

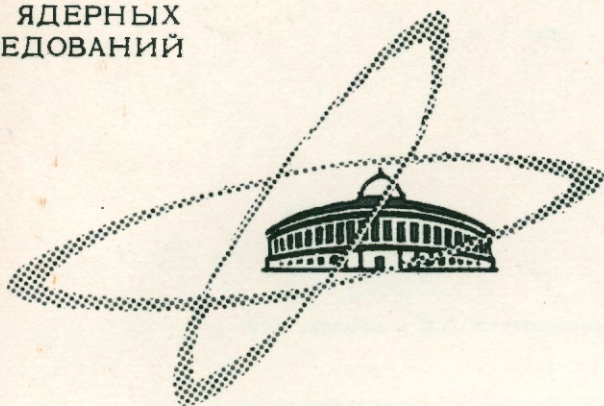
2232

Экз. Чит. Золос

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2232



А.С. Антонов и Л.Г. Юскеселиева

ПРЯМОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ
р - п - ПЕРЕХОДА В КРЕМНИИ р - ТИПА
С ПОМОЩЬЮ СУХИХ
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЯВИТЕЛЕЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

1965

А.С. Антонов и Л.Г. Юскеселова

ПРЯМОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ
р-п-ПЕРЕХОДА В КРЕМНИИ р-ТИПА
С ПОМОЩЬЮ СУХИХ
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЯВИТЕЛЕЙ

Направлено в "Physica Status Solidi"

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

В в е д е н и е

Литий, введенный в кремний в виде легирующей примеси, действует как донор с энергией активации 0,03 эв и имеет коэффициент диффузии приблизительно в 10^7 раз больше, чем примеси, диффундирующие посредством механизма вакансий (например, бор и фосфор). Благодаря большому коэффициенту диффузии, а следовательно, и большой подвижности ионов, литий используется для компенсации акцепторов в кремнии. Этот процесс осуществляется путем дрейфа литиевых ионов в электрическом поле запертого р-п-перехода^{1,2/}. Во время дрейфа ионы лития проникают в глубь кремниевого кристалла р-проводимостью, образуя р-п-переход на расстоянии w , где концентрация лития равна концентрации акцепторов.

Глубина залегания электронно-дырочного перехода и его форма обуславливаются не только временем дрейфа, температурой и напряжением, прикладываемым к переходу (как это следует из приближенной теории дрейфа), но также наличием разных примесей и дефектов в кремнии.

В результате дрейфа ионов лития в кремниевом монокристалле получается р-і-п-структура, состоящая из низкоомной п-области, высокоомной і-области^{х/} и р-области с сопротивлением исходного материала. Так как р-п-переход находится на границе между і- и р-областями^{/3/}, а п-область не изменяет практически свою толщину во время дрейфа, то, измеряя глубину залегания р-п-перехода, мы можем определить один из самых важных параметров кремниевых р-і-п-детекторов^{хх/} - ширину комлексированной области (і-области).

В настоящей работе описывается очень быстрый и простой метод для определения глубины залегания электронно-дырочного перехода в кремнии с помощью сухих электро-

^{х/} Согласно^{/3/} і-область является высокоомной п-областью.

^{хх/} Кремниевые монокристаллы с р-і-п-структурой называются кремниевыми р-і-п-детекторами, благодаря их применению в ядерной спектроскопии.

фотографических проявителей^{/4/}. Метод основывается на появлении области пространственного заряда в $p-n$ -переходе, когда к нему прикладывается напряжение в запирающем направлении. Если частицы проявителя несут положительный заряд (позитивный проявитель), они откладываются на области отрицательного пространственного заряда, т.е. на p -области $p-n$ -перехода, а если частицы проявителя заряжены отрицательно (негативный проявитель), они откладываются на n -области $p-n$ -перехода. Процесс проявления осуществляется независимо от способа обработки проявляемой поверхности детектора и не изменяет его электрические характеристики после удаления проявителя.

Предварительные эксперименты

Кремниевые $p-i-n$ -детекторы изготавливались по технологии Пелла^{/1/}. Использовался легированный бором p -кремний с удельным сопротивлением $50 \div 1000$ ом \cdot см и с временем жизни основных носителей $50 \div 300$ мксек. Образцы представляли собой пластинки толщиной $1 \div 6$ мм и диаметром $10 \div 30$ мм, отрезанные от слитка перпендикулярно направлению (III).

После шлифовки и травления в травителе CP-4 на одну из поверхностей образца наносился тонкий слой лития путем испарения в вакууме 10^{-5} мм Hg. Диффузия лития проводилась в атмосфере аргона при температурах $180 \div 560^\circ\text{C}$ в течение времени $3 \div 30$ мин. Затем торцы образца травились снова и на обеих сторонах образца напылялись алюминиевые электроды.

Полученный таким образом диффузионный $p-n$ -переход в кремнии p -типа проявлялся электрофотографическими проявителями по способу, описанному в следующем разделе.

Дрейф лития производился с теми же образцами в обычной разряженной атмосфере (давление 1 мм Hg). Условия дрейфа были следующие: температура $100 \div 137^\circ\text{C}$, время дрейфа $20 \div 60$ часов, напряжение обратного смещения $100 \div 200$ в. Торцы полученных образцов снова травились в травителе CP-4, и после напыления алюминиевых электродов определялась форма и глубина залегания дрейфового $p-n$ -перехода с помощью сухих электрофотографических проявителей.

Описание нового метода

Выявление границы $p-n$ -перехода с помощью сухих электрофотографических проявителей осуществляется очень быстро и просто.

Образец зажимается в оправе между двумя электродами, и последние соединяют-

ся с источником постоянного напряжения ($U = 40 \div 200$ в), включенного в запирающем направлении по отношению к $p-n$ -переходу. Торцовая поверхность, которая перпендикулярна к $p-n$ -переходу, приводится в соприкосновение с электрофотографическим порошком путем легкого механического натирания. Если для проявления используется позитивный проявитель, то частицы порошка, будучи положительно заряженными, отлагаются на p -области перехода (рис. 1). Если проявление осуществляется негативным проявителем, то отрицательно заряженные частицы порошка садятся на другую сторону перехода (рис. 2).

При проявлении диффузионного $p-n$ -перехода с целью повышения точности создавались условия для получения однородного электрического поля путем применения дополнительного электрода^{/4/}. Электрофотографический проявитель был поставлен в контакте с алюминиевой фольгой, которая связывалась накоротко с одним из электродов образца. При использовании позитивного проявителя и при соединении дополнительного электрода (фольги) с положительным электродом образца частицы проявителя отлагались на p -области $p-n$ -перехода (рис. 3).

Эксперименты проводились при комнатной температуре и при слабом диффузионном смещении. Выявление картины $p-n$ -перехода происходило в течение нескольких секунд. После измерения глубины $p-n$ -перехода с помощью обычного микроскопа порошок легко стирался ватой с поверхности образца, и последний был уже пригоден к дальнейшей работе без дополнительной обработки.

Исследовались условия, от которых зависит четкость картины проявления $p-n$ -перехода. Оказалось, что микроструктура торцовой поверхности образца не играет существенной роли. Отчетливые границы перехода получались как на протравленной поверхности, так и на шлифованной мелким карборундовым порошком или на механически полированной до зеркального блеска поверхностях. Загрязнение проявляемой поверхности размазывает картину $p-n$ -перехода, а макродефекты, такие, как обломки и глубокие ямки травления, дают незначительное искривление картины $p-n$ -перехода.

Большое влияние на четкость проявления $p-n$ -перехода с помощью сухих электрофотографических проявителей оказывает прикладываемое к образцу напряжение. При напряжениях обратного смещения от 40 до 150 в положение границы $p-n$ -перехода не изменяется, но четкость проявления различна. Самая хорошая картина проявления диффузионного и дрейфового $p-n$ -переходов получена при напряжении обратного смещения 100 в и при использовании позитивного сухого электрофотографического проявителя.

Ошибка в определении глубины залегания дрейфового $p-n$ -перехода была 20 мкм, а при применении дополнительного электрода для проявления диффузионного $p-n$ -перехода - 10 мкм.

фотографических проявителей^{/4/}. Метод основывается на появлении области пространственного заряда в $p-n$ -переходе, когда к нему прикладывается напряжение в запирающем направлении. Если частицы проявителя несут положительный заряд (позитивный проявитель), они откладываются на области отрицательного пространственного заряда, т.е. на p -области $p-n$ -перехода, а если частицы проявителя заряжены отрицательно (негативный проявитель), они откладываются на n -области $p-n$ -перехода. Процесс проявления осуществляется независимо от способа обработки проявляемой поверхности детектора и не изменяет его электрические характеристики после удаления проявителя.

Предварительные эксперименты

Кремниевые $p-i-n$ -детекторы изготавливались по технологии Пелла^{/1/}. Использовался легированный бором p -кремний с удельным сопротивлением $50 \div 1000$ ом·см и с временем жизни основных носителей $50 \div 300$ мксек. Образцы представляли собой пластинки толщиной $1 \div 8$ мм и диаметром $10 \div 30$ мм, отрезанные от слитка перпендикулярно направлению (III).

После шлифовки и травления в травителе CP-4 на одну из поверхностей образца наносился тонкий слой лития путем испарения в вакууме 10^{-5} мм Hg. Диффузия лития проводилась в атмосфере аргона при температурах $180 \div 580^\circ\text{C}$ в течение времени $3 \div 30$ мин. Затем торцы образца травились снова и на обеих сторонах образца напылялись алюминиевые электроды.

Полученный таким образом диффузионный $p-n$ -переход в кремнии p -типа проявлялся электрофотографическими проявителями по способу, описанному в следующем разделе.

Дрейф лития производился с теми же образцами в обычной разряженной атмосфере (давление 1 мм Hg). Условия дрейфа были следующие: температура $100 \div 137^\circ\text{C}$, время дрейфа $20 \div 60$ часов, напряжение обратного смещения $100 \div 200$ в. Торцы полученных образцов снова травились в травителе CP-4, и после напыления алюминиевых электродов определялась форма и глубина залегания дрейфового $p-n$ -перехода с помощью сухих электрофотографических проявителей.

Описание нового метода

Выявление границы $p-n$ -перехода с помощью сухих электрофотографических проявителей осуществляется очень быстро и просто.

Образец зажимается в оправе между двумя электродами, и последние соединяют-

ся с источником постоянного напряжения ($U = 40 \div 200$ в), включенного в запирающем направлении по отношению к $p-n$ -переходу. Торцовая поверхность, которая перпендикулярна к $p-n$ -переходу, приводится в соприкосновение с электрофотографическим порошком путем легкого механического натирания. Если для проявления используется позитивный проявитель, то частицы порошка, будучи положительно заряженными, отлагаются на p -области перехода (рис. 1). Если проявление осуществляется негативным проявителем, то отрицательно заряженные частицы порошка садятся на другую сторону перехода (рис. 2).

При проявлении диффузионного $p-n$ -перехода с целью повышения точности создавались условия для получения однородного электрического поля путем применения дополнительного электрода^{/4/}. Электрофотографический проявитель был поставлен в контакте с алюминиевой фольгой, которая связывалась накоротко с одним из электродов образца. При использовании позитивного проявителя и при соединении дополнительного электрода (фольги) с положительным электродом образца частицы проявителя отлагались на p -области $p-n$ -перехода (рис. 3).

Эксперименты проводились при комнатной температуре и при слабом диффузном освещении. Выявление картины $p-n$ -перехода происходило в течение нескольких секунд. После измерения глубины $p-n$ -перехода с помощью обычного микроскопа порошок легко стирался ватой с поверхности образца, и последний был уже пригоден к дальнейшей работе без дополнительной обработки.

Исследовались условия, от которых зависит четкость картины проявления $p-n$ -перехода. Оказалось, что микроструктура торцовой поверхности образца не играет существенной роли. Отчетливые границы перехода получались как на протравленной поверхности, так и на шлифованной мелким карборундовым порошком или на механически полированной до зеркального блеска поверхностях. Загрязнение проявляемой поверхности размазывает картину $p-n$ -перехода, а макродефекты, такие, как обломки и глубокие ямки травления, дают незначительное искривление картины $p-n$ -перехода.

Большое влияние на четкость проявления $p-n$ -перехода с помощью сухих электрофотографических проявителей оказывает прикладываемое к образцу напряжение. При напряжениях обратного смещения от 40 до 150 в положение границы $p-n$ -перехода не изменяется, но четкость проявления различна. Самая хорошая картина проявления диффузионного и дрейфового $p-n$ -переходов получена при напряжении обратного смещения 100 в и при использовании позитивного сухого электрофотографического проявителя.

Ошибка в определении глубины залегания дрейфового $p-n$ -перехода была 20 мкм, а при применении дополнительного электрода для проявления диффузионного $p-n$ -перехода - 10 мкм.

Обсуждение результатов

Новый метод прямого определения глубины залегания $p-n$ - переходов в кремниевых монокристаллах с помощью сухих электрофотографических проявителей имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами проявления $p-n$ - переходов в полупроводниках^{/5/}. Самое большое его преимущество состоит в простоте, скорости и в не сложности техники эксперимента.

Ценным качеством описанного метода является возможность исследования геометрии $p-n$ - перехода. Это иллюстрируется рис. 4, на котором показан проявленный негативным сухим проявителем $p-n$ - переход одного образца. У этого образца дрейф ионов лития происходил при более высокой температуре ($T = 150^\circ\text{C}$). Благодаря присутствию температурного градиента от центра к торцу образца, глубина проникновения ионов лития получалась различной.

В отличие от существующих методов метод прямого проявления $p-n$ - перехода с помощью сухих электрофотографических проявителей не требует дополнительной обработки поверхности образцов (порошок легко стирается ватой) и не изменяет их электрические характеристики. В качестве иллюстрации на рис. 5 и рис. 6 даны соответственно вольтамперные и емкостные характеристики двух образцов до проявления $p-n$ - перехода сухими проявителями (непрерывные линии) и после стирания проявителей ватой (крестики).

Недостаток нового метода заключается в том, что при его помощи не проявляется низкоомная n - область кремниевых $p-i-n$ - детекторов.

Выводы

В работе описывается новый метод для прямого определения глубины залегания $p-n$ - перехода в монокристаллах p - кремния. Метод основывается на проявлении $p-n$ - перехода с помощью сухих (положительных или отрицательных) электрофотографических проявителей. В отличие от существующих методов для проявления $p-n$ - перехода в полупроводниках^{/5/} этот метод не требует дополнительной обработки поверхности образцов, не изменяет их электрические характеристики и осуществляется исключительно быстро и просто.

Метод проявления $p-n$ - перехода в кремниевых монокристаллах p - типа с помощью сухих электрофотографических проявителей может быть применен с большим успехом для контроля глубины дрейфа лития при производстве кремниевых $p-i-n$ детекторов. В принципе он может применяться и для исследования любого $p-n$ - перехода в любом полупроводниковом кристалле.

Авторы выражают благодарность доктору физико-математических наук В.М. Фридкину за оказанное содействие.

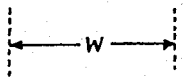
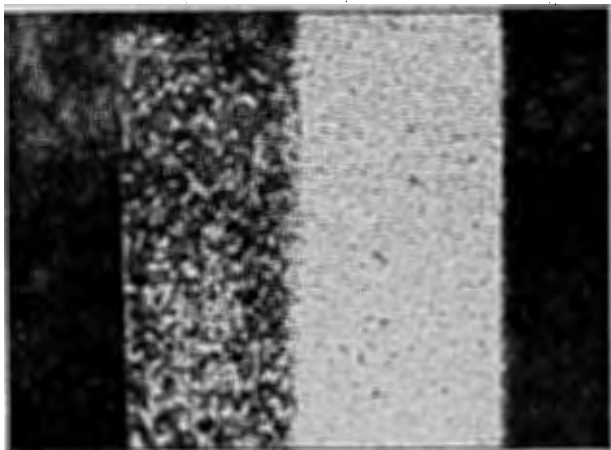
Литература

1. E.M.Pell. J. Appl. Phys., 31, No. 2, 291 (1960).
2. J.H.Elliot. Nucl. Instr. and Methods, 12, No. 1, 60 (1961).
3. А.С. Антонов, Б.П. Осипенко, Л.Г. Юскеселиева. Преприят ОИЯИ, Р-1726, Дубна, 1984.
4. И.И. Жилевич, Е.Л. Немировский. Электрофотография. "Искусство", Москва, 1981.
5. R.J.Corpen, P.A.Hes. Brit. J. Appl. Phys., 11, 5 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел
22 июня 1985 г.

n - область

p - область

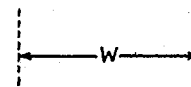
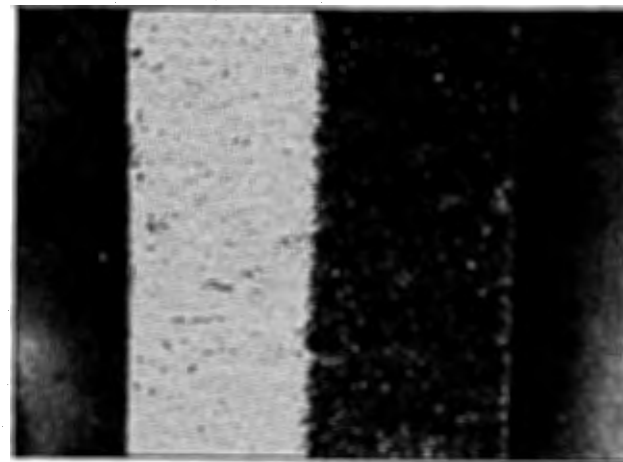


0,5 мм

Р и с. 1. Картина дрейфового р-п -перехода в кремнии, проявленного с помощью положительного сухого электрофотографического проявителя. Частицы проявителя откладываются на р - области перехода.

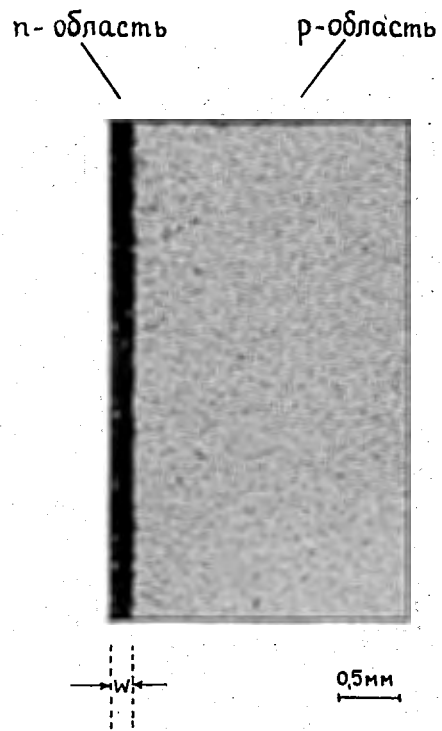
n - область

p - область

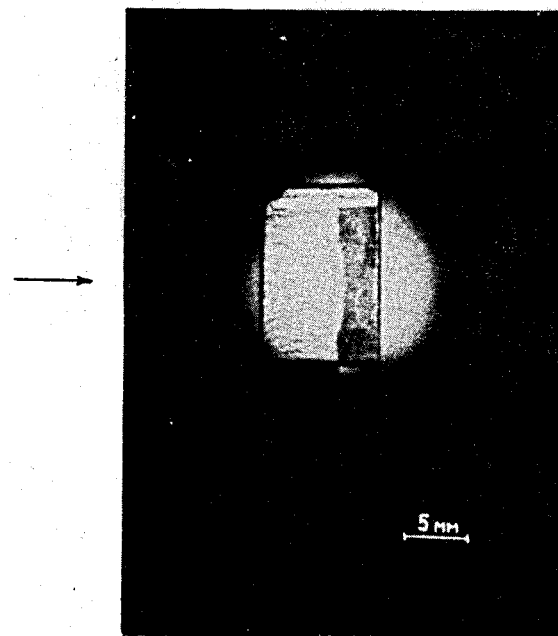


0,5 мм

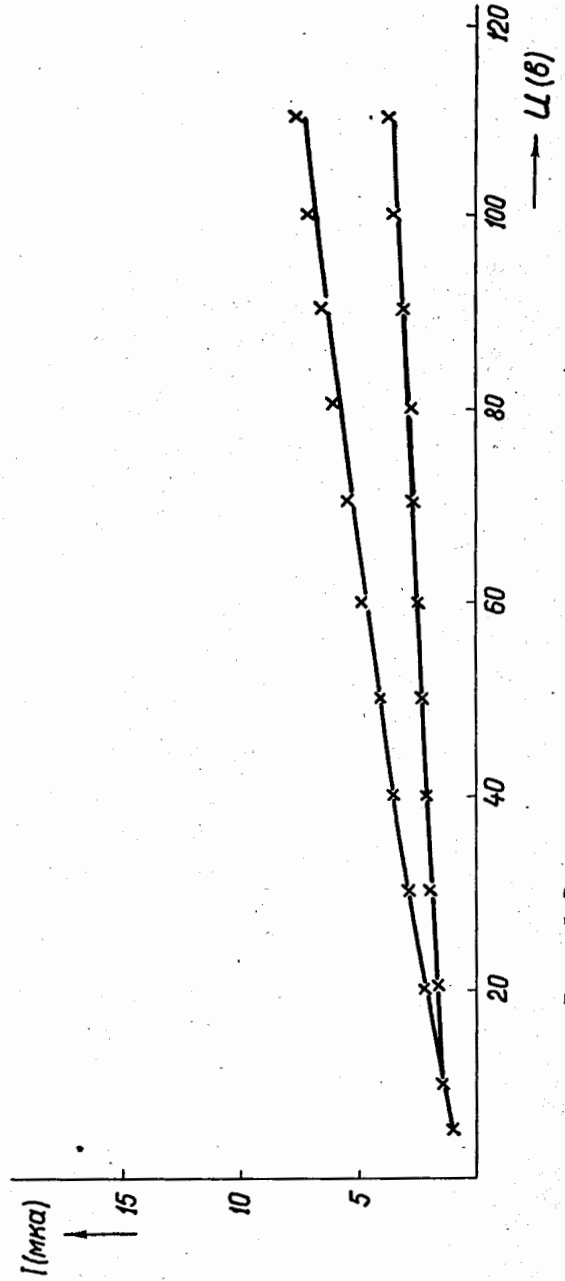
Р и с. 2. Картина дрейфового р -п -перехода в кремнии, проявленного с помощью негативного сухого электрофотографического проявителя. Частицы проявителя откладываются на n - области перехода.



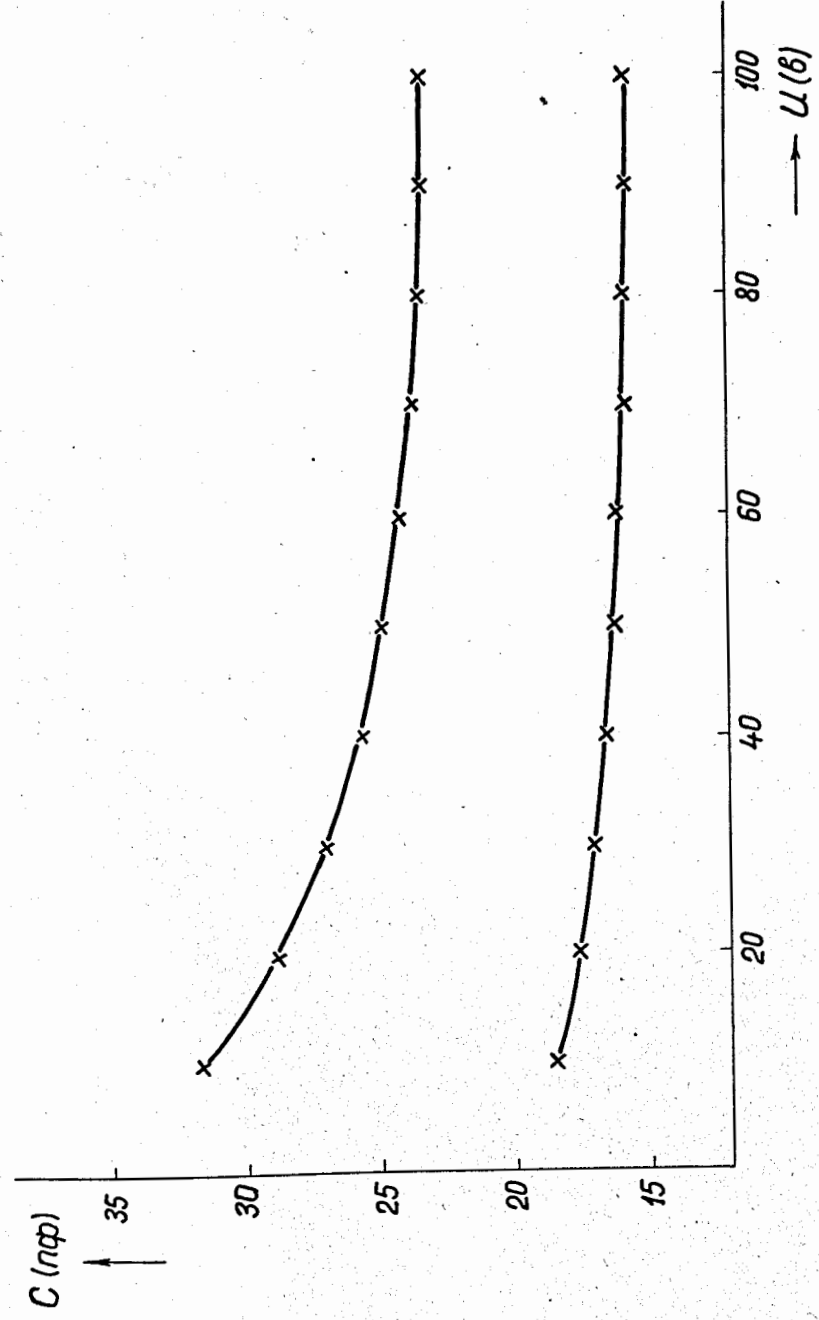
Р и с. 3. Картина диффузионного $p-n$ - перехода в кремнии, проявленного с помощью позитивного сухого электрофотографического проявителя. Частицы проявителя отлагаются на p - области перехода.



Р и с. 4. Картина $p-n$ - перехода одного кремниевого $p-i-n$ - детектора. Проявление осуществлено негативным сухим электрофотографическим проявителем. Дрейф литки шел в направлении, указанном стрелкой. Видна различная глубина $p-n$ - перехода.



Р и с. 5. Вольт-амперные характеристики двух кремневых р-п-детекторов до проявления (непрерывные линии) и после проявления р-п-перехода с помощью электрофотографическими проявителями (крестики).



Р и с. 6. Емкостные характеристики тех же двух детекторов до проявления (непрерывные линии) и после проявления р-п-перехода с помощью электрофотографическими проявителями (крестики).