

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ СИЛОВЫХ *p-n*-ПЕРЕХОДОВ

Г. Г. МАНУКЯН

Исследовано влияние облучения быстрыми нейтронами на вольт-амперную характеристику неоднородных *p-n*-переходов большой площади силовых полупроводниковых приборов (СПП). Дана оценка воздействия облучения на ВАХ реального *p-n*-перехода в зависимости от разброса электрофизических параметров монокристалла кремния. Показана возможность применения такого облучения для обеспечения воспроизводимости и точности управления параметрами СПП.

При изготовлении любого полупроводникового прибора одним из основных вопросов является распределение электрически активных легирующих атомов, что особенно важно для СПП техники. Обычно для создания СПП используются слитки кремния большого диаметра (более 40 мм), которые характеризуются существенной неоднородностью распределения электрофизических параметров. Вследствие этого электрические характеристики силовых диодов и тиристоров больших площадей существенно отличаются от характеристик, рассчитанных по формулам одномерной теории [1, 2]. Кроме того, ток, протекающий через такой прибор, неравномерно распределяется по его площади, что заметно ухудшает электрические характеристики приборов. Поэтому для создания СПП желательно иметь материал с высокой радиальной однородностью распределения электрофизических параметров.

В связи с этим в настоящей работе предпринята попытка улучшения электрических характеристик СПП путем реакторного облучения потоком быстрых нейтронов. Предполагается, что применение такого облучения при более строгом контроле за распределением примесей в материале позволит более точно управлять динамическими характеристиками силовых приборов.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Исходя из полученных результатов работы [3], а также для составления полной картины наши исследования сводились к изучению ВАХ *p-n*-переходов по площади большого неоднородного *p-n*-перехода как функции разброса исходных параметров материала. Использовались кремниевые пластины электронного типа проводимости диаметром 40 мм. Для проведения исследования большая площадь силового неоднородного *p-n*-перехода, полученного диффузионной технологией, методом фотолитографии была разбита на малые переходы (МП) (с размерами 4×4 мм²). В преде-

лах каждого МП электрофизические параметры были постоянными. Каждый МП был независимым от соседних МП в термическом, электрическом и оптическом отношениях, т. е. ВАХ каждого из них определялась только параметрами самого МП и не зависела от параметров соседних. Условия независимости друг от друга соседних МП осуществлялись следующим образом.

1. Для исключения нагревания соседних МП при протекании тока через один из них специальным приспособлением осуществлялось водяное охлаждение.

2. Электрическая связь могла бы возникнуть между соседними МП в силу поперечных диффузионных токов в приборе за счет неоднородной по площади легирования кремниевой пластины. Однако если иметь в виду, что геометрические размеры МП значительно превышали длину диффузии, то становится очевидным, что такая связь исключалась.

3. Явление, приводящее к оптической связи между соседними МП, заключается в репоглощении кванта света, возникшего за счет прямой рекомбинации электронов и дырок в одном из МП. Поскольку особенности зонной структуры кремния делают интенсивность подобных переходов весьма малой, то в кремниевых приборах ею можно пренебречь.

Итак, практически возможно разделение большого прибора на ряд независимых МП. Такое разделение прибора большой площади на ряд МП, имеющих различные значения электрофизических параметров (χ , ρ , τ , ..., N_g и т. д.), позволяет легко находить флуктуации ВАХ по площади большого p - n -перехода.

Для рассмотрения ВАХ p - n -переходов в зависимости от облучения каждая серия пластин облучалась при температуре примерно 50°C следующими дозами быстрых нейтронов: $2 \cdot 10^{12}$ и $1 \cdot 10^{13}$ н.см $^{-2}$. Выбор доз был обусловлен результатами исследований, проведенных в работе [3], и определен измерениями разбросов параметров материала в зависимости от дозы облучения.

До и после облучения в статическом режиме были исследованы токи прямых ($I_{пр}$) и обратных ($I_{обр}$) ветвей, прямые падения напряжения ($U_{пр}$), напряжения обратных ветвей ($U_{обр}$) и пробивные напряжения ($U_{проб}$) ВАХ каждого МП. По площади большого p - n -перехода изучалось радиальное распределение значений этих величин, изменяющихся от МП к МП. Измерение разброса указанных величин проводилось во взаимно перпендикулярных, диаметральных направлениях. Средние значения указанных параметров получены усреднением данных от восьми МП одинакового радиуса. После измерений для данного радиуса r_1 по методикам, приведенным в работе [3], были рассчитаны коэффициенты вариации W как функции средних значений этих величин.

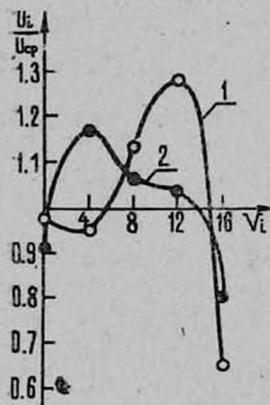
Из экспериментальных результатов (см. таблицу) вытекает, что облучение быстрыми нейтронами приводит к уменьшению W всех исследуемых параметров, что свидетельствует о гомогенизации этих величин по всей площади большого p - n -перехода. Прямые падения напряжения у МП после облучения несколько повысились, а их обратные токи значительно

Доза облучения и с.м. ⁻²	№ пластины	Коэффициенты вариации (W) в %									
		до облучения					после облучения				
		$I_{пр.}$	$U_{пр.}$	$I_{обр.}$	$U_{обр.}$	$U_{проб.}$	$I_{пр.}$	$U_{пр.}$	$I_{обр.}$	$U_{обр.}$	$U_{проб.}$
$2 \cdot 10^{13}$	1	22	13	50	56	46,8	9	2	32	13	20,5
	2	30	7,6	58	40	38	4,7	4,2	10	22	12
$1 \cdot 10^{13}$	3	53	43	55	35	23,5	0	27	40	10	14,4

уменьшились. По-видимому, это связано с тем, что легирующие примеси в исходном материале создают генерационно-рекомбинационные центры в середине запрещенной зоны, тогда как центры, образованные радиационными дефектами, ближе к зоне проводимости.

Пробивные напряжения у МП значительно повысились, а коэффициенты вариации W уменьшились. Это значит, что если какой-нибудь МП до облучения мог пробиться при сравнительно малом напряжении, то после облучения такая вероятность уменьшается. Увеличение пробивного напряжения связано, скорее всего, с увеличением ρ в исходном материале, определяемого как концентрацией радиационных дефектов в нем, так и градиентом их концентрации вблизи перехода.

Представляется разумным предположить, что облучение быстрыми нейтронами приводит к появлению скоплений вакансий — кластеров, которые являются центрами, стягивающими к себе имеющиеся в исходном материале дефекты, а именно, примесные атомы. По-видимому, появление кластеров с концентрацией, соответствующей дозе облучения, и является причиной увеличения ρ . Наблюдаемое при этом уменьшение W пробивного напряжения согласуется с результатами работы [3].



Относительные значения пробивного напряжения в зависимости от радиуса большого p - n -перехода.

Таким образом, можно констатировать, что достигнутая однородность ВАХ p - n -переходов обусловлена, в основном, однородностью электрофизических параметров исходного материала.

На рисунке приведены зависимости U_i/\bar{U} от радиуса пластин, где U_i — значение пробивного напряжения для радиуса r_i (мм), \bar{U} — усредненное по диаметру значение пробивного напряжения. Кривая 1 характеризует радиальное распределение пробивного напряжения до облучения, а кривая 2 — после облучения дозой $1 \cdot 10^{13}$ н см⁻² быстрых нейтронов.

Таким образом, если учесть высокие требования к исходному кремнию для мощных высоковольтных приборов, то весьма перспективным представляется применение облучения быстрыми нейтронами для регулирования параметров и улучшения их эксплуатационных характеристик.

Автор выражает благодарность С. А. Шаболян за интерес к работе и полезные советы и Е. К. Шахбазян за помощь в работе.

Поступила 7.V.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Джентри и др. Управляемые полупроводниковые вентили, Изд. Мир, 1967.
2. В. А. Кузьмин. Тиристоры малой и средней мощности, Изд. Советское радио, 1971.
3. Г. Г. Манукян, Р. М. Абрамян. Изв. АН АрмССР, Физика (в печати).

ԱՐԱԳ ՆԵՅՏՐՈՆՆԵՐԻ ԺԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՒԺԱՅԻՆ

p-n-ԱՆՑՈՒՄՆԵՐԻ ՎՈՒՏ-ԱՄՊԵՐԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԻ ՎՐԱ

Գ. Գ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

Ուսումնասիրված է արագ նեյտրոնների ճառագայթման ազդեցությունը ուժային կիսահաղորդչային սարքերի անհամասեռ մեծ մակերեսով p-n-անցումների վոլտ-ամպերային բնութագրերի վրա: Տրված է ռեալ p-n-անցման վոլտ-ամպերային բնութագրի վրա ճառագայթման ազդեցության գնահատականը, կախված սիլիցիումի միաբյուրեղի էլեկտրաֆիզիկական պարամետրերի բաշխվածությունից: Ցույց է տրված ալգորիթի ճառագայթման կիրառման հնարավորությունը ուժային կիսահաղորդչային սարքերի պարամետրերի ճիշտ զեկավարումը և վերարտադրումը ադահովելու համար:

THE INFLUENCE OF FAST NEUTRONS IRRADIATION ON THE VOLTAGE-CURRENT CHARACTERISTIC OF POWER np-JUNCTIONS

G. G. MANUKYAN

The influence of fast neutrons irradiation on the voltage-current characteristic of inhomogeneous p-n-junctions have been investigated. The estimate of irradiation influence on VAC of the real p-n-junction has been made depending on electrophysical parameters of Si single crystals. The possibility of the application of such an irradiation for providing high reproducibility and the control of PSD parameters was shown.