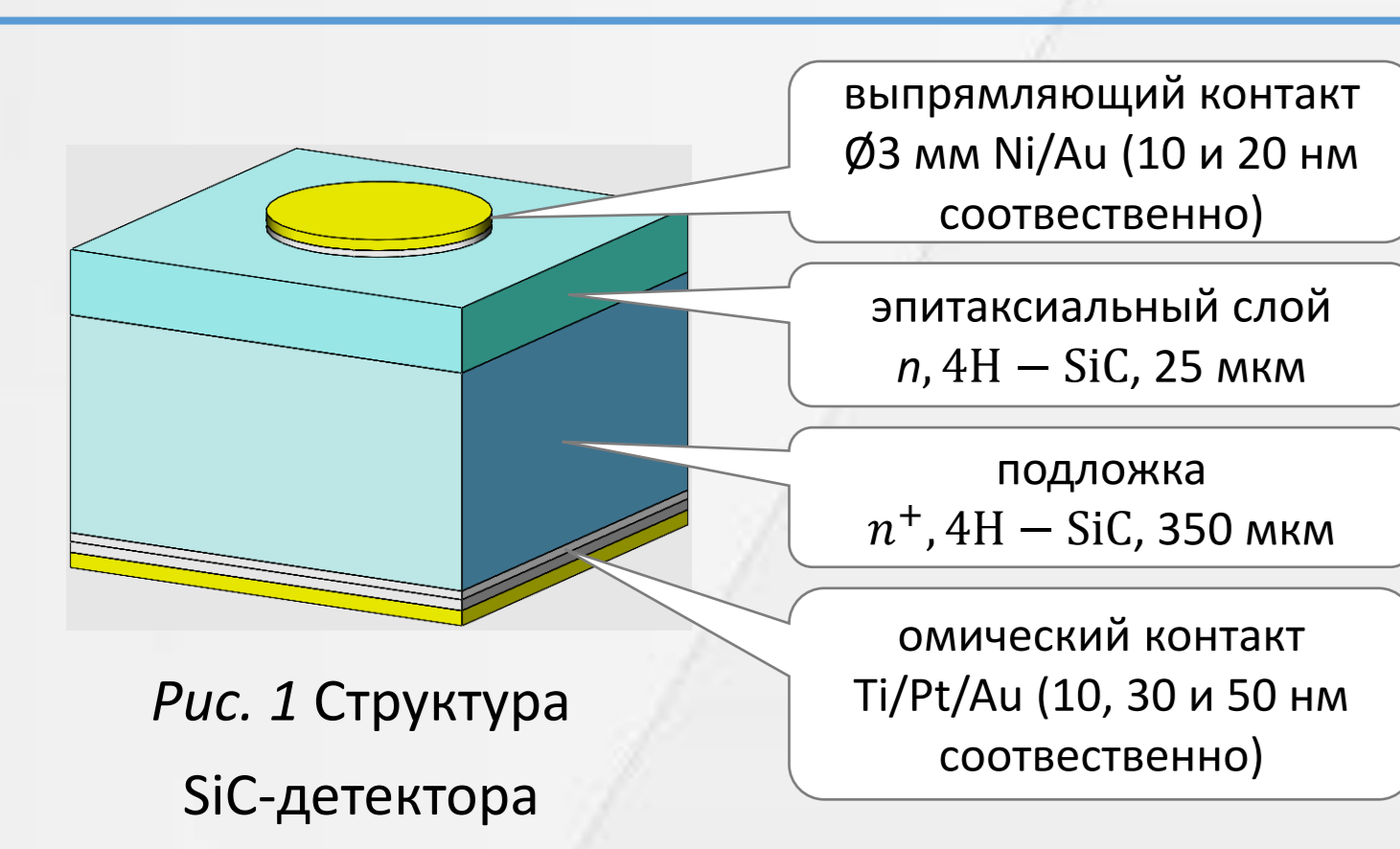


Полупроводниковые детекторы (ППД), которые широко используются в физике низких и высоких энергий, достаточно чувствительны к радиационным повреждениям. При прохождении регистрируемой частицы в базовом материале детектора могут возникать нарушения кристаллической решетки: смещения и выбивания атомов из узлов решетки, изменение изотопного состава в результате ядерных реакций. Данные процессы приводят к образованию центров захвата или акцепторной концентрации. Большие дозы облучения ППД приводят к заметному ухудшению их энергетического разрешения и уменьшению амплитуды сигнала от регистрируемой частицы, что, соответственно, обусловлено уменьшением времени жизни неосновных носителей заряда и неполным сбором возникающего заряда. В последние годы для создания радиационно-стойких приборов активно применяется **карбид кремния (SiC)** [1-3]. Это обусловлено тем, что данный материал по сравнению с кремнием имеет большую ширину запрещенной зоны (в 3 раза) и величину пороговой энергии дефектообразования (в 2 раза). Важно также отметить, что SiC-детекторы могут изготавливаться с применением планарной технологии [1], при этом их генерационный ток ( $I \sim 10^{-11}$ А) при комнатной температуре будет на два порядка меньше по сравнению с Si-ППД ( $I \sim 10^{-9}$ А). В работе исследовались характеристики детекторов на основе карбида кремния политипа 4H-SiC при облучении различными интегральными потоками нейтронов.



### МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТЕКТОРОВ

Детекторы изготавливались на проводящих n<sup>+</sup>-подложках SiC, на которых фирмой L.P.E. (Италия) методом эпитаксиального выращивания из жидкой фазы был подготовлен слой 4H-SiC n-типа проводимости.

Диаметр исходной подложки — 4", толщина составляла 350 мкм, а концентрация примеси  $\sim 2 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>. Созданный эпитаксиальный слой, имел толщину 25 мкм с концентрацией донорной примеси  $1 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup>.

Выпрямляющий контакт создавался вакуумным напылением двойного слоя из Ni и Au. Омический контакт был изготовлен также напылением на всю заднюю поверхность тройного слоя из Ti/Pt/Au. (Рис. 1.)

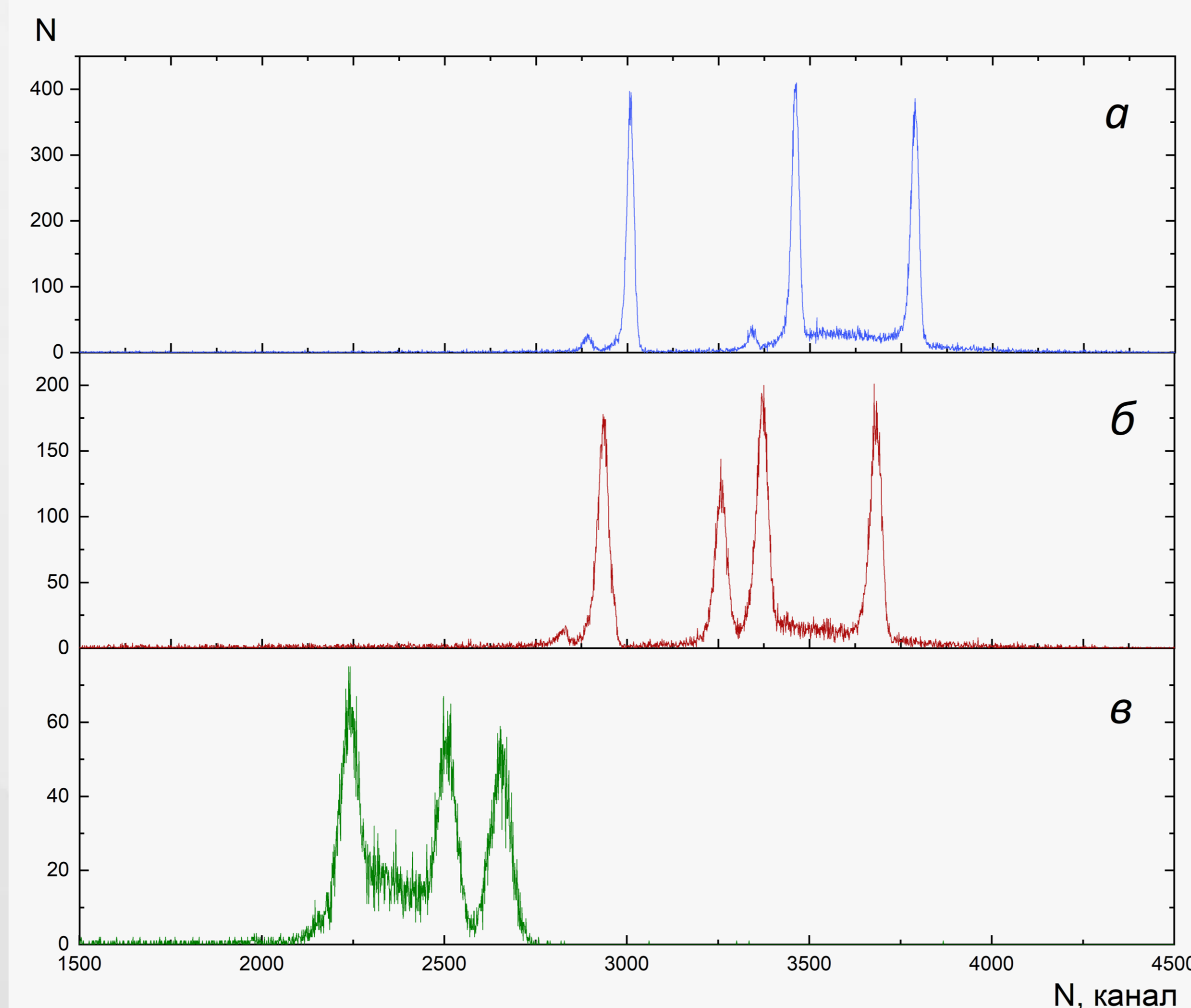


Рис.2. Спектры <sup>226</sup>Ra, измеренные SiC-детекторами: **а** — исходный образец (без облучения), **б** — облучение дозой  $5.11 \cdot 10^{13}$  см<sup>-2</sup>, **в** — облучение дозой  $5.39 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>

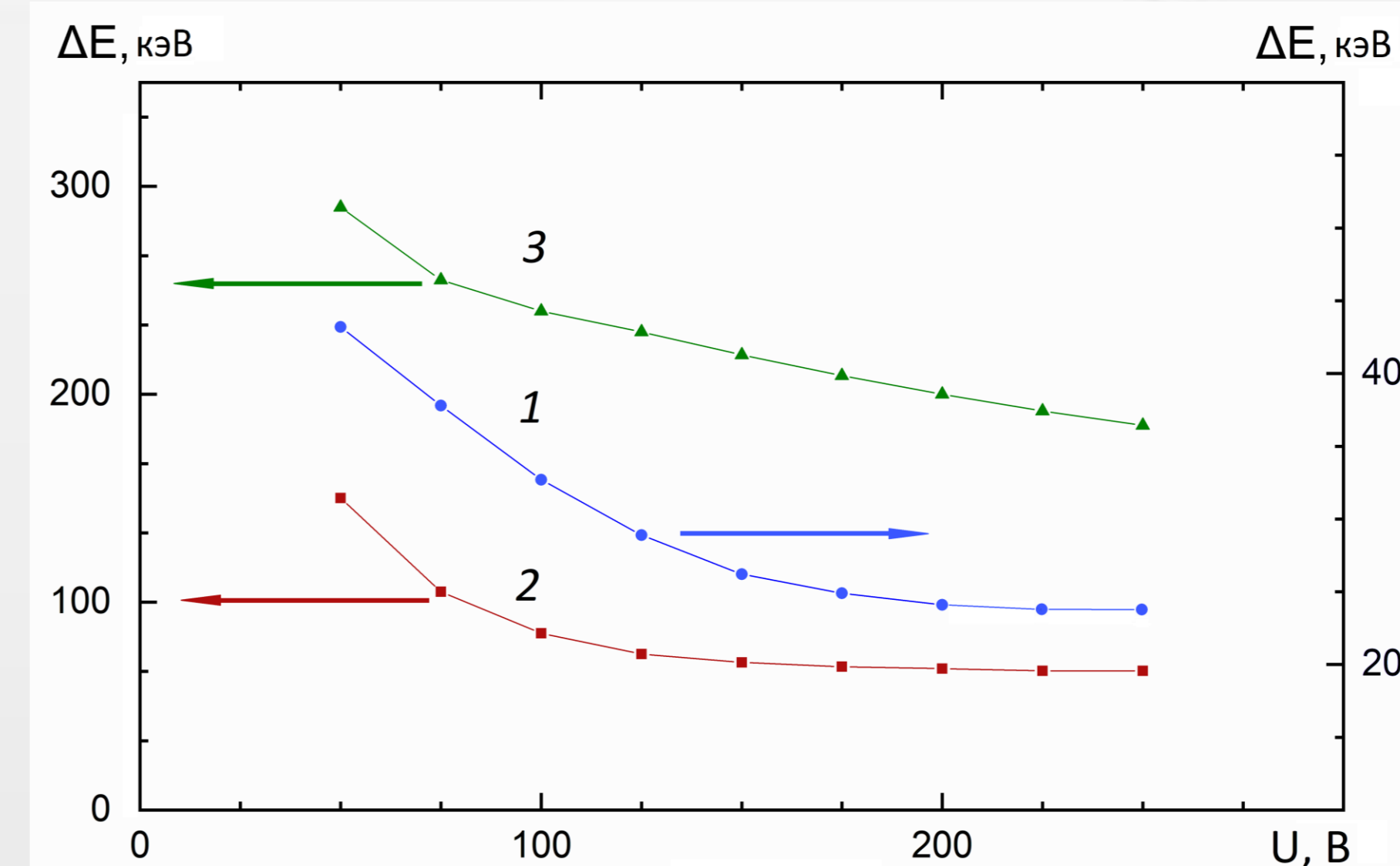


Рис. 3. Зависимость энергетического разрешения от приложенного напряжения для SiC-детекторов: **1** — исходный образец, **2, 3** — ППД облученные, соответственно, дозой  $5.11 \cdot 10^{13}$  см<sup>-2</sup> и  $5.39 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>. Разрешение определялось по  $\alpha$ -пику с энергией  $E \approx 6.0$  МэВ. Видно, что с увеличением дозы облучения ухудшается энергетическое разрешение. Значение этого параметра составляет 200 кэВ при максимальной дозе, что практически на порядок больше разрешения на исходном образце 24 кэВ.

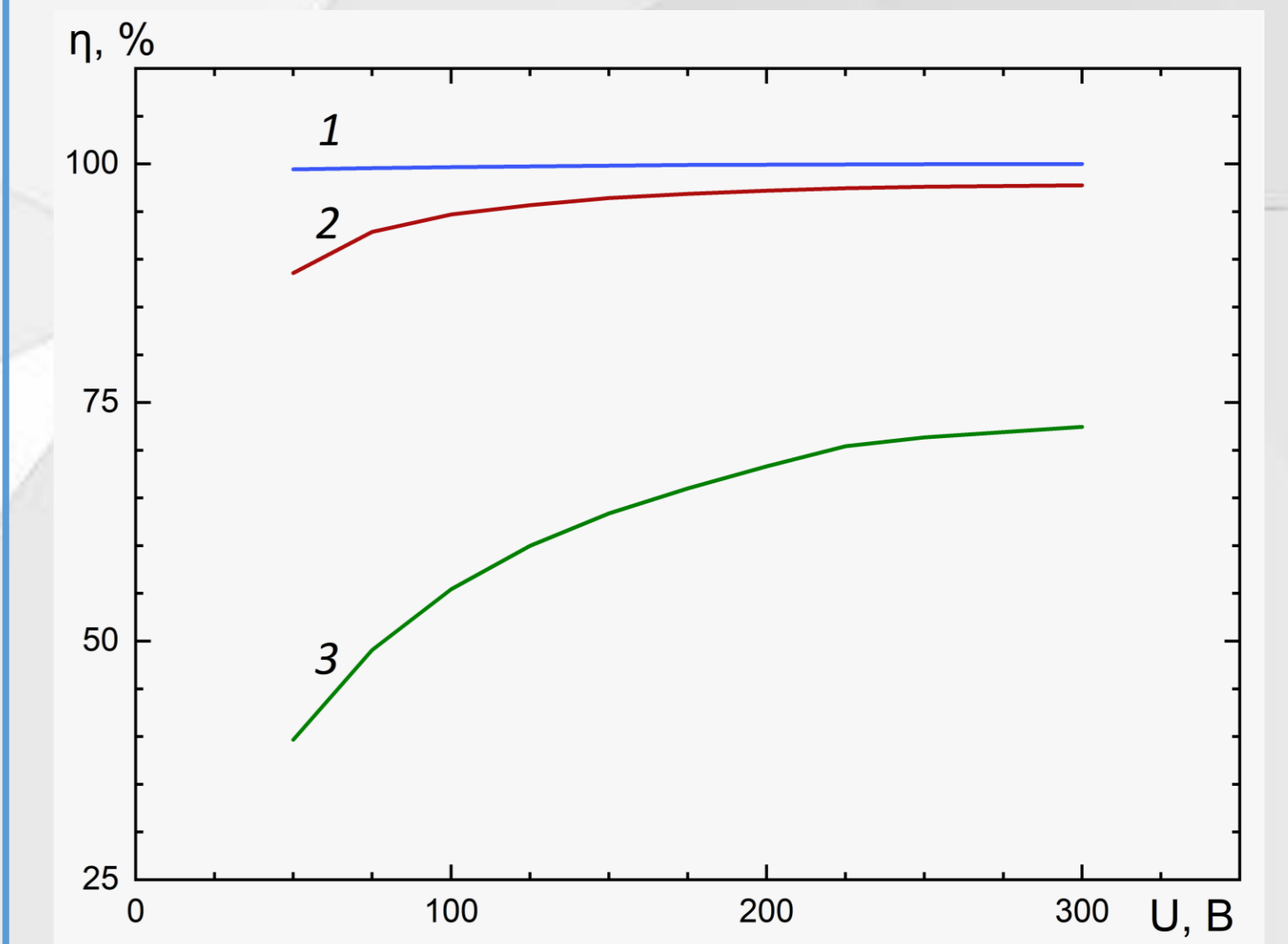


Рис. 4. Зависимость эффективности сбора заряда от приложенного напряжения для SiC-детекторов: **1** исходный образец, **2, 3** — ППД облученные, соответственно, дозой  $5.11 \cdot 10^{13}$  см<sup>-2</sup> и  $5.39 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>. За 100% принято значение, полученное на исходном детекторе при напряжении 300В. Для дозы  $5.11 \cdot 10^{13}$  см<sup>-2</sup> значение эффективности практически совпадает с величиной для исходного образца и равно 96% при напряжении 150–300 В. Кривая 3, соответствующая дозе  $5.39 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>, медленно выходит на плато и при напряжении 300 В эффективность равна 76 %.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены характеристики детекторов карбида кремния, которые облучались нейтронами с различными интегральными потоками. Измеренные характеристики облученных SiC-детекторов показывают, что их радиационная стойкость выше, чем Si-детекторов. Следовательно, перспективным является использование SiC-детекторов для мониторинга пучков ускорителей, контроля работы ядерных реакторов, а также для диагностики горячей плазмы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sadow S.E., Agarwal A. Advances in Silicon Carbide Processing and Applications. Boston, London: Artech House, Inc., 2004. Norwood. MA 02062.
2. Kalinina E. V. // Semiconductors. 2007. V. 41. 745. DOI: 10.1134/S1063782607070019
3. Гуров Ю. Б., Розов С. В., Сандуковский В. Г., Якушев Е. А., Hrubcín L., Zat'ko B. // ПТЭ. 2015. № 1. С. 29. DOI: 10.7868/S003281621501005X
4. Dubecký F., Gombia E., Ferrari C., Zat'ko B., Vanko G., Baldini M., Kovac J., Bacek D., Kovac P., Hrkut P., Necas V. // JINST. 2012. V. 7. P. P09005. DOI: 10.1088/1748-0221/7/09/P09005
5. Булавин М.В., Верхоглядов А.Е., Куликов С.А., Кулагин Е.Н., Кухтин В.В., Челпаков А.П., Шабалин Е.П. // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12 №2. С. 517-523.
6. Linyue Liu, Ao Liu, Song Bai, Ling Lv, Peng Jin, Xiaoping Ouyang // Scientific Reports, 2017. V. 7. P. 13376. https://doi.org/10.1038/s41598-017-13715-3