

06.2; 06.3; 07; 12

© 1991

ЛАЗЕРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ
К АРСЕНИДУ ГАЛЛИЯ n -ТИПАБ.Я. Бер, И.Р. Дайнова,
В.А. Коробов, М.М. Кулагина,
Г.В. Прищепа, В.З. Пятаев,
А.Ю. Островский, М.И. Этинберг

Одной из задач современной полупроводниковой технологии является разработка методики получения омических контактов к тонким полупроводниковым слоям. Основные требования, предъявляемые к контактам – малая толщина переходного слоя, низкое удельное сопротивление, отсутствие разрывов и капель контактного материала на поверхности полупроводника, стабильность характеристик во времени. При переходе к субмикронным слоям обычное термическое вжигание встречает трудности, связанные, в первую очередь, с большой глубиной проникновения компонент контактного материала в полупроводник. Эти трудности можно преодолеть, значительно сократив время формирования контактов за счет использования импульсного лазерного воздействия.

Данная работа направлена на выявление оптимальной процедуры лазерного формирования омических контактов к арсениду галлия. Нашей целью являлось определение последовательности действий, однозначно определяющих выбор режима облучения; выяснение допустимого разброса параметров лазерного пучка (плотности энергии и пространственного распределения интенсивности по сечению облучаемой области), не приводящего к ухудшению параметров контактов. Следует отметить, что в литературе основное внимание традиционно уделяется определению абсолютных величин плотности энергии лазерного излучения ω , необходимых для получения минимального значения удельного контактного сопротивления ρ_c . Сравнительный анализ работ показывает, однако, отрывочность и противоречивость полученных данных. Так, например, минимальные значения удельного контактного сопротивления при формировании контактов kn -GaAs с помощью импульсного лазера на Nd:YAG⁺ ($\lambda = 1.06$ мкм; $\tau = 20$ нс) получаются согласно работе [1] при плотностях энергии 0.3–0.5 Дж/см², а в соответствии с работой [2] – при плотности энергии, достигающей 7 Дж/см². Заметим, что подобный разброс рекомендуемых режимов облучения не является единичным случаем, а скорее типичен для приводимых в литературе данных. Таким образом, хотя к настоящему времени и накоплено большое количество фактического материала по лазерному методу формирования омических контактов, тем не менее до сих пор еще не выявлены условия оптимизации данной процедуры.

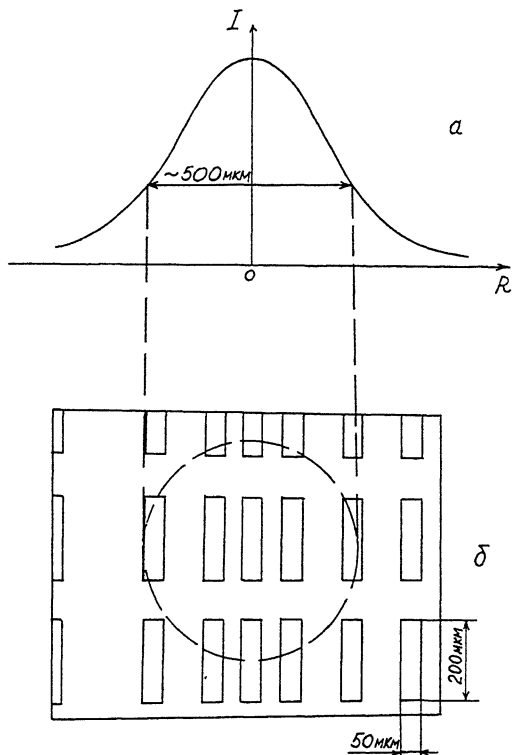


Рис. 1. а - распределение интенсивности излучения по сечению лазерного пучка, б - матрица контактов.

В нашей работе представлены результаты исследования лазерного метода формирования омических контактов к арсениду галлия n -типа.

Контактный материал наносился на химически очищенную подложку из арсенида галлия n -типа термическим испарением из сплава *AuGe* эвтектического состава. Толщина контактного слоя на разных образцах изменялась от 0.1 до 0.3 мкм. На подложку наносилась матрица контактных площадок с размерами 50x200 мкм и геометрией, представленной на рис. 1.

Для проведения экспериментов была собрана импульсная лазерная установка с активными элементами на алюмо-иттриевом гранате. Длина волны излучения $\lambda = 1.06$ мкм, длительность импульса излучения на полувысоте $\tau \approx 20$ нс. Распределение энергии по сечению лазерного пучка - близкое к гауссовому. Диаметр лазерного пучка, измеренный по уровню e^{-1} , составлял ~ 500 мкм. Расчет средней плотности энергии лазерного излучения ω , приходящейся на один контакт, производился следующим образом.

Перед каждой серией экспериментов определялись параметры гауссового пучка. В процессе лазерного жигания контактов измерялась полная энергия E лазерного импульса. В зоне матрицы контактов, подвергавшейся лазерному воздействию, измерялось удельное сопротивление ρ_c всех контактов. Измерение ρ_c производилось известными TLM и четырехзондовыми методами. На матрице контактов при этом находился геометрический центр отжигающего лазерного пучка (см. рис. 1). Затем, зная параметры пучка – энергию импульса и геометрическое смещение контактных площадок относительно центра зоны облучения – определялось значение ω для каждого из контактов. Такая методика позволяла только по одному лазерному „пятну” на матрице определить несколько десятков точек на графике зависимости $\rho_c(\omega)$.

В экспериментах изучалось влияние на удельное сопротивление следующих параметров: направления облучения (со стороны контактного слоя или же со стороны подложки), толщины напыленного слоя контактного материала, плотности энергии лазерного импульса.

Эксперименты показали, что в случае воздействия со стороны контактного слоя, его толщина не должна превышать ~ 0.1 мкм, в противном случае лазерным методом не удастся сформировать омические контакты с низким сопротивлением. При воздействии импульсного излучения со стороны подложки ограничения по толщине контактного слоя снимаются. Причина такого различия состоит в следующем.

При формировании контактов поглощение энергии лазерного излучения происходит в приповерхностном слое контактного материала. Поэтому при лазерном воздействии со стороны контактного материала областью тепловыделения является граница раздела воздух – контактный материал, и фронт расплава движется в сторону подложки. Естественно предположить, что в случае толстого (~ 0.3 мкм) слоя контактного материала из-за кратковременности воздействия лазерного импульса практически не успевает подплавиться поверхностный слой арсенида галлия. При этом диффузия германия в $GaAs$ может происходить только в твердой фазе и проникновение атомов германия оказывается недостаточным для получения омических контактов с низким сопротивлением. В случае тонкого (~ 0.1 мкм) контактного слоя приповерхностный слой $GaAs$ успевает расплавиться, что приводит к заметному увеличению проникновения Ge вглубь образца и, как следствие, получению контактов с низким сопротивлением.

При лазерном воздействии со стороны подложки движение фронта расплава начинается от границы: контактный сплав – $GaAs$, и приповерхностный слой полупроводника в любом случае подплавляется независимо от толщины контактного слоя. На рис. 2 представлена типичная зависимость $\rho_c(\omega)$ при лазерном отжиге со стороны контактного слоя. Из графика видно, что зависимость характеризуется двумя плотностями энергии ω_1 и ω_2 , между которыми имеется достаточно широкий интервал, где ρ_c меняется незначительно. Это означает, что выбор оптимальной плотности

Значения удельного контактного сопротивления после отжига

Концентрация	Образец	Удельное контактное сопротивление, ρ_c , Ом·см ²			Рекордное значение для данной концентрации
		После лазерного отжига	После термического отжига	Теоретический предел для данной концентрации [3]	
$9 \cdot 10^{15}$ - $1.4 \cdot 10^{16}$	Массивный	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$(8 \pm 2) \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$ [4]
$2 \cdot 10^{17}$	Ионно-имплантированный слой	$2.4 \cdot 10^{-6}$	$(2.0 \pm 0.6) \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$(2-8) \cdot 10^{-6}$ [5]
$(1.6-1.8) \cdot 10^{18}$	Слой, полученный жидкостной эпитаксией	$6.7 \cdot 10^{-7}$	$(3 \pm 2) \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$ [6, 7]
$2 \cdot 10^{18}$	Слой, полученный молекулярно-лучковой эпитаксией	$3 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-7}$ - $6 \cdot 10^{-6}$		

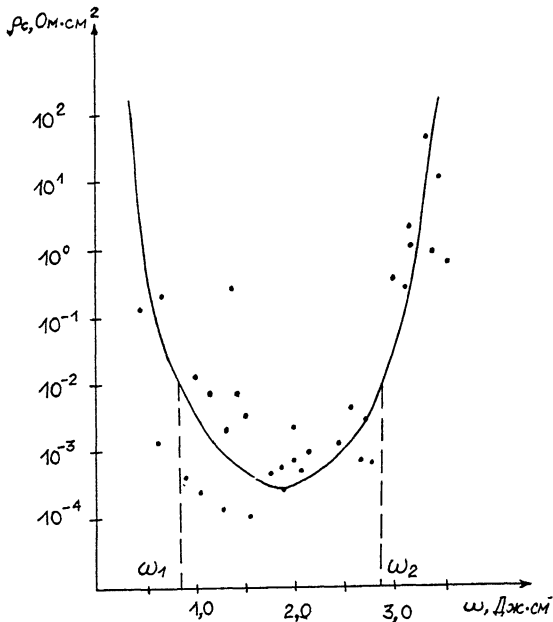


Рис. 2. Экспериментальный график зависимости удельного контактного сопротивления ρ_c от плотности энергии лазерного излучения ω .

энергии в середине указанного интервала обеспечивает получение минимального ρ_c даже в том случае, когда флуктуации плотности от выстрела к выстрелу составляют $\sim 40\%$. Этот вывод относится также к допустимому разбросу плотности энергии по сечению лазерного пучка.

Нами был обнаружен значительный ($\sim 100\%$) разброс величин ρ_c при одинаковом значении ω в различных сериях экспериментов. Этот разброс объясняется следующими причинами:

1. Неоднородностью предварительной химической очистки подложки.
2. Неоднородностью состава напыленного контактного материала, приводящей к изменению его теплофизических и оптических характеристик контактного материала.
3. Неоднородностью толщины напыленного слоя.

По-видимому, этими же причинами определяется и значительное расхождение в рекомендуемых в литературе значений плотностей энергии ω по данным работ [1, 2]. По нашему мнению, полученные результаты показывают, что абсолютные значения плотностей энергий ω , которые в значительной степени зависят от условий нанесения контактного материала, сами по себе не определяют

оптимальные условия формирования контактов. Для оптимизации этой процедуры требуется экспериментальное определение для данных условий нанесения контактного слоя зависимости $\rho_c(\omega)$ и выбор рабочей плотности энергии обучения в интервале $\omega_1 < \omega < \omega_2$.

После определения оптимальных значений ω нами были проведены эксперименты по лазерному формированию омических контактов к слоям n -GaAs с различной концентрацией. Результаты приведены в таблице. Анализ приведенных данных показывает, что величина удельного сопротивления ρ_c , полученная с помощью лазерного формирования контактов, соответствует величине ρ_c , полученной при термическом вжигании контактов на тех же слоях. Значения ρ_c близки, с одной стороны, к теоретическим, а с другой — к лучшим экспериментальным результатам.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] O r a b y A.H., M u r a k a m i K., Y u - b a Y. // Appl. Phys. Lett. 1981. V. 38. N 7. P. 562-564.
- [2] B a d e r t s c h e r G., S a l a t h e R.P., L u t h y W. // Electron Lett. 1980. V. 16. N 4. P. 113-114.
- [3] W u D i n g f e n, H e i m e K. // Electron. Lett. 1982. V. 18. N 22. P. 940-941.
- [4] V i d i m a r y F. // Appl. Phys. Lett. 1979. V. 15. N 21. P. 674-676.
- [5] H e i b l u m M., N a t h a n M.I., C h a n g C.A. // Solid-State Electron. 1982. V. 25. N 3. P. 185-195.
- [6] B a d e r t s c h e r G., S a l a t h e R.P., L u t h y W. // Electron Lett. 1980. V. 16. N 4. P. 113-114.
- [7] W e r t h e n W.G., S c i f r e s D.R. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. N 2. P. 1127-1129.

Поступило в Редакцию
25 сентября 1991 г.