

INTERNATIONAL CONFERENCE  
ON ION IMPLANTATION  
IN SEMICONDUCTORS  
Budapest - 1975

- 462 -

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЕВ КРЕМНИЯ, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИМИ ДОЗАМИ ИОНОВ УГЛЕРОДА

И.М.Белый, Г.А.Гуманский, В.С.Соловьев, И.С.Ташлыков,  
В.С.Тишков Научно-исследовательский институт прикладных  
физических проблем Белорусского государственного универ-  
ситета им. В.И.Ленина, Минск, СССР  
Г.Гетц, К.Хель, Ф.Швабе  
Иенский университет им. Ф.Шиллера, Иена, ГДР

В ряде работ показано [1-5], что применение метода ионнолучевого легирования позволяет синтезировать карбид кремния при внедрении ионов углерода в кремний. Однако, до настоящего времени недостаточно изучены вопросы влияния условий легирования на синтез того или иного политипа карбида кремния, количественного состава имплантированных слоев, их размеров и другие.

В данной работе излагаются результаты исследования некоторых из вышеназванных проблем.

Для исследования использовался монокристаллический кремний р-типа с удельным сопротивлением 2 омхсм, разрезанный в виде пластин вдоль плоскости /111/. Внедрение ионов углерода с энергией 30 кэв и интегральными потоками до  $5 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> проводилось при комнатной температуре. Ток ионов в пучке был 2,5 мка/см<sup>2</sup>.

Исследование ионнолегированных кристаллов выполнялось методами обратного рассеяния на электростатическом ускорителе при энергии ионов гелия 1,4 мэв и электронографии /на просвет и отражение / при энергии электронов от 60 до 80 кэв.

При проведении ионометрических измерений выполнялись следующие условия. Пучок анализирующих ионов гелия имел расходимость не выше  $10^{-2}$  градуса, его диаметр при падении на кристалл составлял 0,7 мм. Ток пучка при снятии спектров не превышал значения 9 нА, а общий перенесенный заряд за время снятия одного спектра имел величину 5 мкК. Снимались осевые спектры при ориентировании оси <III> кристалла в направлении пучка и спектры неориентированных кристаллов. Применение двухосевого гониометра позволяло получать совпадение любой оси кристалла с желаемым направлением с точностью выше  $0,05^\circ$ . Регистрация рассеянных под углом  $160^\circ$  к первоначальному направлению ионов гелия осуществлялась полупроводниковым детектором с энергетическим разрешением 15 кэВ.

Для выяснения влияния термообработки на формирование карбида кремния менялась температура отжига облученных кристаллов от 550 до  $900^\circ\text{C}$ . Спектры обратно рассеянных от исследуемых кристаллов ионов гелия снятые в "случайном" направлении и при ориентировании оси <III> в направлении пучка представлены на рис. 1 и 2 соответственно. По оси ординат откладывалось число обратно рассеянных ионов гелия, попавших в определенный канал с соответствующей энергией, по оси абсцисс - энергия обратно рассеянных ионов и глубина, с которой они рассеиваются. При переходе к шкале глубин значения потерь энергии принимались из работы [6].

Анализ изменения относительного выхода неориентированных кристаллов в зависимости от глубины при термообработке позволил установить количественные изменения содержания кремния и внедренного углерода в легированном слое, а также распределение углерода по глубине.

Получено, что с ростом температуры отжига до  $750^\circ\text{C}$  содержание атомов кремния в имплантированном слое уменьшается. Концентрация атомов кремния в имплантированном слое после

900°С отжига приблизительно такая же, как после предыдущего отжига, и составляет 33% на глубине 2000А°. Содержание же в имплантируемом слое углерода наоборот, растет с увеличением температуры отжига до 750°С [7]. Причем резкое увеличение концентрации углерода в слое при повышении температуры отжига имплантированного кристалла от 650 до 750°С сопровождается значительным распространением его вглубь кристалла /до глубины 1мкм/. Наблюдаемое объясняется, повидимому, тем, что при этой температуре синтезируется кристаллический карбид кремния, а внутренние напряжения, возникающие на границе карбид кремния-кремний из-за различия параметров элементарных ячеек способствуют усилению диффузии углерода, находящегося уже в избытке в легированном слое, вглубь кристалла. Отмеченное Бордерсом [2] отсутствие пика углерода в отожженном при температуре 900°С кристалле может быть, на наш взгляд, связано с повышенной диффузией углерода, следствием чего явилось уменьшение его объемной концентрации ниже предела чувствительности метода обратного рассеяния.

Анализируя изменение нормированного осевого выхода обратно рассеянных ионов гелия в зависимости от глубины при различных температурах термообработки, а также принимая во внимание, то, что величина отношения "осевого" выхода к "случайному" является показателем степени совершенства исследуемой области кристалла, следует предположить, что зарождение фазы карбида кремния происходит не на поверхности, а в глубине кристалла, где состав кремния и углерода удовлетворяет стехиометрическому соотношению.

Причем при отжиге имплантированного кристалла при температуре 750°С синтезируется текстурированный слой карбида кремния, что проявляется появлением на диаграмме ориентирования достаточно глубоких дополнительных минимумов сим-

метрично сдвинутых относительно минимумов, получаемых при ориентировании легированного кристалла кремния. Текстура синтезированного слоя ослабляется при отжиге с температурой  $900^{\circ}\text{C}$ . /На диаграмме ориентирования кристалла после отжига при температуре  $900^{\circ}\text{C}$  появляется много слабых минимумов/.

Электроннографическое исследование также показало, что при отжиге при температурах выше  $700^{\circ}\text{C}$  кристаллов кремния, имплантированных стехиометрическими дозами ионов углерода, синтезируется слой карбида кремния. В таблице 1 представлены результаты расшифровки электронограммы, полученной от имплантированного кристалла, отожженного при температуре  $900^{\circ}\text{C}$  в течение 60 минут.

Наблюдаемые на электронограмме дифракционные кольца свидетельствуют о синтезе двух политипов поликристаллического карбида кремния, один из которых 6H, а также о присутствии графита в имплантированном слое. С этим, повидимому связано столь малое количество атомов кремния в имплантированном слое после отжига при температурах  $750$  и  $900^{\circ}\text{C}$ , что отмечалось выше. Следует отметить наличие на электронограммах колец, которые не удается расшифровать. Весьма интересным обстоятельством является то, что при изменении дозы внедряемых ионов меняется их характер и интенсивность /№1 и 2 в табл.1 и рис. 3,4,5/. Как правило, эти кольца сопутствуют фазе карбида кремния. В работе [8], где электроннографически изучалась кинетика образования новых фаз при внедрении больших доз ионов кремния в алмаз при комнатной температуре, также было замечено появление новой фазы, предположительно названной авторами нестехиометрическим карбидом кремния. Возможно, это предположение применимо и к нашему случаю.

В заключение авторы выражают благодарность М.А.Кумахову и Х.Трефу за полезное обсуждение результатов и помощь в работе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Баранова Е.К., Демков К.Д.д Старинин К.В., Стрельцов Л.Н., Хайбулин Н.Б. Доклады АН СССР, 1971, т.200, №4, 869.
2. Borders J.A., Picraux S.T., Beezhold W. Appl. Phys.Letters, 1971, v.18, Nr.11, 509.
3. Павлов П.В., Зорин Е.И., Тетельбаум Д.И., Рыжков Г.М. Лесников В.П., Сб. "Всесоюзное совещание по росту кристаллов. Цехкадзор, 1972. Выращивание кристаллов и их структура, часть 1", Ереван, АН Арм. ССР, 1972, 76.
4. Vaidyanathan K.V. J. Appl. Phys. 1973, v.44, Nr.2, 683.
5. Rathemund W., Fritzsche C.R. J. Electrochem. Society, 1974, v.121, Nr.4, 586.
6. Хель К., Гертнер К., Йенский университет. Частное сообщение.
7. Белый И.М., Гоец Г., Гуманский Г.А., Соловьев Б.С., Ташлыков И.С., Хель К., Швабе Р. Труды Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами. И., Издательство МГУ, 1975, 350.
8. Городетский А.Е., Захаров А.П., Вавилов В.С., Краснопевцев В.В., Миллютин Ю.В. Сб. "Взаимодействие атомных частиц с твердым телом", часть 1, Киев, "Наукова думка", 1974, 122.

Подписи к рисункам

Рис. 1. Спектры обратно рассеянных ионов гелия от неориентированного кристалла кремния, имплантированного ионами углерода и отожженного при различных температурах. I - осевой спектр /ось <111>/ исходного кристалла. "Случайные" спектры: 2 - исходного кристалла, 3 - после отжига при  $550^{\circ}\text{C}$ , 4 -  $650^{\circ}\text{C}$ , 5 -  $750^{\circ}\text{C}$ , 6 -  $900^{\circ}\text{C}$ . Для сравнения показан спектр кристалла карбида кремния - 7.

Рис. 2. Спектры обратно рассеянных ионов гелия от кристалла кремния, имплантированного ионами углерода, при ориентировании оси <111> в направлении пучка ионов: 2 - после отжига при температуре  $550^{\circ}\text{C}$ , 3 -  $650^{\circ}\text{C}$ , 4 -  $750^{\circ}\text{C}$ , 5 -  $900^{\circ}\text{C}$ .

Рис. 3. Электронограмма "на прохождение" от образца кремния после имплантации ионов углерода с энергией 30 кэв., дозой  $3 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> и отжига при  $900^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч.

Рис. 4. Электронограмма "на прохождение" от образца кремния после имплантации ионов углерода с энергией 30 кэв., дозой  $4 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> и отжига при  $900^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч.

Рис. 5. Электронограмма "на прохождение" от образца кремния после имплантации ионов углерода с энергией 30 кэв., дозой  $5 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> и отжига при температуре  $900^{\circ}\text{C}$  в течение одного часа.

ТАБЛИЦА I  
Данные промера электрограмм и классификация релакса

В н : характеристика релакса :  $J$  :  $R_{\text{длн}}$   $\frac{d}{n}$  :  $\frac{d}{n} S_i$  :  $\frac{d}{n} C$  :  $\frac{d}{n} S_i C$  :  $h k l$

1	текстурированное кольцо	нпг. 7,7	1,25					
2	текстурированное кольцо	нпг. 8,6	3,72					
3	широкое кольцо	нпг. 9,5	3,97		3,38			0,02
4	текстурированное кольцо	0.сг. 10,8	2,96					
5	сложное кольцо	нпг. 12,8	2,50				2,51	004
6	текстурированное кольцо	сг. 14,4	2,22					
7	широкое кольцо	нпг. 15,0	2,135		2,12			100
8	текстурированное кольцо	сг. 15,5	2,060					
9	точечный релакс	нпг. 16,8	1,910		1,910			220
10	текстурированное кольцо	сг. 17,1	1,870					
11	текстурированное кольцо	сг. 18,3	1,750					
12	текстурированное кольцо	сг. 19,6	1,635					
13	сложное кольцо	нпг. 20,8	1,540				1,54	110
14	сложное кольцо	нпг. 24,4	1,310				1,31	201
15	широкое кольцо	нпг. 26,5	1,210					
16	точечный релакс	нпг. 29,0	1,104		1,104		1,227	
17	сложное кольцо	сг. 32,0	1,000				0,998	422
18	сложное кольцо	сг. 36,0	0,868				0,867	210
19	сложное кольцо	0.сг. 38,2	0,836				0,837	300
20	сложное кольцо	0.сг. 43,5	0,735				0,735	304
								311

нпг. - интенсивное      сг. - слабое      0. сг. - очень слабое

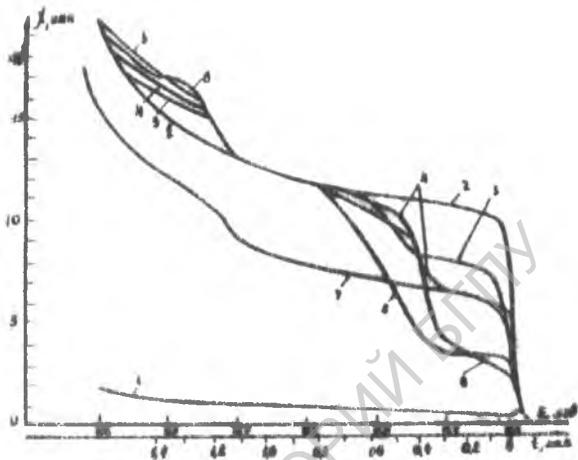


Рис. 1.

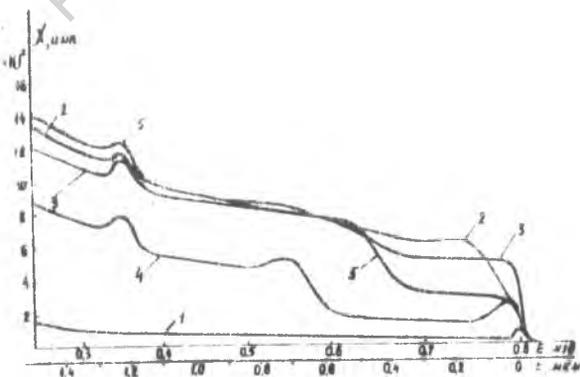


Рис. 2.

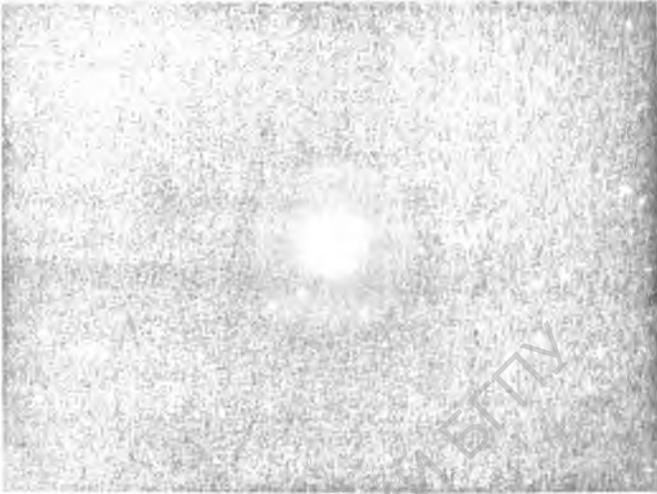


Рис. 3

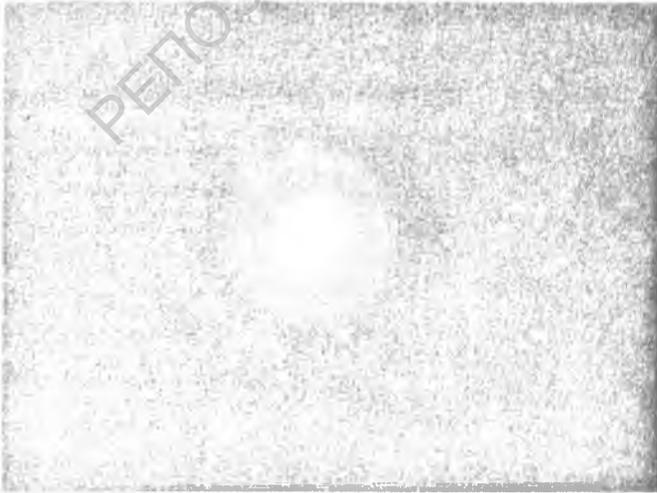


Рис. 4



Рис. 5