

ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ МОДУЛЯЦИИ БАЗОВОЙ ОБЛАСТИ КРЕМНИЕВОЙ $p^{+}nn^{+}$ -СТРУКТУРЫ

А.З. Рахматов

ОАО "Foton"

Поступила в редакцию 03.01.2013

Приведены результаты исследования влияния нейтронного облучения на характер зависимости емкости от запирающего напряжения кремниевой $p^{+}nn^{+}$ -структуры. Под воздействием нейтронного облучения дозой $3 \cdot 10^{15}$ н/см² обнаружено увеличение исходной толщины слоя объемного заряда $p^{+}n$ -перехода в два с половиной раза, что объясняется образованием i -слоя у границы с $p^{+}n$ -переходом. При этом достижение заданной напряженности электрического поля после облучения достигается при напряжениях в два раза больших, в результате уменьшается емкость структуры и время включения ограничительного диода.

Ключевые слова: ограничительный диод, нейтронное облучение, кремниевая $p^{+}nn^{+}$ -структура, емкость.

ВПЛИВ НЕЙТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ПРОЦЕСИ МОДУЛЯЦІЇ БАЗОВОЇ ОБЛАСТІ КРЕМНІЄВОЇ $p^{+}nn^{+}$ -СТРУКТУРИ

А.З. Рахматов

Наведено результати дослідження впливу нейтронного опромінення на характер залежності ємності від запираючої напруги кремнієвої $p^{+}nn^{+}$ -структури. Під впливом нейтронного опромінення дозою $3 \cdot 10^{15}$ н/см² виявлене збільшення вихідної товщини шару об'ємного заряду $p^{+}n$ -переходу у два з половиною рази, що пояснюється утворенням i -шару в границі з $p^{+}n$ -переходом. При цьому досягнення заданої напруженості електричного поля після опромінення досягається при напругах у два рази більших, у результаті зменшується ємність структури та час включення обмежувального діода.

Ключові слова: обмежувальний діод, нейтронне опромінення, кремнієва $p^{+}nn^{+}$ -структура, ємність.

THE INFLUENCE OF NEUTRON IRRADIATION ON THE PROCESSES OF MODULATION IN BASE REGION OF SILICON $p^{+}nn^{+}$ -STRUCTURE

A.Z. Rakhmatov

The results of research of the influence of neutron irradiation on the dependence of the capacitance on the reverse voltage of silicon $p^{+}nn^{+}$ -structure are given. Under the influence of neutron irradiation dose of $3 \cdot 10^{15}$ n/cm² is found the expansion of initial thickness of the $p^{+}n$ -junction's space charge – two and a half times, which is explained with formation of i -layer near the border of $p^{+}n$ -junction. While achieving a given electric field strength after exposure achieved with twice higher voltages. As a result is reduced the capacitance of the structure and turn-on time of the transient voltage suppressor.

Keywords: transient voltage suppressor, neutron irradiation, a silicon $p^{+}nn^{+}$ -structure, capacitance.

В последнее время для улучшения параметров полупроводниковых приборов стали подвергать их радиационному воздействию. В фотоэлектрических приборах воздействие радиации приводит к уменьшению концентрации основных носителей заряда и к соответствующему расширению области объемного заряда, уменьшению емкости, что способствует увеличению фоточувствительности и полосы пропускания [1]. Если в ходе радиационного воздействия в базовой обла-

сти образуются акцепторные центры, то в такой структуре область объемного заряда может разделиться на области сильного и слабого полей [2]. Вместе с тем, при воздействии радиационным излучением характеризующие свойства p - n -перехода могут измениться от резкого до плавного [3], хотя технологически исходные профили могут быть различными. Так, ампульным способом диффузии создаются кремниевые низковольтные ограничители напряжения [4], а высоковольтные огра-

ничители напряжения – с помощью традиционного способа диффузии бора и фосфора дающего плавный переход или применением касетного способа диффузии обеспечивающего резкий профиль распределения примесей [5, 6]. Применительно к кремниевым ограничителям напряжения в работах [7, 8, 9] предложены пути идентификации пробойных напряжений и повышения быстродействия под воздействием радиационного излучения. Допустимые импульсные мощности и физические процессы, протекающие в ограничителях напряжения под воздействием мощных импульсов, приведены в работах [10, 11, 12].

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния нейтронного облучения на процессы модуляции базовой области кремниевого ограничительного диода производимого в ОАО “FOTON”.

Исследуемые ограничительные диоды с p^+nn^+ -структурой получены путем однократной диффузии примесей бора и фосфора на одну и другую поверхности кремния n -типа проводимости с удельным сопротивлением 2 Ом·см при толщине 200 мкм. В них сформированный p^+n -переход является плавным в отличие от диодов полученных пакетным способом диффузии [6]. Зависимости емкости от запирающего напряжения описываются закономерностью $1/C^3 \sim U_{обр}$ и претерпевают излом, связанный со сменой градиента распределения примесей фосфора. Можно сказать, что первый участок охватывает до 10 В, чему соответствует толщина обедненного слоя порядка 6 мкм, определенная из вольт-емкостной зависимости [13] $W_{p-n} = \epsilon \epsilon_0 S/C(U)$, и далее следует второй участок, рис. 1.

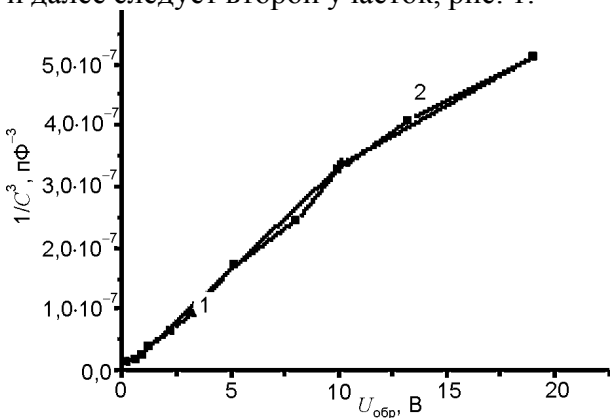


Рис. 1. Зависимость емкости от запирающего напряжения ограничительного диода.

По мере увеличения запирающего напряжения свыше 10 В толщина слоя объемного заряда стремится к насыщению, то есть его рост замедляется, рис. 2, кривая 1. После воздействия нейтронным облучением дозой $3 \cdot 10^{15}$ н/см² исходная толщина слоя объемного заряда p^+n -перехода увеличивается с 2 мкм до 7 мкм и далее наблюдается характерное изменение, рис. 2, кривая 2. Такое поведение области объемного заряда от запирающего напряжения можно объяснить соответствующим изменением градиента распределения примесей у границы p^+n -перехода и увеличением удельного сопротивления базовой области после облучения.

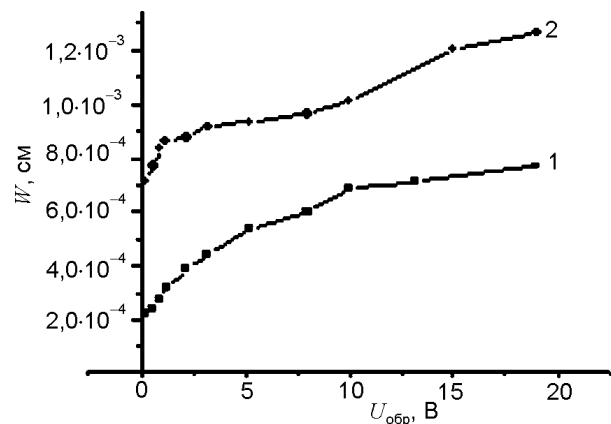


Рис. 2. Зависимости толщины слоя объемного заряда от запирающего напряжения для однокристалльного ограничителя напряжения до – 1 и после облучения – 2.

Из характера зависимости толщины области обеднения после воздействия нейтронного облучения следует, что базовая область разбивается на два участка. Вначале имеется компенсированный участок, далее концентрация носителей увеличивается близко к линейному, а затем следует незначительная компенсация носителей сменяющийся в малой степени нарастающей концентрацией носителей.

Согласно данным значениям, зависимости толщины слоя объемного заряда от запирающего напряжения до облучения, принимая толщину p^+ -области равной 40 мкм, а n^+ -области 50 мкм и с вычетом исходной толщины области объемного заряда 2 мкм получим толщину квазинейтральной области порядка 108 мкм. После радиационного облучения происходит добавка к области объемного заряда дополнительной области толщиной

5 мкм с собственной концентрацией носителей, за которым следует высокоомная область толщиной 1.5 мкм и участок с нарастающей концентрацией носителей порядка 9 мкм. В результате толщина квазинейтральной n -области уменьшается до 92.5 мкм. Построенные на основе этих данных качественные зонные диаграммы приведены на рис. 3.

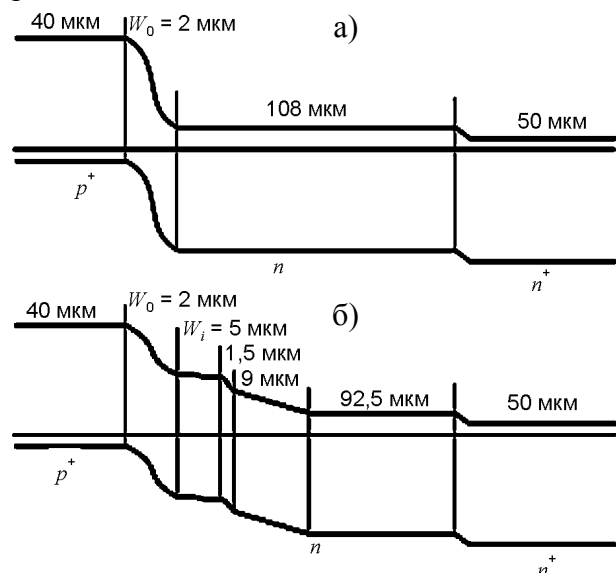


Рис. 3. Качественные зонные диаграммы p^+np^+ -структуры до (а) и (б) после облучения.

Как видно из зонной диаграммы p^+np^+ -структуры до облучения нейтронами исходная толщина области объемного заряда от запирающего напряжения увеличивается по одному закону за счет охвата квазинейтральной области слоем объемного заряда, рис. 3а. В дальнейшем по мере достижения критического поля наступает режим пробоя, и перестает расширяться слой объемного заряда. При этом за счет диффузионного распределения носителей толщина обедненного слоя увеличится до 6.8 мкм, а в дальнейшем будет увеличиваться до достижения критической величины.

После облучения нейтронами созданная у границы p^+n -перехода i -область оказывается охваченным объемным зарядом при низких напряжениях и в дальнейшем замедляется рост толщины слоя объемного заряда с последующим расширением объемного заряда в направлении более равномерной области, рис. 3б.

После облучения нейтронами вместе с увеличением толщины области объемного

заряда напряженность электрического поля уменьшается, рис. 4. Заданная напряженность электрического поля ($1 \cdot 10^4$ В/см) после облучения достигается при в два раза больших напряжениях (10 В вместо 5 В), аналогично для увеличенной напряженности электрического поля $1.5 \cdot 10^4$ В/см имеем 20 В и 10 В соответственно и существенное уменьшение емкости, приводящее к снижению времени включения ограничительного диода.

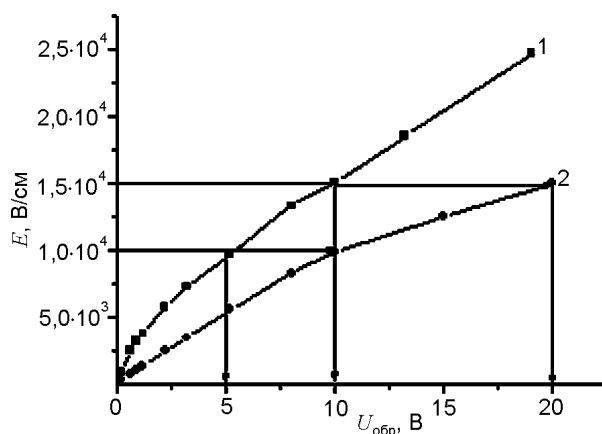


Рис. 4. Зависимости напряженности электрического поля p - n -перехода от запирающего напряжения до – 1 и после облучения – 2.

Таким образом, базовая область (110 мкм) ограничительного диода после нейтронного воздействия разбивается на две части, с градиентным (17.5 мкм) и равномерным распределением примесей (92.5 мкм). При этом у границы p^+n -перехода создается i -область, приводящая к уменьшению емкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Р.Ю., Аскеров К.А. Влияние ионизирующих излучений на основные параметры фотодиодов на основе селенида индия//Прикладная физика. – 1999. – № 3. – С. 28.
2. Козловский В.В., Емцев В.В., Емцев К.В., Строкан Н.Б. и др. Влияние электронного облучения на скорость удаления носителей в кремнии и карбиде кремния модификации 4Н //ФТП. – 2008. – Т. 42, Вып. 2. – С. 243-248.
3. Саакян В.А. Действие различных видов облучения полупроводниковых приборов//Известия НАН Армении, Физика. – 2008. – Т. 43, № 5. – С. 348-354.
4. Рахматов А.З., Скорняков С., Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О., Бузруков У. Физико-технологические аспекты создания низковольтных ограничителей напряжения на основе кремния//Технология и конструирова-

- ние в электронной аппаратуре (Одесса). – 2010. – № 5-6. – С. 30-35.
5. Рахматов А.З. Разработка физико-технических основ получения кремниевых ограничителей напряжения. – Автореф. дис. на соискание ученой степени к.т.н. – Ташкент, 2008.
 6. Способ изготовления кремниевых ограничителей напряжения/Муратов А., Рахматов А., Меркулов А.А., Исмоилов И.Р. – Патент РУз № 5328. Бюл. № 3 от 30.09.1994.
 7. Рахматов А.З., Петров Д.А., Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А. Исследование влияния нейтронного облучения на напряжение пробоя кремниевых ограничителей напряжения//Радиоэлектроника. Киев. – 2012. – № 7. – С. 1-4.
 8. Рахматов А.З., Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А. Исследование влияния нейтронного облучения на характеристические параметры кремниевых ограничителей напряжения//Компоненты и технологии. – 2012. – № 5. – С. 52-54.
 9. Рахматов А.З., Каримов А.В. Анализ переходных процессов в радиационно-облученных кремниевых $p^{+}nn^{+}$ -структурах//ФИП. – 2012. – Т. 10. № 4. – С. 308-312.
 10. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Рахматов А.З., Скормяков С.Л., Петров Д.А., Абдулхаев О.А. Исследование импульсных характеристик ограничителей напряжения//Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012. – № 3. – С. 26-31.
 11. Рахматов А.З., Абдулхаев О., Каримов А., Ёдгорова Д.М. Особенности работы ограничителя напряжения в импульсном режиме//ФТП. – 2013. – Т. 47, Вып. 3. – С. 364-368.
 12. Рахматов А.З., Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А. Скормяков С.П. Приборные характеристики силовых диодов на основе кремниевых $p^{+}n^{+}$, $p^{+}n-n^{+}$ и $p^{+}p-n-n^{+}$ -структур//Компоненты и технологии. – 2012. – № 4. – С. 38-41.
 13. Sze S.M., Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. Hoboken.- New Jersey: Wiley-Interscience, 2007. – 94 p.
- LITERATURA**
1. Aliev R.Yu., Askerov K.A. Vliyanie ioniziruyuschih izluchenij na osnovnye parametry fotodiodov na osnove selenida indiya//Prikladnaya fizika. – 1999. – № 3. – С. 28.
 2. Kozlovskij V.V., Emcev V.V., Emcev K.V., Stokan N.B. i dr. Vliyanie ‘elektronnogo oblucheniya na skorost’ udaleniya nositelej v kremnii i karbide kremniya modifikacii 4N//FTP. – 2008. – Т. 42, Вып. 2. – С. 243-248.
 3. Saakyan V.A. Dejstvie razlichnyh vidov oblucheniya poluprovodnikovyyh priborov//Izvestiya NAN Armenii, Fizika. – 2008. – Т. 43, № 5. – С. 348-354.
 4. Rahmatov A.Z., Skorniyakov S.L., Karimov A.V., Edgorova D.M., Abdulhaev O., Buzrukov U.M. Fiziko-tehnologicheskie aspekty sozdaniya nizkovolnyh ogranichitelej napryazheniya na osnove kremniya//Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature (Odessa). – 2010. – № 5-6. – С. 30-35.
 5. Rahmatov A.Z. Razrabotka fiziko-tehnicheskikh osnov polucheniya kremnievyyh ogranichitelej napryazheniya. – Avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni k.t.n. – Tashkent, 2008.
 6. Sposob izgotovleniya kremnievyyh ogranichitelej napryazheniya/Muratov A.F., Rahmatov A.Z., Merkulov A.A., Ismoilov I.R. – Patent RUz № 5328. Byul. № 3 ot 30.09.1994.
 7. Rahmatov A.Z., Petrov D.A., Karimov A.V., Edgorova D.M., Abdulhaev O.A. Issledovanie vliyaniya nejtronnogo oblucheniya na napryazhenie proboya kremnievyyh ogranichitelej napryazheniya//Radio elektronika, Kiev. – 2012. – № 7. – С. 1-4.
 8. Rahmatov A.Z., Karimov A.V., Edgorova D.M., Abdulhaev O.A. Issledovanie vliyaniya nejtronnogo oblucheniya na harakteristicheskie parametry kremnievyyh ogranichitelej napryazheniya //Komponenty i tehnologii. – 2012. – № 5. – С. 52-54.
 9. Rahmatov A.Z., Karimov A.V. Analiz perehodnyh processov v radiacionno-obluchennyh kremnievyyh $p^{+}nn^{+}$ -strukturah//FIP. – 2012. – Т. 10, № 4. – С. 308-312.
 10. Karimov A.V., Edgorova D.M., Rahmatov A.Z., Skorniyakov S.L. Petrov D.A., Abdulhaev O.A. Issledovanie impulsnyh harakteristik ogranichitelej napryazheniya//Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature. – 2012. – № 3. – С. 26-31.
 11. Rahmatov A.Z., Abdulhaev O.A., Karimov A.V., Edgorova D.M. Osobennosti raboty ogranichitelya napryazheniya v impulsnom rezhime//FTP. – 2013. – Т. 47, Вып. 3. – С. 364-368.
 12. Rahmatov A.Z., Karimov A.V., Edgorova D.M., Abdulhaev O.A. Skorniyakov S.P. Pribornye harakteristiki silovyh diodov na osnove kremnievyyh $p^{+}n^{+}$, $p^{+}n-n^{+}$ i $p^{+}r-n-n^{+}$ -struktur//Komponenty i tehnologii. – 2012. – № 4. – С. 38-41.
 13. Sze S.M., Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. Hoboken.- New Jersey: Wiley-Interscience, 2007. – 94 p.