазерным излучением и со стеклянной пластинки, покрытой слоем In, осаждался In. Следы лазерного воздействия на поверхность GaAs после травления и нанесения In показаны на рис. 1. Для выполнения описанной процедуры требовалось точно

подобрать интенсивность лазерного излучения [7], так как при чрезмерном ее увеличении In разбрызгивался на поверхности пластинки в виде отдельных капель. Также были предприняты попытки изготовить электроды без предварительной обработки поверхности GaAs лазерным излучением, просто осаждая In испарением со стеклянной пластинки пучком большой интенсивности, но это тоже приводило к разбрызгиванию In. После осаждения слоя In на поверхность, подготовленную методом лазерной абляции, для улучшения электрических и механических свойств контактов напылялся дополнительный слой In, толщиной ~ 50 нм, который для придания большей механической прочности покрывался толстым слоем Al. Распределение различных элементов в области контакта анализировалось методом спектроскопии электронов Оже (Auger). Электрические свойства контактов исследовались путем изучения вольт-амперных характеристик и распределения поверхностного потенциала. Распределение поверхностного потенциала измерялось бесконтактным емкостным методом [8], сущность которого сводится к тому, что в измерительном микроэлектроде, вибрирующем над участком исследуемой поверхности образца, индуцируется заряд. Этот заряд, величина которого определяется свойствами участка поверхности образца, преобразуется в переменное напряжение. Дальнейшая электронная обработка этого сигнала и использование 100-процентной отрицательной обратной связи обеспечивают автоматический компенсационный способ измерения, повышающий метрологические характеристики данного измерителя.

3. Результаты и их обсуждение

На рис. 2 показаны профили распределения химических элементов в области электрода, которая включает в себя вытравленную импульсами лазера контактную канавку на поверхности GaAs. Из рис. 2, *a* видно, что In распределен по закону Гаусса, вероятнее всего, из-за соответствующего распределения интенсивности в пучке лазерного излучения. Заметные флуктуационные отклонения получены из-за различия в размерах кратеров абляции, которые образуются в результате облучения лазерными импульсами. Подобное распределение имеют и другие легко адсорбируемые примесные элементы — C, O, Ga (рис. 2, *b*), которые, по-видимому, появились во время обработки кристалла, например из остаточных газов в вакуумной системе, или перенесли вместе с индием со стеклянной пластинки — промежуточного источника In. Эти примеси не удаляются очищающим потоком ионов Ar.

На рис. 3 приведены вольт-амперные характеристики образцов, изготовленных двумя описанными методами. Видно, что лазерная обработка заметно повышает омичность контактов и уменьшает их сопротивление. Обычно напыленные контакты без дополнительной термообработки имеют несимметричные вольт-амперные характе-

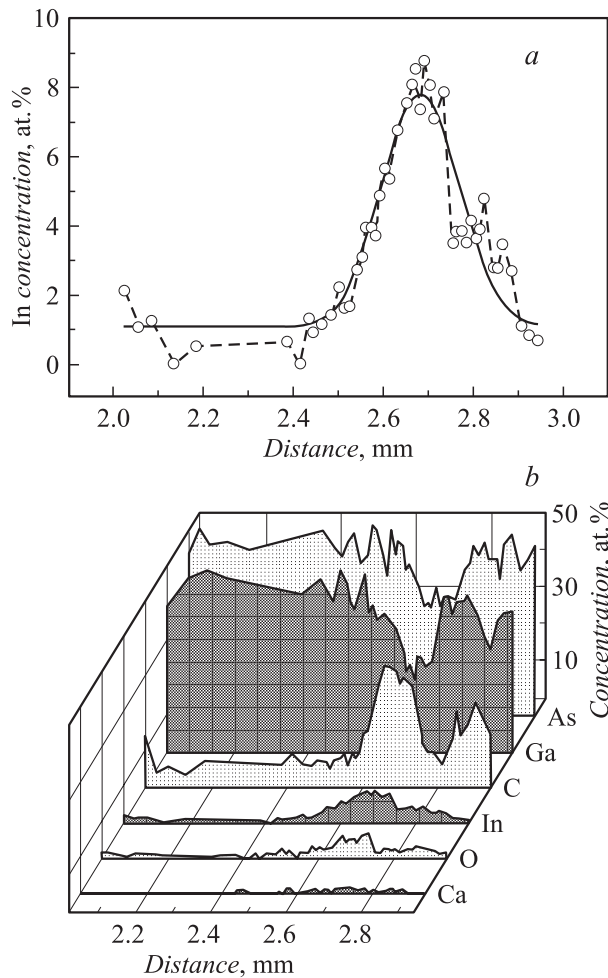


Рис. 2. Распределения концентрации химических элементов в контактных и в приконтактных областях. Расстояние измерялось от края пластинки GaAs. *a* — распределение In: точки и штриховая линия — экспериментальные данные, сплошная кривая — распределение Гаусса. *b* — распределения других установленных элементов.

ристики из-за значительного влияния потенциального барьера в зоне контакта. С другой стороны, оценить высоту контактного потенциального барьера довольно сложно, так как контакты не являются явно выраженными барьерами Шоттки, а в двойном логарифмическом масштабе их вольт-амперная характеристика является прямой с коэффициентом наклона 0.75–0.8. При малых напряжениях (до 0.1 В) сопротивление таких контактов составляло $(2.6–3.3) \cdot 10^9$ Ом. При больших напряжениях вольт-амперные характеристики — линейные, что указывает на влияние омического сопротивления самой контактной области, так как ток остается значительно меньшим, чем при формировании контактов с обработкой GaAs лазерным излучением. При этом в области меньших напряжений виден характерный скачок и изменяется угол наклона прямых. Скорее всего, это связано с пробоем тонкого поверхностного потенциального барьера, обусловленного поверхностными состояниями непо-

средственно на контакте металл–полупроводник. В полуизолирующем материале при неравномерном распределении In на поверхности влияние этого эффекта должно усиливаться в результате объемно-неравномерной компенсации дефектов GaAs индием.

Контакты, изготовленные по предложенному нами методу, включающему лазерную абляцию и осаждение In, остаются омическими при изменении напряжения и силы тока на 3 порядка, а сила тока ограничивается лишь объемным сопротивлением образца ($\sim 1.5 \cdot 10^6$ Ом, что характерно для высокоомного GaAs). При сильном освещении образцов появляется фотоэдс, указывающая на присутствие потенциального барьера. Отрицательный полюс фотоэдс образуется на электроде, который при лазерном осаждении был обогащен In. В полуизолирующих образцах величина фотоэдс составляла ~ 150 мВ и по мере увеличения проводимости GaAs уменьшалась. Это хорошо согласуется с известным фактом, что в полуизолирующем GaAs образуются флуктуации краев запрещенной зоны (потенциальный рельеф) примерно

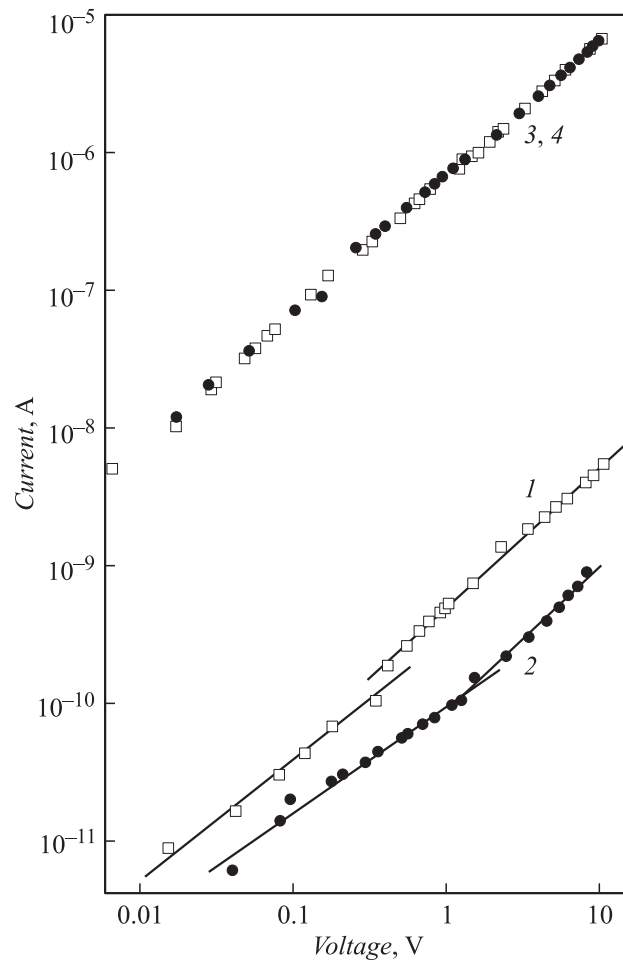


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики образцов в прямом (1,3) и обратном (2,4) направлениях приложенного электрического поля. 1,2 — контакты изготовлены термическим испарением; 3,4 — контакты изготовлены лазерным испарением.

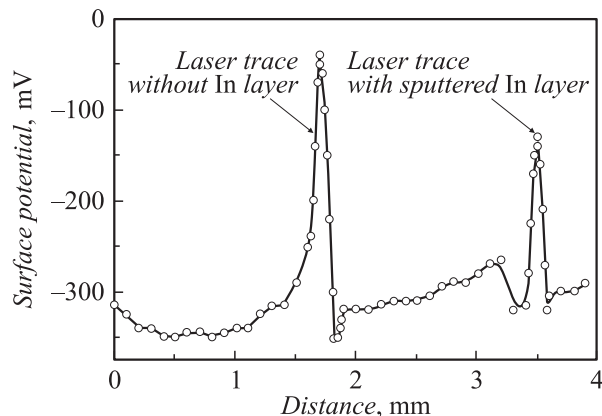


Рис. 4. Распределение поверхностного потенциала вдоль образца с двумя поперечными канавками, вытравленными в местах формирования электродов путем лазерной абляции: левая не покрыта In, на правую в высоком вакууме импульсами лазера осажден In.

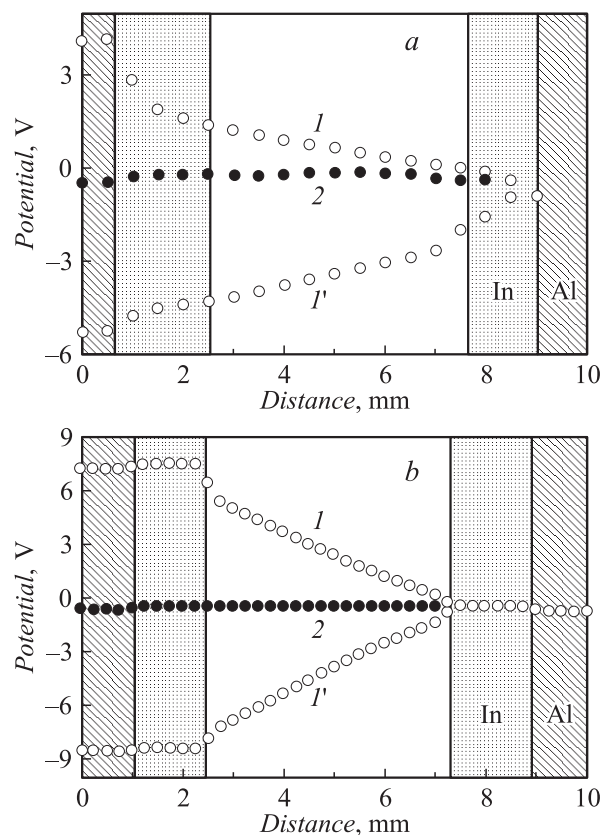


Рис. 5. Распределение поверхностного потенциала вдоль образцов с контактами, изготовленными методами термического (а) и лазерного (b) осаждения In. I, I' соответствуют противоположным полярностям приложенного напряжения, 2 — нулевому напряжению. Расстояние измеряется от левого края кристалла. Схематически изображена геометрия образцов (вид сверху) с двумя электродами на концах. Поверх части слоя In (с краев образца) для увеличения механической прочности электродов нанесен слой Al.

такой же величины [2], экранируемые появляющимися за счет генерации или в результате легирования свободными носителями.

Измерения распределения поверхностного потенциала вдоль кристалла (рис. 4) показали изменение поверхностного потенциального барьера в областях лазерного воздействия в результате осаждения индия. Как видно, осаждение In в канавку лазерной абляции заметно уменьшает величину барьера. На рис. 5 изображено распределение потенциала вдоль образцов с контактами, которые изготовлены термическим напылением In (рис. 5, а) и осаждением In с помощью лазерных импульсов (рис. 5, b). Видно, что в первом случае распределение потенциала по различным направлениям приложенного электрического поля остается асимметричным, как и вольт-амперные характеристики. Особенность этих контактов проявляется в том, что потенциал изменяется и в области поверхности кристалла, покрытой слоем In. Вероятно, это связано с тем, что при напылении тонкого слоя In последний распределяется неоднородно, образуя „островковое“ распределение, вследствие чего образуются барьеры между GaAs и слоем In. Эти данные хорошо согласуются с вышеописанным образованием контактных барьеров, отражающихся на ходе вольт-амперных характеристик.

В случае осаждения In на вытравленные лазером области качество контактов намного лучше: кривая распределения потенциала вдоль образца спрямляется и становится симметричной в обоих направлениях электрического поля. Незначительный скачок потенциала заметен только у границы индиевого контакта, где из-за лазерного термического отжига поверхность GaAs рекристаллизуется. На рис. 1 рекристаллизованная область вокруг зоны абляции видна как более светлая область ореола.

4. Заключение

Предложен метод создания омических контактов для высокоомного GaAs с использованием лазерного травления поверхности и осаждения In. Сформированные таким образом контакты остаются омическими в широком диапазоне силы тока, независимо от полярности приложенного напряжения. Электрический потенциал изменяется линейно вдоль образца. Метод перспективен для формирования прецизионной сети из омических контактов, проходящей через всю толщу кристалла, при изготовлении приборов и элементов микроэлектроники.

Список литературы

- [1] G. Vitali, I. Palumbo, M. Rossi, G. Zollo, C. Pizzuto. Phys. Rev. B, **53**, 4757 (1996).
- [2] V. Kažukauskas, J. Storasta, J.-V. Vaitkus. Phys. Rev. B, **62**, 10 882 (2000).
- [3] A. Lakhani. J. Appl. Phys., **56**, 1888 (1984).

- [4] T. Sebestyen. Sol. St. Electron., **25**, 543 (1982).
- [5] J.M. Woodall, J.L. Freeouf, G.D. Pettit, T. Jackson, P. Kirchner. J. Vac. Sci. Technol., **19**, 626 (1981).
- [6] D.W. Davies, D.V. Morgan, H. Thomas. Semicond. Sci. Technol., **14**, 615 (1999).
- [7] V. Kazlauskienė, V. Kažukauskas, J. Miškinis, A. Petravičius, R. Pūras, S. Sakalauskas, J. Sinius, J. Vaitkus, A. Žindulis. Lithuan. J. Phys., **41**, 357 (2001).
- [8] S. Sakalauskas, A. Sodeika. Rev. Sci. Instrum., **69**, 466 (1998).

Редактор Л.В. Шаронова

Formation of the ohmic contacts on semiinsulating GaAs by laser deposition of In

*V. Kazlauskienė**, *V. Kažukauskas†*, *J. Miškinis**,
*A. Petravičius**, *R. Pūras†*, *S. Sakalauskas†*, *J. Sinius**,
*J.-V. Vaitkus†**, *A. Žindulis†**

† Vilnius University, Physical Department,
2040 Vilnius, Lithuania

* Vilnius University,
Institute for Materials and Applied Sciences,
2040 Vilnius, Lithuania

Abstract In the present study we propose a method for the ohmic contact formation on semiinsulating GaAs by laser ablation and the following deposition of In. The proposed method enables us to obtain ohmic contacts at the room temperature without a high-temperature annealing that is necessary for other technologies. The contacts retain their ohmic properties in wide current ranges covering several orders of magnitude being independent on the current direction. Meanwhile electrical potential is distributed linearly over the sample length, and the current is limited only by the resistivity of material itself. Therefore the suggested method can be applied to produce precise arrays of ohmic contacts formed by laser beam penetrating the sample thickness, which is of primary importance for needs of modern microelectronics.