магниченности, вызванные взаимодействием спиновых воли. Представления Бете получили затем дальнейшее развитие в теории спиновых воли (напр., [7]). Прямое экспериментальное обнаружение эффекта пинамических нелицейных возбуждений в магнитных материалах до настоящего времени не проводилось.

Экспериментальное изучение явления температурной спиновой переорнентации, смыкающейся с явлением спиновых осцилляций, впервые было проведено в работах [8, 9] на примере пленок интерметаллических соединений системы Gd — Со. В работе [10] приведены экспериментальные данные о температурной осцилляции равновесного направления всктора намагниченности в сплавах системы Fe—Ni—Co.

## Список литературы

1. Глазер А. А., Тагиров Р. И. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1978. Т. 42. № 8. C. 1600.

2. Алиновская Л. А., Ганаго Л. Н., Фоменко Р. С., Демченко А. Н. // Электроппая техника. Сер. материалы. 1979. Т. 1. С. 97. 3. Chikazumi S. // Journ. Appl. Phys. 1961. V. 32. S. 81.

4. Белов К. П. Ферриты в сильных магшитных полях. М., 1972.

Брюхатов Н. Л., Киренский Л. В. // ЖЭТФ. 1938. Т. 8. С. 198.
Брюхатов Н. Л., Киренский Л. В. // ЖЭТФ. 1938. Т. 8. С. 198.
Bethe H. I. // Z. Phys. 1931. V. 71. № 2, 4. S. 205.
Ахнезер И. А. Боровин А. Е. // ЖЭТФ. 1967. Т. 52. Вып. 2. С. 508.
Сухвало С. В., Демченко А. И., Шифрин А. Б. // Весці АН БССР.
Сер. фіз.-мат. навук. 1979. С. 131.

9. Сухвало С. В., Демченко А. И., Шифрин А. Б., Пашковский О. И. // Новые магнитные материалы для микроэлектроники. VII Всесоюз. школа-семинар. Ашхабад, 1982. С. 44.

10. Сухвало С. В., Макутин Г. В., Козич И. Н., Макутина Л. Н. // XVIII Всесоюз. конф. но физике магнитных явлений. Калинин, 1988. Т. З. С. 645.

Поступила в редакцию 15.07.91.

V ЛК 546.28:621.315.592

В. В. БОРЩЕНСКИЙ, Д. И. БРИНКЕВИЧ, Ф. МЕРААН (САР), В. В. ПЕТРОВ

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗОЛОТА И КИСЛОРОДА В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ

Обычно легырование золотом используется для синжения времени жизни носителей заряда в монокристаллическом кремнии. Это обстоятельство определяет необходимость исследования влияния Ан на процессы дефектообразования в Si. Учитывая, что базовым материалом современной электроннки является кремний, полученный по методу Чохральского [1], следует отметить, что особенности поведения примеси золота в Si : О практически не изучались, в частности, остается открытым вопрос о влиянии кислорода на диффузию Аи в кремнии.

В экспериментах использовались пластины бездислокационного *n*кремния с удельным сопротивлением (о) 20 Ом · см, легированного фосфором в процессе выращивания по методу Чохральского. Данные о концентрации кислорода (No) в междоузельном положении, измеренные методом ИК поглощения [2] на спектрофотометре «Specord-75 IR», приведены в табл. 1. Содержание Ан (NAu) определялось методом нейтронно-активацисиного анализа (НАА). Измерения эффекта Холла и проводимости выполнялись в температурном интервале 78-300 К по стандартной методике в режиме постоянного электрического и магнитного полей [3].

Диффузия Ли осуществлялась из пленки, полученной химическим осаждением из раствора на основе дицианаурата калия, в атмосфере водорода при 1150-1250 К в течение 5-24 ч. После се проведения нарушенный приловерхностный слой толщиной ~ 100 мкм, обогащенный золотом, сошлифовывался. С целью исследования влияния преципитатов

Таблица 1

Номер образца	Положение об- разца на пластине	$N_{0} \cdot 10^{-17}$ , cm <sup>-3</sup>		$N_{1} \cdot 10^{-14}$ ,
		исходная	после диф- фузии	-3 CM
1	к Ц	9,29 5,75	9,82	1,1
		10,00	0,00	
2	К	5,87	8,46 5,96	5,7
3	Ц K	12,90 9,15	4,8	7,0
4	Ц	13,50	3,30	9.9
	K	8,19	9,40	9,1

Параметры материалов Si: Au, 0

\* Здесь Ц — центр пластины, К — край пластины. Диффузия проводилась при 1200 К длительностью 5 ч.

кислорода на процесс диффузии Au часть образцов подвергали предварительной термообработке (ПТО) при 1275—1475 К длительностью до 70 ч.

Кривые радиального распределения удельного сопротивления диффузионно-легированных пластин КЭФ-20 с различным содержанием кислорода приведены на рис. 1. Отметим основные особенности:

1. В центральной части пластин с  $N_o > 1 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> компенсации проводимости не происходило и удельное сопротивление было близко к его значению в исходном материале. Характерно, что с увеличением



Рис. 1. Радиальное распределение удельного сопротивления по пластинам Si : (Au, O) с различной концентрацией кислорода. Номера кривых соответствуют номерам образцов в табл. 1



содержания кислорода в междоузельном положении снижалась степень компенсации. Это свидетельствует об уменьшении концентрации Au в электрически активном положении замещения. С другой стороны, диффузионная разгонка золота при 1200 К сопровождалась удалением кислорода из междоузельного положе-

Таблица 2

ния. В данном случае имел место процесс преципитации кислорода, причем наиболее интенсивно он протекал в образцах, в которых компенсация проводимости Аи была минимальной (см. табл. 1).

2. В периферийной краевой области пластин, имеющих вследствие испарения в процессе роста слитка пониженную концентрацию кислорода, наблюдалась компенсация *о*.

3. В пластинах с  $N_O = 9,3 \times 10^{17}$  см<sup>-3</sup> компенсация проводимости происходила по всему объему пластины, причем заметного удаления кислорода из междоузельного положения не наблюдалось.

4. Согласно данным НАА, полная концентрация Ац не проявляла зависимости от места локали-

Параметры диффузионно-легированных образцов Si: (Ац, 0), прошедших предварительную высокотемпературную обработку

Номер образца	Вид обработки	$\begin{vmatrix} N_{\rm Au} \times \\ \times 10^{-14} \\ c_{\rm M} - 3 \end{vmatrix}$	о, Ом∙см
1	1150 К, 20 ч (Аи)	4,2	4800
2	1375 К, 70ч- 1150 К, 20ч(Au)	3800	4980
3	1225 К, 20 ч (Аи)	5,0	840
4	1275 К, 60 ч.— 1225 К, 5 ч (Ац)	2500	930
5	1475 К, 70 ч 1150 К, 20 ч (Аu)	2100	3010

Примечания: Исходная концентрация кислорода во всех образцах составляла 1.1.10<sup>18</sup> см<sup>-3</sup>. зации образца в пластине, но она увеличивалась с ростом содержания кислорода (см. табл. 1).

Приведенные экспериментальные результаты позволяют сделать заключение, что в матернале с высоким содержанием кислорода часть примесных атомов Аи находится в электрически пассивном состоянии. Доля последних возрастала при увеличении No. Известно [4], что присутствие термического окисла на поверхности кремния приводит к увеличению концентрации Au у границы раздела Si-SiO2. С другой стороны, при преципитации кислорода имеет место удаление его из междоузельного положения и образование частиц SiO<sub>2</sub> [5]. Не исключено, что захват последними диффундирующих атомов Аи и приводит к «потере» ими электрической активности.

Для проверки этого предположения проводился эксперимент по диффузионному введению Аи в кремний, подвергнутый ПТО. Установлено, что полная концентрация Аи в таких пластинах была выше, чем в образцах, не прошедших ПТО, но о обоих материалов после диффузии Аи были близки (табл. 2). Этот факт свидетельствует о том, что в образцах после ПТО возрастает концентрация золота в электрически пассивном положенни. Анализ температурных зависимостей холловской подвижности посителей заряда (рис. 2) позволяет заключить, что концентрация макродефектов, окруженных областями пространственного заряда в кремнин, легированном Ац, после ПТО значительно выше, чем в контрольных нелегированных пластинах, подвергнутых аналогичному нагреву, и в образцах Si : Au, не прошедших ПТО. Данный факт свидетельствует о том, что атомы Ан преимущественно лэкализуются вблизи преципитатов кислорода.

Таким образом, в кислородсодержащем кремнии золото может эффективно взанмодействовать с преципитатами кислорода, что приводит к уменьшению степени компенсации проводимости материала.

## Список литературы

1. Мильвидский М. Г. Полупроводниковые материалы в современной электронике. М., 1986.

2. И.тыни М. А., Коварский В. Я., Орлов А. Ф. //Заводская лаборатория. 1984. Т. 50. № 1. С. 24. 3. Кучис Е. В. Методы исследования эффекта Холла. М., 1974.

4. Болотов В. В., Спиридонов В. Н., Эмексузян В. М. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1990. № 2. С. 113.

5. Kanamori A., Kanamori M. // Journ. Appl. Phys. 1979. V. 50. Nº 12. P. 8095.

Поступпла в редакцию 15.07.91.