

- [1] Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж. Поута и др.; Пер. с англ. Н.К. Мышкина и др. / Под ред. А.А. Углова. М.: Машиностроение. 1987. С. 424.
- [2] Д и д е н к о А.Н., Л и г а ч е в А.Е., К у р а к и н И.Б. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. М.: Атомиздат. 1987. 184 с.
- [3] К р е й н д е л ь Ю.Е. В сб.: Разработка и применение источников интенсивных электронных пучков. Новосибирск: Наука, 1976.
- [4] Ж у к о в В.П., Д е м и д о в А.В. // Атомная энергия. 1985. Т. 59. В. 1. С. 29-33.
- [5] Ж у к о в В.П., Б о л д и н А.А. // Атомная энергия. 1987. Т. 63. В. 6. С. 375-379.

Поступило в Редакцию  
22 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 17

12 сентября 1989 г.

06.2

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ МЕТОД ПЕРЕНОСА  
НА ПОЛУПРОВОДНИКОВУЮ ПЛАСТИНУ РИСУНКА  
ТРАФАРЕТНОГО ШАБЛОНА С ЭЛЕМЕНТАМИ  
РАЗМЕРОМ  $\sim 0.1$  МКМ

К.А. В а л и е в, Л.В. В е л и к о в,  
Р.Х. М а х м у т о в, С.Н. С и д о р у к,  
В.С. Я к у н и н

При разработке электронных сверхвысокочастотных приборов геометрические размеры элементов структуры приборов вплотную приблизились к значению 0.1 мкм [1]. В литографии подобная разрешающая способность достигается с помощью электронно-лучевых систем с нанометровым диаметром пучка, например при формировании рисунка на тонких мембранах [2]. Эти же системы могут использоваться и для изготовления образцов приборов с размерами элементов  $\leq 0.1$  мкм путем экспонирования пленок резистов непосредственно на полупроводниковой пластине [3]. Однако промышленная технология изготовления приборов требует разработки методов параллельного переноса изображения шаблонов с размерами элементов  $\leq 0.1$  мкм. Таким методом может быть метод электронно-лучевого переноса в широких пучках рисунка трафаретного шаблона на полупроводниковую пластину.

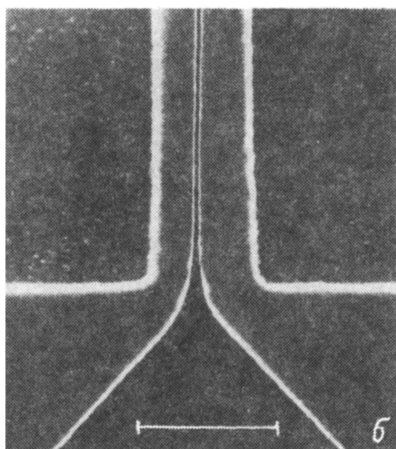
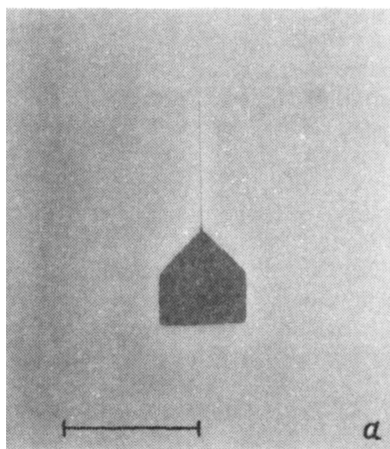


Рис. 1. РЭМ-микрофотография. Одиночный элемент трафаретного шаблона (а). Изображение участка топологического рисунка полевого транзистора, сформированного в слое резиста ЭЛП-20 на *GaAs* пластине (б). Длина затвора - 0.1 мкм.

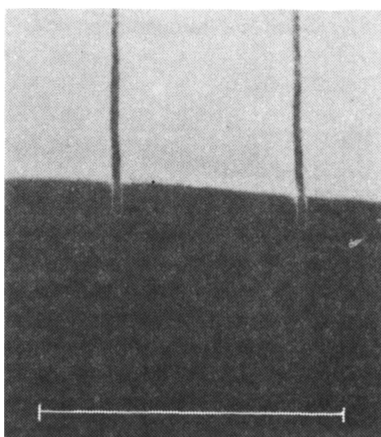


Рис. 2. РЭМ-микрофотография. Изображение элементов рисунка шаблона в слое резиста ЭЛП-20 на *GaAs* пластине. Поперечный размер элемента - 400 Å.

В предыдущих работах [4, 5] сообщалось об использовании метода теневого электронно-лучевого репродуцирования (ТЭЛР) в масштабе 1:1 рисунка трафаретного шаблона с размерами элементов  $\sim 1$  мкм на плоскость полупроводниковой пластины. Эксперименты и моделирование траекторий электронов репродуцирующего пучка показали, что при малой расходимости электронов пучка  $\sim 10^{-5}$  рад и зазоре между трафаретным шаблоном и пластиной  $\sim 100$  мкм рисунок шаблона переносится в слой резиста с высокой точностью.

В настоящей работе осуществлен метод ТЭЛР топологического рисунка приборов с элементами размером  $\sim 0.1$  мкм в слое резиста на полупроводниковой пластине. Трафаретные шаблоны с рисунком затворов полевых транзисторов были изготовлены по технологии [6], включающей жидкостное анизотропное травление кремния и реактивное ионно-лучевое травление. На рис. 1, а показана микро-

фотография элемента шаблона, сформированного в кремниевой мембране толщиной 7 мкм и диаметром 8 мм. Приведенный элемент соответствует затвору полевого транзистора с длиной 0,1 мкм.

Электронное репродуцирование рисунка трафаретного шаблона в слой резиста ЭЛП-20 толщиной 0,4 мкм проводилось по схеме, описанной в работе [4], с использованием широкого пучка электронов с энергией 20 кэВ. Угловая расходимость пучка диаметром 30 мм не превышала  $10''$ . Зазор между шаблоном и слоем резиста на *GaAs* пластине составлял 200 мкм. Время экспонирования 1 с. Рисунок затвора был проявлен обработкой резистного слоя в соответствующем проявителе. Затем пластина с сформированным в слое резиста рисунком затворов подвергалась в установке электронно-лучевой литографии *ZRM-12* повторному экспонированию для формирования прямоугольных элементов стока и истока полевого транзистора. Далее следовало повторное проявление резистного слоя.

На рис. 1, б показана микрофотография топологического рисунка полевого транзистора, сформированного в слое резиста на *GaAs* пластине, где затвор с длиной 0,1 мкм сформирован методом ТЭЛР, а элементы – сток и исток – экспонированием на установке *ZRM-12*. Полученное значение длины затвора в слое резиста не является пределом для метода ТЭЛР. На рис. 2 показана микрофотография скола *GaAs* пластины со слоем резиста, в котором получено изображение профиля щелевых отверстий, соответствующих элементам шаблона с поперечным размером 400 Å.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Арсенид галлия в микроэлектронике / Под ред. Н. Айнспрука, У. Уиссмана. М.: Мир, 1988. 555 с.
- [2] Broers A.N. // IBM J. Res. Develop. 1988. V. 32. N 4. P. 502-513.
- [3] Umbach C.P., Broers A.N., Koch R.H., Willson C.G., Laibowitz R.B. // IBM J. Res. Develop. 1988. V. 32. N 4. P. 454-461.
- [4] Валиев К.А., Великов Л.В., Махматов Р.Х., Прохоров А.М. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 17. С. 1048-1053.
- [5] Проблемы литографии в микроэлектронике. Труды ИОФАН, т. 8. М.: Наука, 1987.
- [6] Валиев К.А., Великов Л.В., Махматов Р.Х., Прохоров А.М. // Докл. АН СССР. 1985. Т. 284. № 3. С. 595-598.

Физико-технологический  
институт АН СССР,  
Москва

Поступило в Редакцию  
6 мая 1989 г.