

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ В ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННОМ ГЕРМАНИИ ПО КРИВЫМ КАЧАНИЯ

В.В. Воронов, В.П. Калинушкин, Г.Н. Михайлова, А.С. Сеферов, И.Б. Хайбуллин

*Методом кривых качания изучен обнаруженный ранее эффект "бокового" дальнего действия (под маску) в ионно-имплантированной германии. Наблюдаемое уширение кривых качания свидетельствует о локальных деформациях в поверхностном слое не только в области, подвергшейся ионной бомбардировке, но и в соседних областях.*

Среди вторичных процессов, протекающих после ионной имплантации полупроводников, большой интерес вызывают эффекты аномального дальнего действия; проявляющиеся в изменении структуры и физических свойств полупроводниковых кристаллов на расстояниях, во много раз превышающих проекционный пробег ионов /1-3/. Эти факты заставляют пересмотреть общепринятые представления о локальности воздействия при ионной имплантации полупроводников. По мере увеличения степени интеграции в современной микроэлектронике роль эффекта дальнего действия как лимитирующего фактора существенно возрастает. Поэтому задача систематизированного изучения основных закономерностей этого явления и установления механизма его действия является весьма актуальной. Однако до сих пор это явление еще не понято и теоретически не исследовано, хотя и существует ряд качественных моделей /3/.

В работах /4, 5/ сообщалось об исследованиях эффекта дальнего действия в ионно-имплантированных Si и Ge. В /4/ впервые установлено, что в области полупроводниковой пластины кремния, закрытой при имплантации маской, происходит значительное увеличение количества дефектов структуры. Методом рассеяния света было показано, что на расстоянии 5-10 мм от границы маски в объеме полупроводника происходит увеличение концентрации и размеров примесных скоплений, которые существуют в кристаллах Si, выращенных методом Чохральского /6/. Впоследствии эффект "бокового" дальнего действия наблюдался также и в германии и был изучен методом СВЧ проводимости /5/.

Одна из моделей эффекта дальнего действия, которая была использована в /4, 5/ для объяснения указанных экспериментальных данных, основывалась на предположении, что ионная имплантация при дозах, превышающих дозу аморфизации, инициирует возникновение напряжений в областях, закрытых при имплантации маской. Эти напряжения могут обуславливать сверхдальнюю миграцию дефектов, генерируемых в приповерхностном слое во время ионной имплантации, и приводить к изменению существующих примесных скоплений в кристаллах.

Чтобы убедиться в наличии таких напряжений и определить их величину, в данной работе были предприняты исследования ионно-легированных кристаллов германия с помощью трехкристального рентгеновского спектрометра, позволяющего по ширине кривых качания оценивать структурное совершенство поверхности кристалла в облученных и необлученных (прикрытых маской) участках образца.

Исследовались плоскопараллельные пластины германия диаметром 30 мм и толщиной 0,5 и 2 мм, ориентированные соответственно в плоскостях (111) и (100), после ионной имплантации ионами фосфора с энергией 40 кэВ и дозой  $10^{16}$  см<sup>-2</sup>. В процессе ионной бомбардировки примерно одна треть пластины была закрыта маской.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Снимались кривые качания и измерялась их полуширина на лицевой и обратной поверхностях кристалла как в области ионного легирования, так и в области под маской. Первые два кристалла обеспечивали монохроматизацию и поляризацию рентгеновского излучения, а третьим кристаллом являлся исследуемый образец, что и позволяло повысить абсолютную точность измерений. Пространственное разрешение составляло  $0,04 \times 2$  мм<sup>2</sup> в плоскости образца и 10 мкм в глубину пластины.

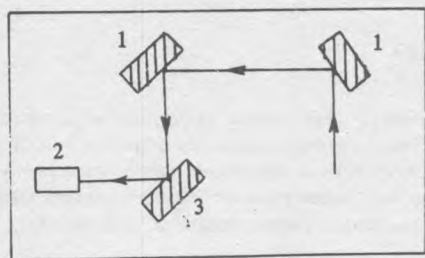


Рис. 1. Схема трехкристального рентгеновского спектрометра: 1 — эталоны (Ge), 2 — детектор, 3 — образец.

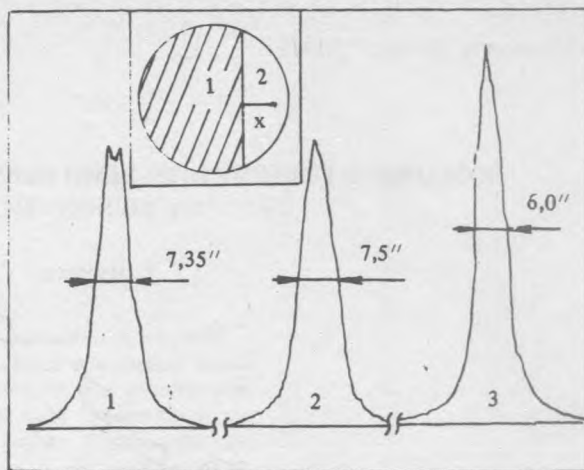


Рис. 2. Кривые качания для отражения (333), полученные от имплантированного участка (1), в области, закрытой при имплантации маской, (2) и на обратной стороне пластины (3). На вставке: геометрия облученной (1) и необлученной (2) областей пластины:  $x$  — расстояние от границы маски до точки, где проводились измерения (площадь рентгеновского зонда  $2 \times 0,024 \text{ мм}^2$ ).

Параметр  $\beta$  — ширина кривой качания, рассчитанный для идеального кристалла германия, ориентированного в плоскости (111), для отражения (333) составляет  $4,4''/7$ . Эксперимент показал, что наблюдается уширение кривых качания от облученных и необлученных (прикрытых маской) участков образца: в имплантированной области (1)  $\beta_1 = 7,4 \pm 0,2''$ . В области под маской (2)  $\beta_2 = 7,6 \pm 0,2''$  и с обратной стороны пластины (3)  $\beta_3 = 6,2 \pm 0,2''$ . Как в области (1), так и в областях (2) и (3) не была обнаружена зависимость параметра  $\beta$  от расстояния до границы маски по поверхности пластины. Данные эксперимента приведены на рис. 2.

На образце, ориентированном в плоскости (100), получены аналогичные результаты. Для отражения (400)  $\beta_1 = 14,5 \pm 0,2''$ , в области (2) —  $\beta_2 = 12,4 \pm 0,2''$ , а на обратной стороне образца  $\beta_3 = 9 \pm 0,2''$ .

Таким образом, результаты рентгеноструктурных исследований методом кривых качания однозначно показывают, что поверхностный слой полупроводника имеет локальные деформации не только в области, подвергшейся ионной бомбардировке (при указанных энергиях и дозах ионного пучка происходит аморфизация на глубину 0,2 — 0,3 мкм), но и в соседних областях, где имплантация не производилась. Параметр  $\beta$ , измеренный на обратной стороне пластины, характеризует влияние эффекта дальнего действия в глубь пластины и степень неидеальности химико-механической обработки поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов П. В. и др. ФТТ, 15, в. 9, 2857 (1973).
2. Вайткус Ю. и др. В кн. Ионная имплантация в полупроводниках и других материалах. Материалы 7-й межд. конф., Вильнюс, 1983, с. 169.
3. Морозов Н. П., Скупов В. Д., Тетельбаум Д. И. ФТП, 19, № 3, 464 (1985).
4. Калинушкин В. П. и др. Микроэлектроника, 15, в. 6, 528 (1986).
5. Kuzemchenko T. A. et al. Physics Letters A, 129, п. 3, 180 (1988).
6. Воронков В. В. и др. ФТП, 17, № 12, 2137 (1983).
7. Матвеев Ю. А., Батулин В. Е., Овдеенко А. Г. Обзоры по ЭТ, сер. 2, полупроводниковые приборы, вып. 7 (1049), 55 (1984).