

С 344.1м

30/18

B-19

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2875



В.С. Василев, Б.П. Осипенко, С.В. Пакева

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА
НА ПОВЕРХНОСТИ ТОЛСТЫХ $p-i-n$ КРЕМНИЕВЫХ
ДЕТЕКТОРОВ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

2875

В.С. Васильев, Б.П. Осипенко, С.В. Пакева

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА
НА ПОВЕРХНОСТИ ТОЛСТЫХ p - i - n КРЕМНИЕВЫХ
ДЕТЕКТОРОВ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

4487/1 нр.

Известно, что поверхностные явления влияют на характеристики полупроводниковых приборов. Особенно заметно это влияние на кремниевых $p-i-n$ детекторах ядерных излучений с широкой чувствительной областью.

В настоящей работе измерялось распределение потенциала на боковой поверхности детектора при приложенном напряжении смещения, а затем при использовании полученных результатов измерены толщины отдельных слоев детектора и изучено состояние поверхности этих слоев.

1. Методы измерения

Распределение потенциала на поверхности детектора измерялось двумя методами:

1. Методом контактирующего металлического зонда;
2. Методом вибрационного зонда.

В первом случае для измерения потенциала использовалась компенсационная электрическая схема, принцип действия которой показан на рис. 1а. В качестве контактирующего зонда использовалась вольфрамовая игла, конец которой обработан электролитическим способом. Во время измерения детектор затемнялся специальным кожухом.

Во втором случае для исследования потенциала использовалась установка для измерения контактной разности потенциалов ^{/1/}, блок-схема которой представлена на рис. 2а. Как показано на схеме, на детектор прикладывалось напряжение смещения.

Вибрационный электрод выполнен из золота в виде полоски шириной 0,5 мм и длиной, примерно равной длине шлифа детектора. Электрод с помощью специальной микрометрической системы устанавливался на минимальном расстоянии (0,1 - 0,2 мм) над детектором.

II. Экспериментальные результаты и обсуждение

Были исследованы толстые $p-i-n$ кремниевые детекторы с толщиной около восьми миллиметров. Их структура была проявлена химическим ^{/2,3/} и оптическим ^{/4/} методами. Граница между i - и p -областями, определенная химическим способом, на всех рисунках отмечена пунктиром, а измеренная оптическим способом - штрих-пунктиром. Толщина n -слой на всех образцах была приблизительно 400 мкм.

На рис. 3 показано распределение потенциала U на поверхности детектора № 4, измеренное сразу после травления в обычном травителе CP-4 и последующего кипячения и промывки в деионизированной воде, при разных значениях обратного смещения. На всех рисунках по оси абсцисс отложено расстояние вдоль поля детектора от незаземленного n -электрода. Из рисунка видно, что электрическое поле сосредоточено в узкой области между i - и p -областями, что свидетельствует о наличии поверхностной пленки с n -проводимостью на i -области.

На рис. 4 показано распределение потенциала на поверхности детектора № 7, измеренное через 12 дней после его травления в травителях CP-4 и хранения на воздухе. В этом случае падение напряжения на i -области при более высоких напряжениях не совсем равномерно. Очевидно, это обусловлено изменениями в n -пленке. Основное падение напряжения, как и на рис. 4, получается на границе между i - и p -областями, но поле распространяется глубже в i -область.

На рис. 5 показано распределение потенциала на поверхности детектора № 7, измеренное при разных обратных смещениях, после шлифовки поверхности порошком M-14. Видно, что на поверхности в i -области существует почти постоянное электрическое поле. Это позволяет, измеряя распределение потенциала на шлифованной поверхности, проявлять структуру детекторов.

На рис. 6 показано распределение потенциала на поверхности детектора № 7 после обработки в водном растворе бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) при разных напряжениях смещения. В этом случае на i -области формируется p -пленка. Самый большой перепад напряжения находится на i -области около $n-i$ -перехода. Электрическое поле в этом случае простирается почти на три миллиметра в i -область по направлению к p -области.

На всех исследованных образцах получаются аналогичные результаты.

На рис. 7 представлены результаты измерения потенциала на поверхности детектора № 7 при смещении $U = 1,5$ в, снятые вибрационным зондом на шлифованной поверхности (кр. 1) и на травленной поверхности травителем CP-4 (кр. 2). Сравнивая эти кривые с соответствующими кривыми 3 и 4 на рис. 8, снятыми на одном и том же детекторе в тех же самых условиях, и учитывая, что вибрационный зонд дает более усредненные результаты, можно отчетливо видеть соответствие результатов.

На рис. 8 для сравнения представлены распределения потенциалов на поверхности детектора № 7 при смещении $U = 1,4$ в при различных поверхностных обработках. Видно, что после травления детектора в травителе СР-4 с последующей промывкой в деионизированной воде получается заметная α -пленка в p -области до i - p перехода, которая исчезает после кипячения образца в деионизированной воде.

Из полученных результатов следует, что используемой методикой можно обнаруживать на поверхности детектора пленки и следить за их изменением в процессе хранения.

На рис. 9 показано распределение потенциала на поверхности детектора № 7, измеренное после шлифовки микропорошком М-14, через один и 24 дня после шлифовки, при смещении $U = 1,4$ в. Из этого рисунка видно, что со временем не наблюдается существенного изменения в распределении потенциала.

При обработке детектора в водном растворе бихромата калия на его поверхности образовалась p -пленка. На рис. 10 показано, как эта пленка изменяется со временем на воздухе. Полученная при этой обработке p -пленка очень нестабильна.

Как было показано, после травления травителем СР-4 на поверхности детектора образуется пленка α -типа. Из рис. 11 видно, как изменяется со временем такая пленка на поверхности детектора № 5, к которому приложено напряжение смещения $U = 1,4$ в. Хорошо заметно, что сразу после травления на i -области детектора образуется пленка α -типа. Со временем область, в которой простирается поле, расширяется как в сторону i - , так и в сторону p -области образца.

III. 3 а к л ю ч е н и е

В настоящей работе измерено распределение потенциала на поверхности 10 толстых p - i - n кремниевых детекторов ядерных излучений при приложенном напряжении смещения. Форма кривых этого распределения зависит как от объемных, так и от поверхностных свойств детектора. Измеряя распределение потенциала, можно:

- 1) легко и быстро определять границы между отдельными областями p - i - n детекторов;
- 2) в зависимости от обработки обнаруживать существование на поверхности i - области детекторов пленок с α - , или p -типа проводимостью.

Когда данная работа была закончена, нам стали известны статьи Ласера^{/6,8/}, в которых обсуждались подобные вопросы. Тем не менее мы считаем, что данная работа представляет интерес, так как в ней применены другие методы измерения и получены

экспериментальные результаты при измерении детекторов, поверхности которых обрабатывались в других условиях.

Выражаем сердечную благодарность Б.М. Головику за интерес к работе и полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. В.С. Васильев, Л.А. Пермякова. Препринт ОИЯИ, 2748, Дубна, 1986.
2. P.R. Taylor. J. Electrochem. Soc., 106, 701 (1959).
3. Е.А. Ефимов, И.Г. Ерусалимчик. Электрохимия германия и кремния, Госхимиздат, 1983.
4. В.С. Васильев, Б.М. Головин, Б.П. Осипенко, А. Червонко. Препринт ОИЯИ, 1894, Дубна, 1984; ПТЭ, № 4, стр. 206 (1985).
5. J. Llacer, IEEE Trans. on Nucl. Science, vol.NS-11, N 3, June, 1964.
6. J. Llacer. IEEE Trans. on Nucl. Science, vol.NS-13, N1, February, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 августа 1986 г.

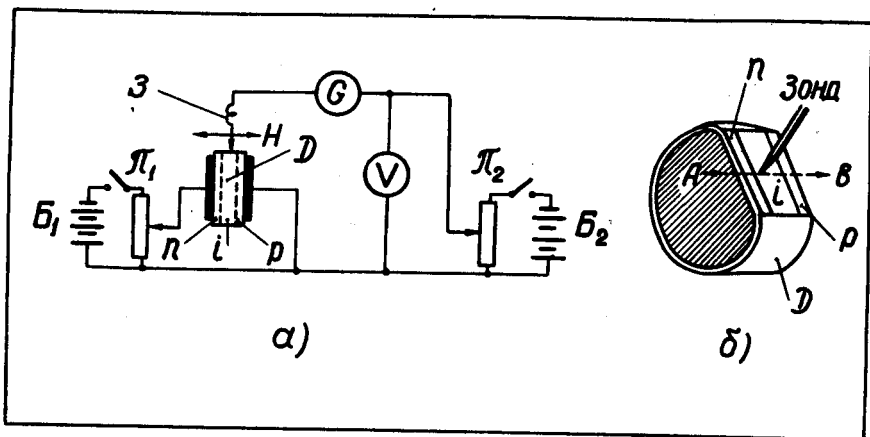


Рис. 1. а. Принципиальная схема измерительной установки потенциального зонда; Д - детектор-образец; Н - направление перемещения зонда; З - металлический зонд (вольфрамовая игла); П₁ и П₂ - потенциометры; Б₁ и Б₂ - батареи.

б. Расположение потенциального зонда над поверхностью детектора Д. АВ - направление перемещения зонда.

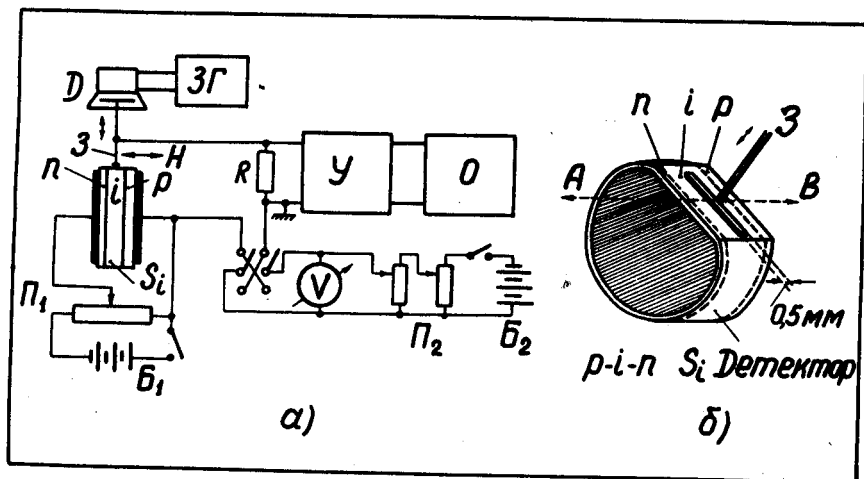


Рис. 2. а. Принципиальная схема измерительной установки; S_i - детектор; Д - динамик; ЗГ - звуковой генератор; R - высокоомное сопротивление; Y - усилитель; O - осциллограф; П₁ и П₂ - потенциометры; Б₁ и Б₂ - батареи.

б. Расположение вибрационного зонда З над шрифтом детектора; АВ - направление перемещения зонда.

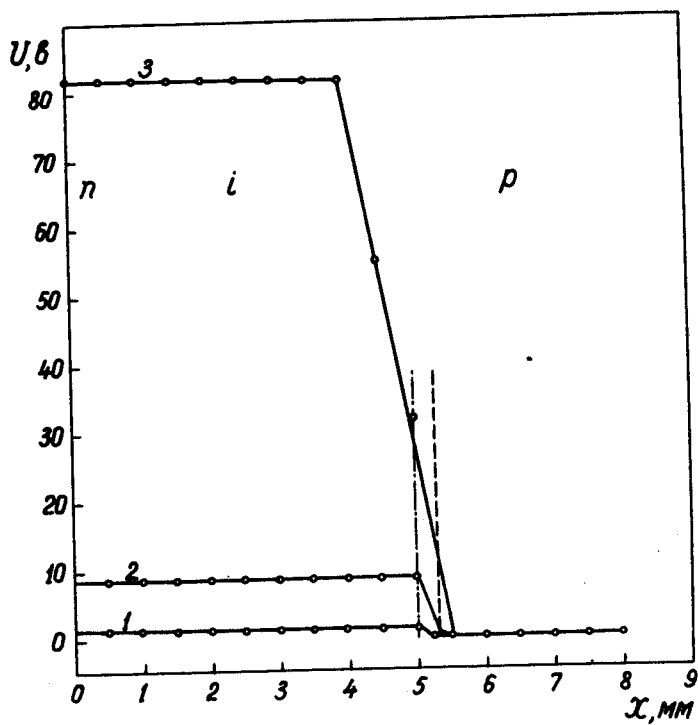


Рис. 3. Распределение потенциала на поверхности детектора № 4 при различных смещениях после травления травителем СР-4. Кр.1-1,4 в; кр. 2-8,6 в; кр. 3 - 82 в.

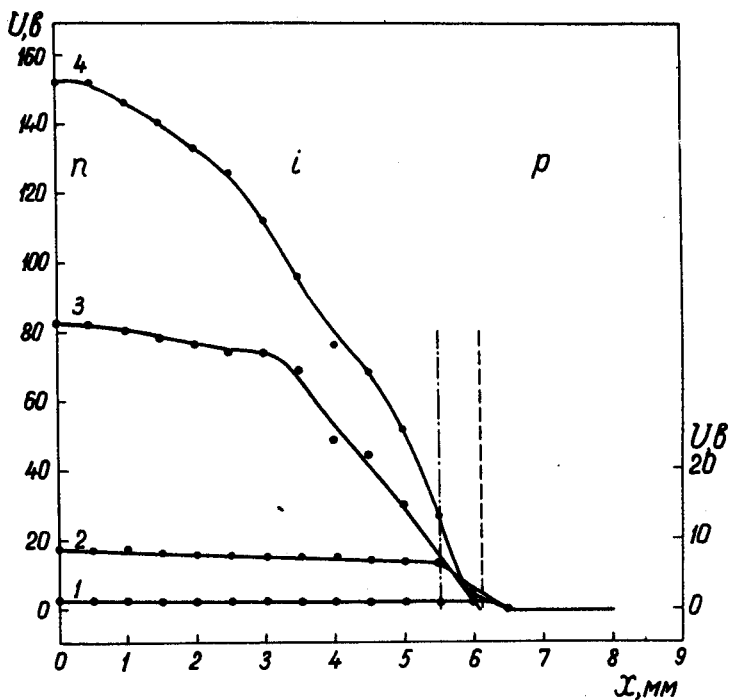


Рис. 4. Распределение потенциала на поверхности детектора № 7, измеренное через 12 дней после травления травителем СР-4 при различных смещениях: кр. 1-1,4 в; кр. 2 - 8,6 в (потенциал справа); кр. 3 - 82 в и кр. 4 - 152 в.

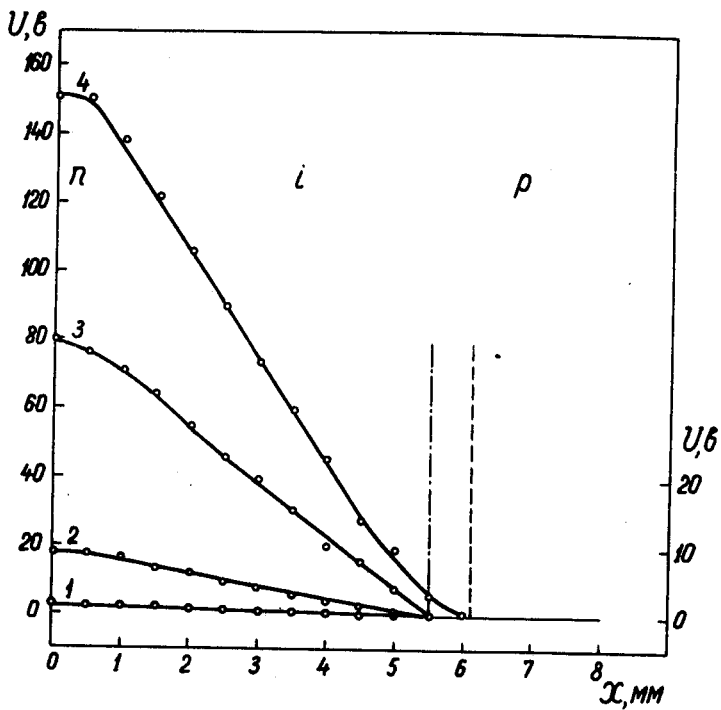


Рис. 5. Распределение потенциала на поверхности детектора № 7 после шлифовки порошком М-14 при различных смещениях: кр. 1-1,4 в; кр. 2 - 8,6 в; кр. 3-82 в; кр. 4-152 в.

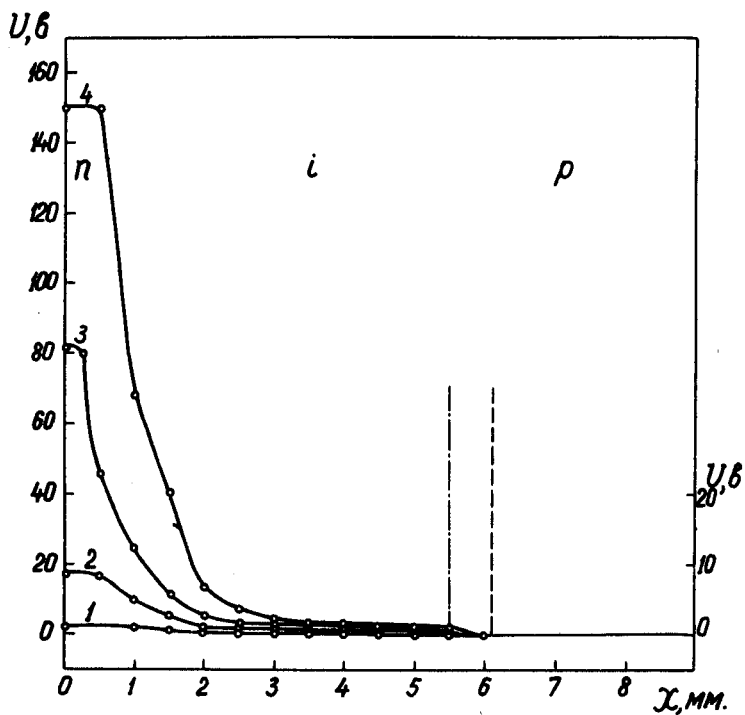


Рис. 8. Распределение потенциала на поверхности детектора № 7 после обработки в бихромате калия при различных смещениях: кр. 1-1,4 в; кр. 2-8,6 в; кр. 3-82 в и кр. 4 - 152 в.

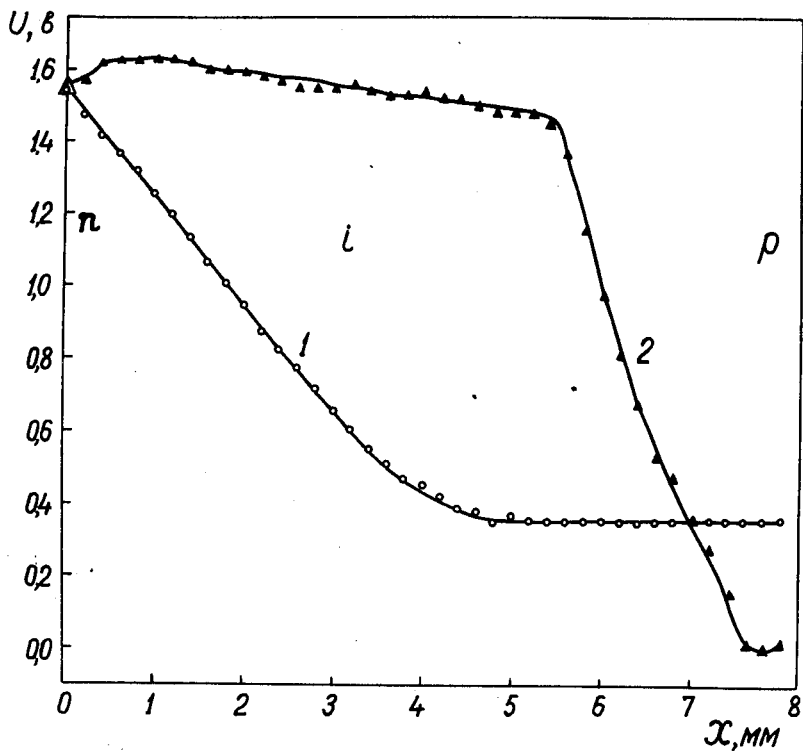


Рис. 7. Распределение потенциала на поверхности детектора № 7 измерено вибрационным зондом при напряжении смещения $U = 1,5$ в: кр. 1 - на шлифованной поверхности; кр. 2 - на травленой поверхности травителем СР-4 с последующей промывкой деионизированной водой без кипячения.

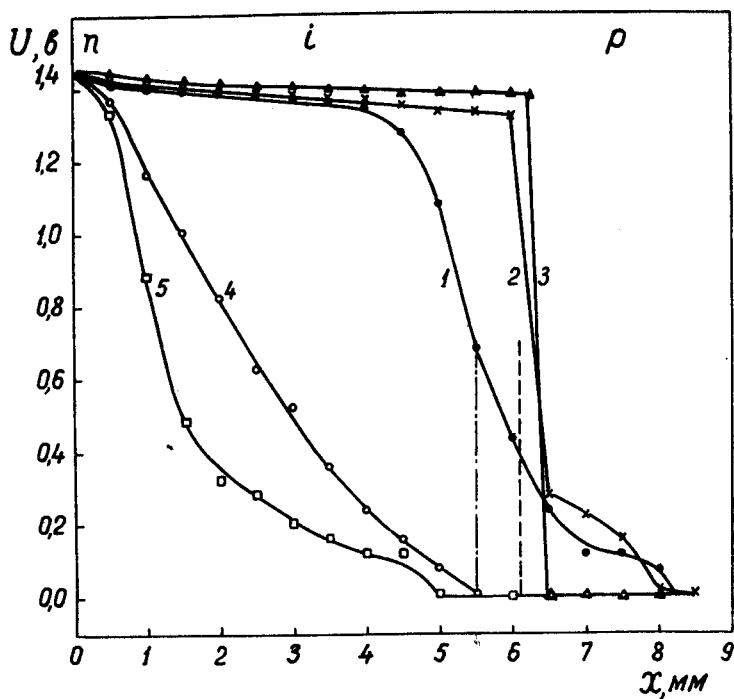


Рис. 8. Распределение потенциала на поверхности детектора № 7 при смещении $U = 1,4$ в соответствии при следующих обработках поверхности детектора: кр. 1 - через 12 дней после травления в травителе СР-4 и промывки в деионизированной воде без кипячения; кр. 3 - после кипячения в деионизированной воде; кр. 4 - после шлифовки порошком М-14; кр. 5 - после обработки в бихромате калия.

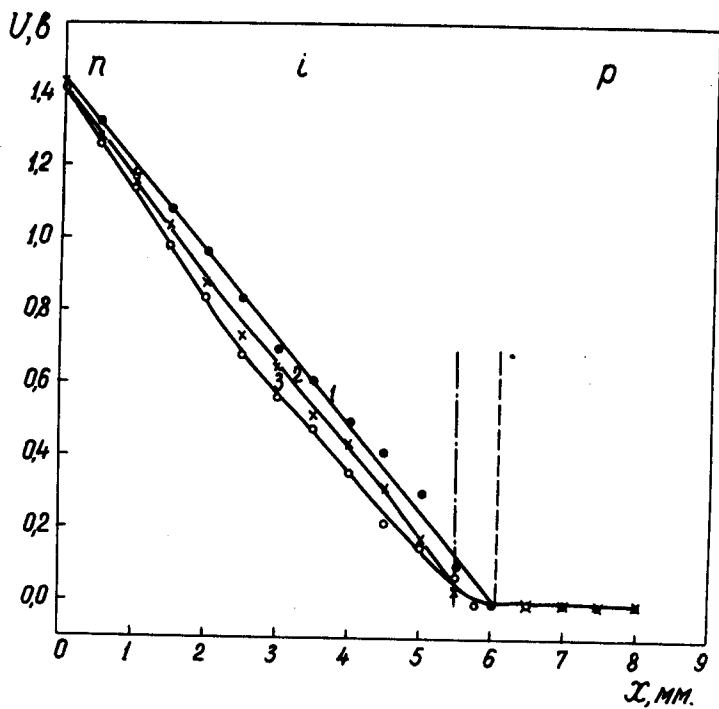


Рис. 9. Изменение распределения потенциала на шлифованной поверхности детектора № 7 во времени при хранении на воздухе: кр. 1 - сразу после шлифовки микропорошком М-14; кр. 2 - 1 день после шлифовки; кр. 3 - 24 дня после шлифовки.

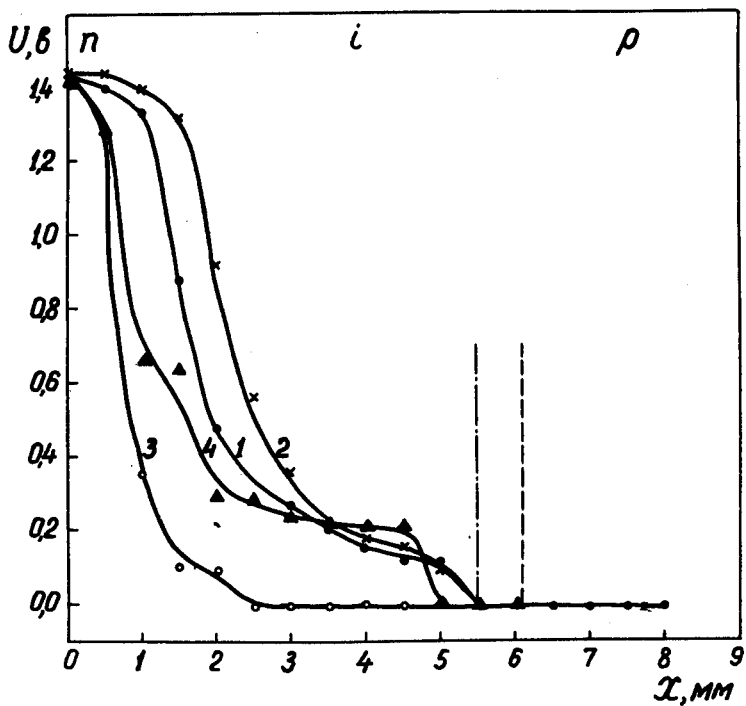


Рис. 10. Изменение распределения потенциала на образце № 7 со временем после травления в бихромате калия при хранении на воздухе:
 кр. 1 - сразу после травления; кр. 2 - 5 дней после травления;
 кр. 3 - 15 дней после травления и кр. 4 - 17 дней после травления.

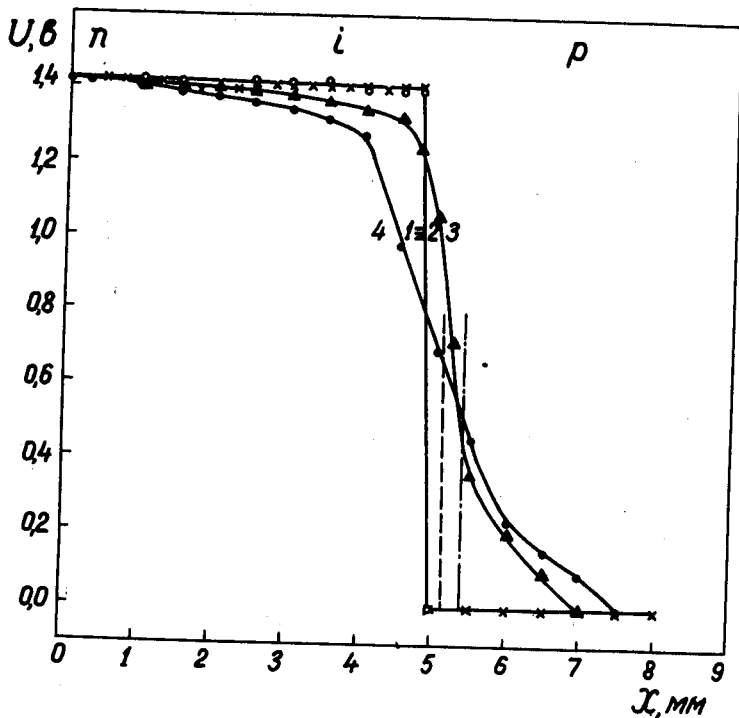


Рис. 11. Изменение распределения потенциала на образце № 5, протравленном в СР-4 со временем при хранении на воздухе: кр. 1 - сразу после травления; кр. 2 - 20 часов после травления; кр. 3-5 дней после травления и кр. 4-8 дней после травления.