

05; 06; 11

© 1992

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ИМПЛАНТИРОВАННОМ КРЕМНИИ НА ВРЕМЯ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ

А.Е. Алексеев, Г.В. Белецкий,
Я.Н. Сарапин, А.П. Федчук,
Н.Н. Цыбанев

Известно [1], что процессы имплантации ускоренных частиц в монокристаллические матрицы приводят к образованию множественных радиационных дефектов. Наиболее вероятным процессом является образование френкелевских пар типа вакансия – междоузельный атом [2]. Присутствие вакансий в кремнии p -типа напрямую связано с наличием D -центров с отрицательной корреляционной энергией, что делает задачу их исследования особенно актуальной [3].

Нами было показано ранее [4], что вакансии с высокой вероятностью входят в состав вакансионно-дислокационного кластера (ВДК) нарушенного слоя монокристаллов кремния.

Целью данной работы было установление количественной взаимосвязи между дозой ионного легирования монокристаллов кремния, временем жизни неравновесных носителей тока, определяющим величину сигнала поверхностной фотоЭДС и уровнем дефектности при поверхностного нарушенного слоя по френкелевским парам.

Исследовались пластины p - Si типа КЭФ-4,5 диаметром 100 мм ориентации (100). Эти пластины подвергались ионной имплантации ионами бора с энергией 55 и 80 кэВ на установке „Везувий-1“. Дозы легирования выбирались на краях наиболее употребительного диапазона в области 10^{11} и 10^{13} см $^{-2}$ с тем, чтобы составить основу для оценки дефектообразования во всем диапазоне.

Процесс дефектообразования контролировался с помощью разработанного нами автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) „ФОТОКОН“ [5]. ИВК представляет информацию о распределении сигнала фотоЭДС по поверхности пластины, генерируемого излучением $He-Ne$ лазера, в виде топограмм или гистограмм. Шаг сканирования соответствовал расстоянию между центрами формируемых микрокристаллов БИС. Стандартное число точек сканирования на 100 мм пластине равно 330. Чувствительность ИВК регулировалась изменением величины обратного смещения, подаваемого на пластину.

На рис. 1 представлены графики зависимости сигнала фотоЭДС от обратной дозы для диапазонов 10^{11} и 10^{13} см $^{-2}$. Заметно, что эти графики достаточно хорошо спрямляются в выбранных ко-

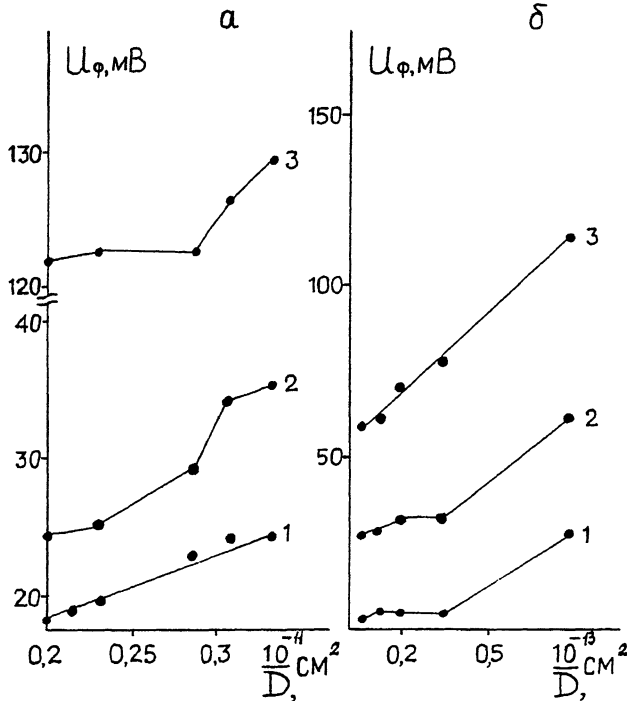


Рис. 1. Зависимость сигнала фотоЭДС U_{ϕ} от величины обратной дозы имплантации для диапазонов: а) для дозы 10^{11} см^{-2} и энергии 80 кэВ, кривые: 1 - смещение 0 В, 2 - 0.5 В, 3 - 1.5 В; б) для дозы 10^{13} см^{-2} и энергии 55 кэВ, кривые: 1 - смещение 0 В, 2 - 0.6 В, 3 - 1.0 В.

ординатах. Особенно четко это прослеживается для диапазона 10^{13} см^{-2} и величины обратного смещения 1 В.

С другой стороны, известно [6], что торможение каждого имплантируемого иона с энергией выше пороговой приводит к появлению каскада смещенных атомов (френкелевских пар), число которых определяется формулой:

$$N_d = \frac{P(E - E_c) + bE_c}{E_d}, \quad (1)$$

где E - энергия имплантируемого иона, E_c - энергия, при которой сечения электронного и ядерного торможения уравниваются (в нашем случае, для имплантации B^+ $E_c = 17$ кэВ), вероятностный параметр $P = 10^{-3}$, параметр $b = 1/2$ для $E_B > E_c$. Энергия E_B определяется, согласно [6], выражением вида:

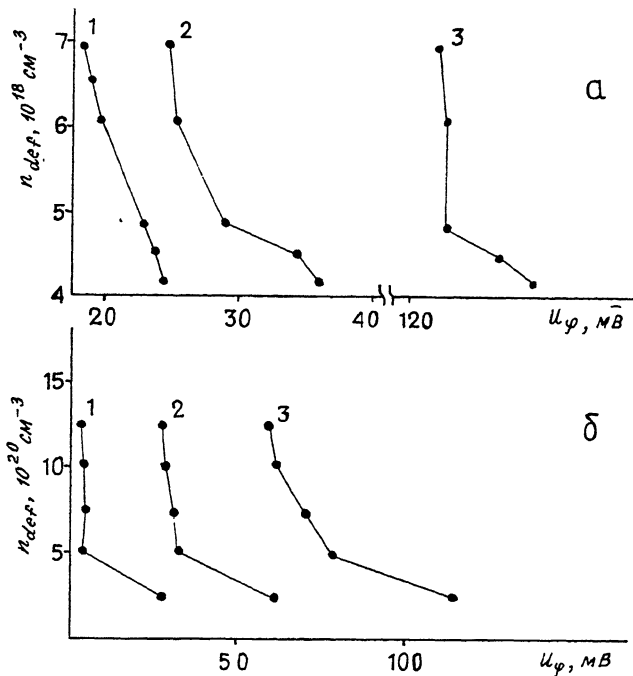


Рис. 2. Уровень дефектности нарушенного слоя кремниевых пластин как функция сигнала поверхностной фотоЭДС: а) для дозы 10^{11} см^{-2} и энергии 80 кэВ и различных величин обратного смещения: 1 - 0 В, 2 - 0.5 В, 3 - 1.5 В; б) для дозы 10^{13} см^{-2} и энергии 55 кэВ при смещении: 1 - 0 В, 2 - 0.6 В, 3 - 1.0 В.

$$E_B = \frac{M_1 M_2 E_A^2}{(M_1 + M_2)^2 E_d}, \quad (2)$$

где M_1 и M_2 - массы имплантируемого иона и атома мишени соответственно, E_d - эффективная пороговая энергия смещения атома решетки. В свою очередь, критическая энергия E_d может быть оценена в соответствии с.

$$E_d = 2 E_R Z_1 Z_2 (Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2} \frac{M_1 + M_2}{M_2}. \quad (3)$$

Оценки, проведенные по формулам (1-3), дают для нашего случая $N_d = 610$. Для определения взаимосвязи между эффективностью дефектообразования при заданной дозе и энергии и величиной сигнала фотоЭДС, воспользуемся следующими соображениями. Доза

имплантированных ионов D дает непосредственное число внедренных частиц на 1 см^2 поверхности. В работе [6] приведены средние значения длины пробега имплантированных ионов В^+ $R_1=0.3276 \text{ мкм}$ для энергии 55 кэВ и $R_2=0.4370 \text{ мкм}$ для энергии 80 кэВ.

С учетом этого, средняя концентрация френкелевского типа определяется выражением:

$$n_{def} = \frac{D \cdot N_d}{R}, \quad (4)$$

что дает возможность построения графиков уровня дефектности нарушенного слоя n_{def} как функции регистрируемого сигнала фотоЭДС U_{φ} , которые приведены на рис. 2 для двух выбранных диапазонов доз имплантации.

В данной работе показано, что метод поверхностной фотоЭДС применим для количественной оценки уровня дефектообразования, возникающего при ионной имплантации, что, в свою очередь, может быть полезно для установления точного количественного критерия измерения малых доз имплантированных ионов.

Универсальность процессов образования радиационных дефектов при ионной имплантации делает возможным расширение области значимости полученных в данной работе результатов на монокристаллические матрицы, менее изученные, чем кремний, например, соединений групп A_3B_5 и A_2B_6 .

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В.С. Вавилову, В.Ф. Киселеву и А.Е. Киву за многочисленные полезные обсуждения и постоянный интерес к работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В а в и л о в В.С., У х и я Н.А. Радиационные дефекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах. М.: Атомиздат, 1969. 362 с.
- [2] Э л а н г о М.А. Элементарные неупругие радиационные процессы. М.: Наука, 1988. 152 с.
- [3] В а в и л о в В.С., К и с е л е в В.Ф., М у к а ш е в Б.Н. Дефекты в кремнии и на его поверхности. М.: Наука, 1990. 216 с.
- [4] А л е к с е е в А.Е., Г е р а с и м о в О.И., Ф е д ч у к А.П. // ФТТ. 1991. Т. 33. В. 7. С. 2153-2158.
- [5] Б и д н ы к Д.И., Б а р а н о в С.Ф., З и г и н а й л о И.В., К о в а л е в Ю.В., Ф е д ч у к А.П., Ц ы б а н е в Н.Н. // Электронная промышленность. 1990. В. 1. С. 40-42.
- [6] Р и с с е л Х., Р у г е Н. Ионная имплантация. М.: Наука, 1983. 360 с.