

УДК 621.384.6

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ ПУЧКА НА ЛУЭ ННЦ «ХФТИ»

А.Н. Довбня¹, В.В. Закутин¹, Н.Г. Решетняк¹, В.А. Попенко¹, В.П. Ефимов¹,

Н.А. Довбня¹, Т.А. Коваленко²

¹НИК «Ускоритель» ННЦ «ХФТИ»

1, Академическая, Харьков, 61108, Украина

²Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

4, пл. Свободы, 61077, Харьков, Украина

Поступила в редакцию 19 марта 2008 г.

Приведены результаты экспериментального исследования распределения плотности электронов неразвернутого и развернутого пучка на мишени линейных ускорителей ЭПОС и КУТ-30 ННЦ «ХФТИ». Измерения проведены на различных расстояниях от выходной фольги в стандартных режимах работы ускорителей электронов. Определена ширина зоны облучения в вертикальной и горизонтальной плоскостях на различных расстояниях от выходной фольги.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электронный пучок, развёртка пучка, облучение, ускоренные электроны, распределение плотности электронов.

Радиационные технологии широко применяются в научных исследованиях. В результате облучения пучками ускоренных электронов или легкими осколками ядер в монокристаллическом кремнии может происходить формирование наноразмерных структур и процесс аморфизации при возбуждении его электронной подсистемы [1]. Для создания треков в кремниевом полупроводниковом материале возможно их облучение на ускорителе электронов с энергией частиц более 20 МэВ. При облучении электронным пучком полупроводникового материала и конвертера γ -излучения необходимо иметь достаточно высокую однородность плотности пучка.

В НИК «Ускоритель» ННЦ ХФТИ имеются линейные электронные ускорители «ЭПОС» и КУТ-30 [2,3]. Энергия электронов пучка ускорителя «ЭПОС» составляет ~ 26 МэВ, а ускорителя «КУТ-30» ~ 35 МэВ. Приведены результаты экспериментального исследования плотности электронов пучка на линейных ускорителях ЭПОС и КУТ-30. С этой целью проведено изучение распределения плотности электронов неразвернутого и развернутого пучка на мишени на различных расстояниях от выходной фольги.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

На первом этапе работы для облучения полупроводникового материала предполагается использовать ускоритель «ЭПОС», а на втором этапе – КУТ-30.

Ускоритель «ЭПОС» состоит из двух ускоряющих секций, а ускоритель КУТ-30 состоит из трёх ускоряющих секций, каждая секция длиной 1,2 м и инжектора электронов.

Каждая ускоряющая секция запитывается СВЧ-мощностью с частотой 2797 МГц от клистрона КИУ-12. Из инжектора электронов пучок с энергией частиц 25...100 кэВ и током 1 А поступает в ускоряющие секции. Длительность импульса тока пучка составляет $\sim 3,5$ мкс, частота повторения импульсов до 300 Гц, амплитуда тока пучка в импульсе в оптимальном режиме работы ускорителей составляет 500 мА, средний ток пучка ~ 500 мкА. Электронный пучок через титановую фольгу толщиной 50 мк выводится в атмосферу. На выходе ускорителя «ЭПОС» установлена система развёртки пучка, обеспечивающая на мишени большую площадь облучения. Получение пучка ускорителя КУТ-30 большой площади на мишени осуществлялась с помощью квадрупольной линзы.

Для изучения плотности пучка используется свойство стекла, заключающееся в его потемнении при облучении электронным пучком. Потемнение стекла, как известно, линейно зависит от интенсивности падающего потока электронов [4]. Облучение стекла (толщиной 3 мм) проводилось при следующих параметрах: на ускорителе «ЭПОС» при энергии электронов ~ 26 МэВ, а ускорителе КУТ-30 при энергии электронов 35~37 МэВ. При этом ток пучка в импульсе составлял 400 мА, средний ток пучка – 390 мкА, частота повторения – 250 Гц.

На рис.1 приведен отпечаток электронного пучка ускорителя «ЭПОС» при токе сканатора 37 А на расстоянии 1400 мм от выходной фольги и предполагаемое расположение образца из кремния. Как видно из рисунка развёрнутый пучок ускорителя имеет вид несимметричного эллипса, размерами примерно 500×580 мм.

Для количественной оценки плотности электронов проведена обработка отпечатка с помощью цифровых методов, что давало распределение плотности электронов в различных направлениях. На рис.2 приведено распределение плотности электронов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Как видно из рис. 2, ширина зоны облучения в вертикальной плоскости составляет ~ 260 мм с неоднородностью $\pm 5\%$, а ширина

зоны облучения в горизонтальной плоскости составляет ~ 160 мм с неоднородностью $\pm 5\%$.

Как следует из полученных результатов, полупроводниковые образцы из кремния необходимо размещать в указанной области, которая расположена вблизи центральной области пучка.

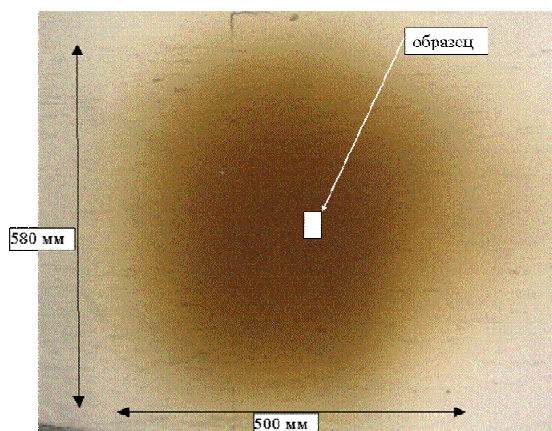


Рис.1. Отпечаток пучка на стекле и расположение образца.

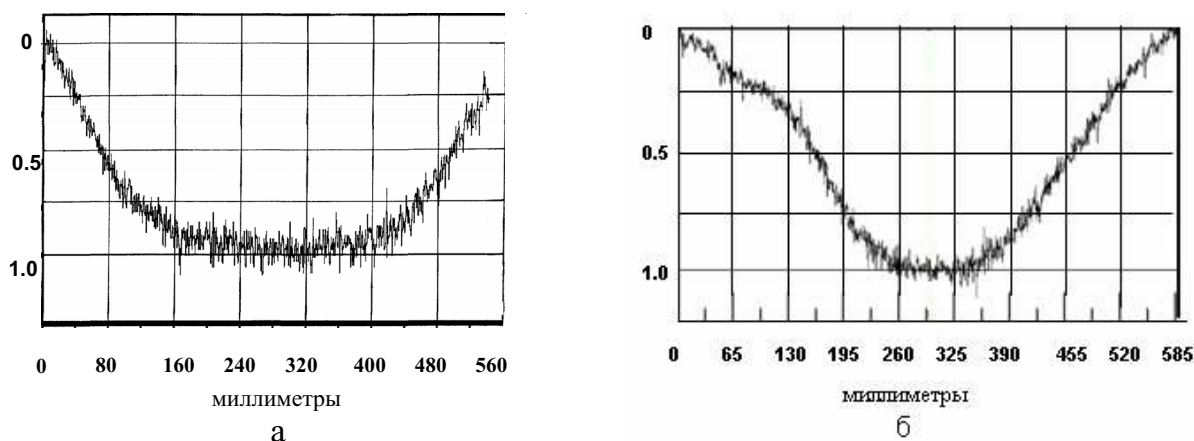


Рис.2. Распределение плотности электронов пучка: а - в вертикальной плоскости, б - в горизонтальной плоскости (по вертикали – относительные единицы, по горизонтали – мм).

Исходя из полученных результатов и реальной возможности расположения образца, было выбрано его месторасположение на расстоянии 70 мм от оси пучка в горизонтальной плоскости. На рис. 1 показано расположение образца кремния. Как видно из рисунка, он попадает в достаточно однородную область развёрнутого пучка электронов ускорителя «ЭПОС». Исходя из тока электронного пучка в данном эксперименте, определена плотность электронов на образце. Оценки показали, что плотность электронного пучка в заданном месте области облучения (мкА/см^2), определяется путём умножения ординаты кривой, определённой из рис. 2 в заданном месте облучения, на коэффициент 0,4.

При облучении в данном режиме определена плотность электронного пучка, попавшего на образец. В месте расположения образца ордината кривой примерно равна 1 (см. рис.2), поэтому плотность тока электронного пучка на образце составляет $\sim 0,4 \text{ мкА/см}^2$, а плотность электронов составляет $2,5 \times 10^{12} \text{ эл/см}^2 \cdot \text{сек}$.

Аналогичные измерения проведены на ускорителе КУТ-30 для различных расстояний от выходной фольги без развёртки и с развёрткой пучка. Были получены отпечатки пучка на ускорителе КУТ-30 (при энергии электронов 35 МэВ) без развёртки. Пучок имеет достаточно симметричный вид вплоть до расстояния 1700 мм от выходной фольги (рис.3). Получены также отпечатки пучков на различных расстояниях от выходной фольги ускорителя и проведена их обработка. Оценки показали, что без развёртки пучка, на расстоянии 12 см от выходной фольги ускорителя КУТ-30 на оси пучка плотность электронов составляет $\sim 2 \times 10^{14} \text{ эл/см}^2 \cdot \text{сек}$. При отклонении от оси пучка на ± 1 см однородность плотности уменьшается на $\sim 10\%$.

Определены поперечные размеры пучка x и y на уровне 0,7 от максимума интенсивности (соответствующие примерно 50% частиц) и построены зависимости поперечных размеров пучка в зависимости от расстояния от выходного фланца ускорителя без развёртки пучка (рис.3) и с развёрткой пучка (рис.4). Из рисунков видно, что при развёртке пучок на мишени имеет вид эллипса в большой осью в горизонтальном направлении и малой - в вертикальном направлении.

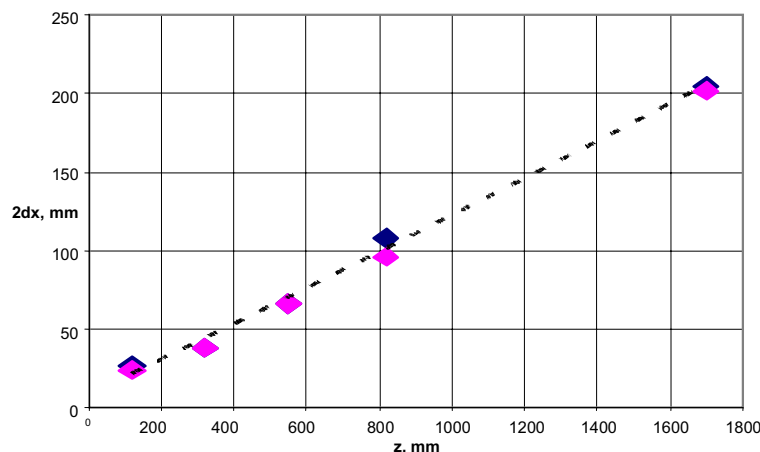


Рис.3. Зависимость поперечных размеров пучка x без развертки от расстояния z :
■ – черные квадратики в горизонтальной плоскости; светлые □ – в вертикальной плоскости.

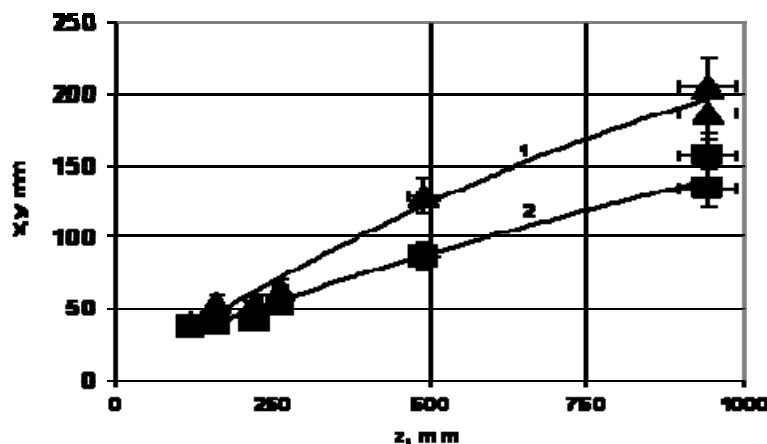


Рис.4. Зависимость поперечных размеров пучка с развёрткой от расстояния z :
1 – в горизонтальной плоскости, 2 – в вертикальной плоскости.

ВЫВОДЫ

Проведены измерения плотности электронов пучка на ускорителях ЭПОС и КУТ-30. Определена ширина зоны облучения в вертикальной и горизонтальной плоскостях на различных расстояниях от выходной фольги. Работа выполнена при поддержке проекта УНТЦ № 1893.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Н. Довбня, В.П. Ефимов, Г.Д. Пугачёв и др. Формирование разупорядоченных структур и их преобразование в аморфную фазу в объёме полупроводника осколками ядер, образующимися при облучении расщепляющих материалов // Новые технологии. – 2005. – №1-2 (7-8). – С.11-16.
2. M.I. Ayzatsky, V.N. Boriskin, A.M. Dovbnya et al. The NSC KIPT electron linacs – R&D // VANT. – 2003. – №2. – P.19-24.
3. Н.И. Айзакский, В.А. Белоглазов, Е.З. Биллер и др. Мощный линейный ускоритель электронов с энергией до 40 МэВ // Тезисы XX Международного Семинара по ускорителям заряженных частиц, Алушта, Крым, Украина, 9-19 сентября 2007 г. – С.29-30.
4. A.N. Dovbnya, N.A. Dovbnya, Z.M. Kolot, V.A. Popenko, A.N. Cavchenko, D.L. Stepin, V.A. Shendrik Formation of uniform electron beams on large-area targets // Problems of Atomic science and Technology, Series: Nuclear Physics Investigations (42). – 2004. – № 1. – P.120-121.

MEASUREMENT OF BEAM ELECTRON DENSITY DISTRIBUTION ON AN ELECTRON LINEAR ACCELERATOR OF “KIPT” NSC

A.N. Dovbnya¹, V.V. Zakutin¹, N.G. Reshetnyak¹, V.A. Popenko¹, V.P. Yefimov¹, N.A. Dovbnya¹, T.A. Kovalenko²

¹Scientific-Production Complex “Accelerator”
National Science Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”
Ukraine, 61108, Kharkov, 1, Akademicheskaya St.

E-mail: zakutin@kipt.kharkov.ua

²Kharkov National University
Ukraine, 61077, Kharkov, sq. Svobody, 4

The results of experimental research on electron density distribution of nonunfolded and unfolded beams carried out on the targets of EPOS and KUT-30 linear accelerators of the National Science Center, Kharkiv Institute of Physics & Technology are given below. The measurements were conducted at different distances from the output foil under standard modes of the electron accelerator operation. The irradiation zone width was determined in its vertical and horizontal planes.

KEY WORDS: electron beam, beam sweep, irradiation, accelerated electrons, electron density distribution.