

19
**И Н С Т И Т У Т
Я Д Е Р Н О Й Ф И З И К И С О А Н С С С Р**

ПРЕПРИНТ И Я Ф 74 - 47

Б. П. Санников

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛАСТИН
ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
СИЛЬНОТОЧНЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ**

Новосибирск

1974

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛАСТИН ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ
ДИАГНОСТИКИ СИЛЬНОТОЧНЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ

Б.П.Санников

А Н Н О Т А Ц И Я

Описана методика определения геометрических размеров и энергетического спектра сильноточных электронных пучков с помощью тонких пластин полимеров винипроза и астролона, набранных в виде сэндвича с алюминиевой фольгой.

Как известно, некоторые полимеры под действием ионизирующего излучения могут изменять цвет, электрические, механические и др. свойства /1/.

Мы рассмотрели возможность использования пленок сополимера винилхлорида с метилметакрилатом (винипроз) для диагностики электронных пучков /2/. Этот полимер приобретает устойчивую коричневую окраску в месте прохождения электронного пучка. Сходными с винипрозом свойствами обладает астролон (сополимер винилхлорида с этилакрилатом). Замечено, что винипроз и астролон продолжают темнеть при комнатной температуре образцов еще около двух суток после облучения.

Зависимость оптического коэффициента поглощения (для зеленого света на микрофотометре МФ-4) от дозы облучения электронами с энергией 2,7 Мэв пластинок винипроза (толщина 0,2 мм) и астролон (толщина 0,5 мм) приведена на рис.1.

Так как ионизационные потери для электронов с энергией больше 0,5-1,0 Мэв слабо зависят от их энергии, то степень потемнения пластинок полимеров для 2,0 Мэв; 2,7 Мэв; 3,2 Мэв и 4,0 Мэв электронов одинаковой интенсивности пучков, как показали измерения, практически совпала.

Для получения информации об энергии электронов и пространственном их распределении пластинки винипроза или астролон набирались слоями в виде "сэндвича". Для электронных пучков большой интенсивности необходимо учитывать объемный заряд, наведенный в пленках от затормозившихся электронов, который может существенно влиять на поведение пучка, входящего в сэндвич.

Можно показать, что потенциал - φ [В] внутри пластинки толщиной d [см] будет зависеть от расстояния до фольги - x и плотности заряда ρ [CGSE/cm³] как

$$\varphi = -1,88 \cdot 10^3 \frac{\rho}{\epsilon} (x^2 - xd)$$

здесь ϵ - диэлектрическая проницаемость полимера.

Потенциал достигает максимального значения в середине пластинки и равен

$$\varphi_{\max} = -0,47 \cdot 10^3 \frac{\rho d^2}{\epsilon} \quad [\text{В}]$$

Например при интенсивностях $\sim 10^{15} \frac{\text{эл}}{\text{см}^2}$ для $d=0,2$ мм и $\varepsilon=2$ $\varphi_{\text{max}}=50$ кв, то вполне приемлемо для электронов, начальная энергия которых порядка 1 Мэв.

Для съема объемного заряда между пластинками полимеров помещалась заземленная тонкая проводящая фольга, (например, алюминиевая толщиной ~ 7 мкм).

Методом горячей штамповки /3,4/ сравнительно легко удается получать однородные пленки астролона и винипроза толщиной до 50 мкм, что позволяет использовать такие пленки для регистрации электронных пучков, значительно больших интенсивностей, чем $10^{15} \frac{\text{эл}}{\text{см}^2}$, и с энергией электронов порядка 100 кэв.

Измеряя степень потемнения пластин сэндвича по глубине, можно определить диссипацию энергии электронного пучка и приблизительно восстановить его энергетический спектр.

Действительно, пусть на глубине z сэндвича средние потери энергии для монохроматического пучка будут равны $-\frac{dE(E,z)}{dz} \frac{\text{Мэв}}{\text{эл.см}}$, где E — начальная энергия пучка. Потери энергии на этой же глубине для пучка с заданным энергетическим спектром $n(E)$ есть

$$W(z) = \int_0^{E_{\text{max}}} -\frac{dE(E,z)}{dz} \cdot n(E) dE$$

Для сэндвича известно $W(z)$, и определение энергетического спектра сводится к решению интегрального уравнения относительно неизвестной функции $n(E)$. Практически, оно может быть решено приближенно при помощи замены интеграла суммой.

Разобьем для этого интервал энергий от 0 до E_{max} на N участков и выберем в каждом из них среднее значение E_i .

Тогда уравнение приближенно можно представить в виде

$$W(z) = \sum_{i=1}^N -\frac{dE(E_i, z)}{dz} \cdot n(E_i) \cdot \frac{E_{\text{max}}}{N}$$

Составив такие уравнения при N значениях глубины проникновения, получим систему уравнений

$$W(z_k) = \sum_{i=1}^N -\frac{dE(E_i, z_k)}{dz} \cdot n(E_i) \cdot \frac{E_{\text{max}}}{N}, \quad k=1, 2, \dots, N$$

Задача свелась к системе линейных уравнений, решая которую можно получить энергетический спектр электронов в пучке. Точность этого метода, очень критична к точности определения исходных данных $W(z)$ и $-\frac{dE}{dz}(E_i, z_k)$.

Зависимость потерь энергии для монохроматических пучков $(-\frac{dE}{dz}(E_i, z_k))$ может быть найдена экспериментально по потемнению слоев сэндвича от монохроматических пучков с начальной энергией E_i .

На рис.3 для примера приведена кривая диссипации энергии электронов в сэндвиче, полученная на линейном ускорителе для монохроматических электронов 2,7 Мэв. Аналогичные кривые получены и для других энергий электронов. Сравнение этих кривых с подобными кривыми диссипации для бериллия и алюминия /5,6/ показывает качественное согласие с ними.

Таким образом, энергетический спектр может быть определен из уравнения

$$n(E_i) \cdot \frac{E_{\text{max}}}{N} = \frac{\Delta_i}{\Delta_0}$$

где

Δ_0 — определитель системы уравнений

Δ_i — определитель, соответствующий замене в Δ_0 i -го столбца $-\frac{dE}{dz}(E_i, z_k)$ столбцом $W(z_k)$.

На рис.4 приведена кривая диссипации энергии электронного пучка ускорителя РИУС-5 /7/ в сэндвиче, по которой можно приблизительно восстановить энергетический спектр электронов в пучке, используя кривые диссипации энергии для монохроматических электронов.

Энергетический спектр электронного пучка РИУС-5, найденный этим методом, показан на рис.5.

С помощью тонких полимерных пластинок из винипроза и астролона оказывается возможным регистрировать достаточно "тонкую" пространственную структуру электронных пучков.

На рис.6 приведены "фотографии" пучков, полученных на ускорителе РИУС-5 при форме электродов: катод-игла с кольцами, анод-плоскость /7/ при зазоре между ними 50 мм, находящимися в

магнитном поле 3 кгс и без магнитного поля. Видно, что в случае магнитного поля электроны, "вмороженные" в силовые линии, дают на полимерной пленке изображение эмиссионного катода. На "фотографии" электронного пучка без магнитного поля видны радиальные "спицы", возникающие в пучке при его прохождении ускоряющего промежутка.

В качестве других примеров использования тонких пластинок астролона и винипроза для диагностики электронных пучков можно привести еще несколько работ, сделанных в ИЯФ СО АН СССР, где нашли применение полимерные пластинки. В работе /8/ при помощи пластинок астролона, установленных за выходной фольгой плазменной установки, можно было качественно фиксировать конфигурацию пучка в зависимости от условий эксперимента.

Оказалось удобным использовать тонкие пластинки полимеров для контроля распределения интенсивности электронных пучков по сечению перед кюветой при электронном возбуждении активных сред жидкостных лазеров /9/.

Тонкие пластинки астролона или винипроза можно было также использовать для контроля размеров и оптимальной настройки 200 Мэв электронных пучков на позитронном конвертере на установке ВЭП-2 /10/.

Представляется очевидным использование тонких пленок астролона и винипроза для диагностики интенсивных протонных и многозарядных ионных пучков.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Л.М.Баркову за стимулирование работы по поиску материалов, устойчиво реагирующих на ионизирующее излучение электронных пучков; А.С.Богомолова, Г.И.Яснова, С.Б.Вассермана, А.И.Лукина за предоставленную возможность проведения экспериментов на ускорителях; В.Л.Рыкова и Г.П.Мерлинова за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. А.Своллоу. Радиационная химия органических соединений. И.Л., 1963.
2. Б.П.Санников. Тезисы симпозиума по эмиссионной плазменной сильноточной электронике, Томск, 1973 г.
3. Ж.Б.Григорян; М.А. Радкевич. Препринт ИГЭФ, № 505, 1967.
4. А.Д.Гайдук; Ю.И.Пестов. Препринт ИЯФ, № 74-10, 1974.
5. Yohta Naka, *Japans. Jour of App Phys*, 2, n12, 743 (1963)
6. Sobb. Rao *Nucl. Instr. and Meth.*, 44, n1, 155 (1966)
7. С.Б.Вассерман и др. Препринт ИЯФ, 75-70, 1970.
8. Ю.И.Абрашидов, В.С.Койдан и др. Письма в ЖЭТФ, т.18, вып.11, 675, 1973.
9. Б.А.Князев, В.М.Моралев, Е.П.Фокин. Оптика и спектроскопия (в печати).
10. А.В.Кожемякин. Частное сообщение.

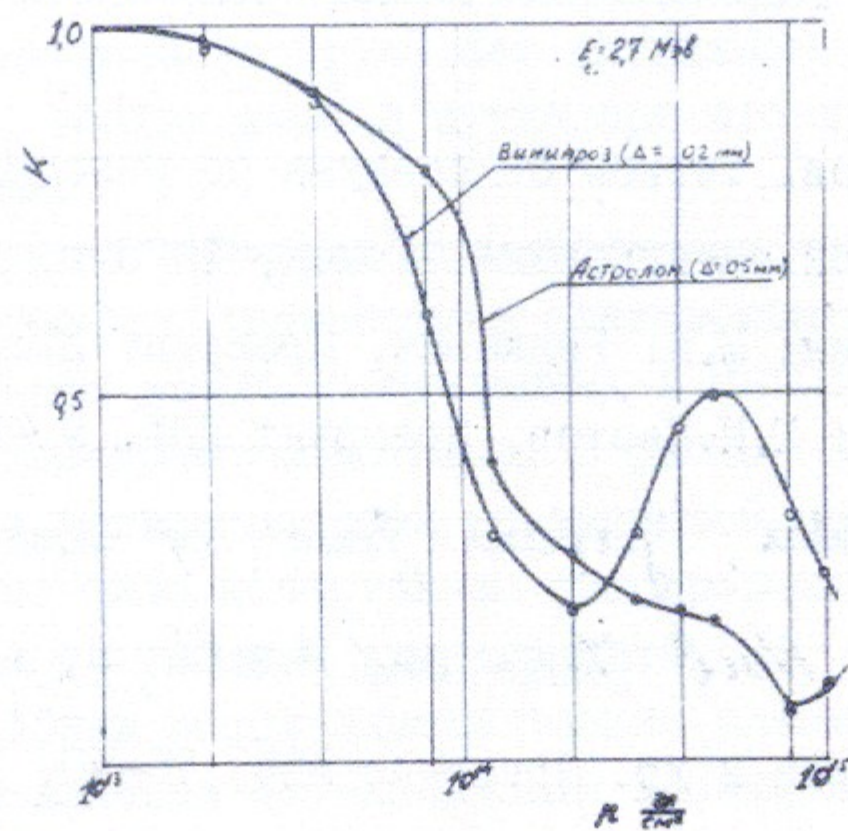


Рис.1. Коэффициент прохождения зеленого света - K через облученные полимеры от интенсивности электронного пучка.

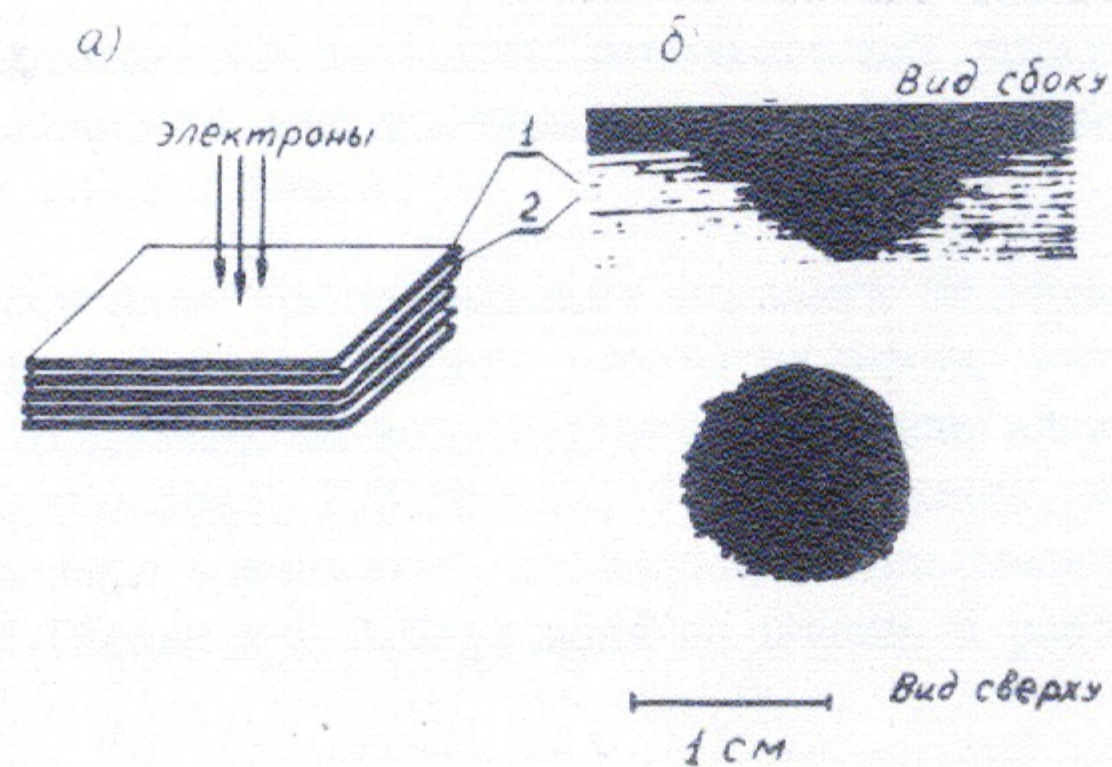


Рис.2. Общий вид "сэндвича" и "фотография" электронного пучка:

- 1 - полимерная пленка
- 2 - заземленная алюминиевая фольга

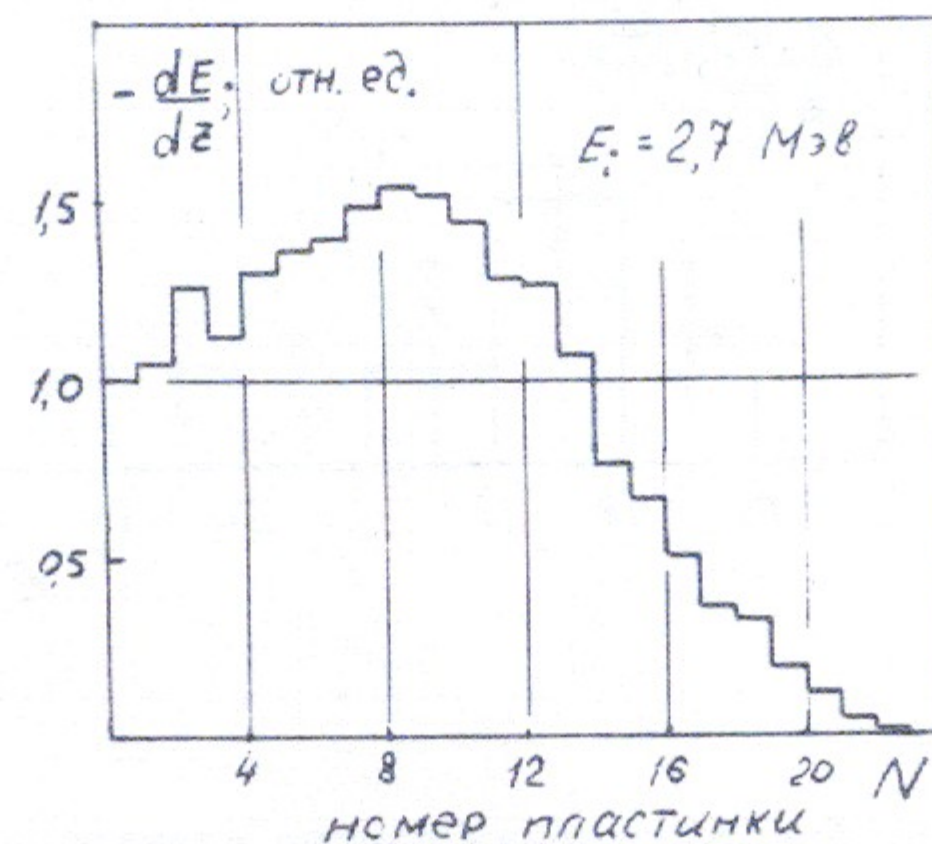


Рис.3. Кривая диссипации энергии монохроматического пучка (для энергии электронов $E=2.7$ МэВ) по глубине сэндвича.

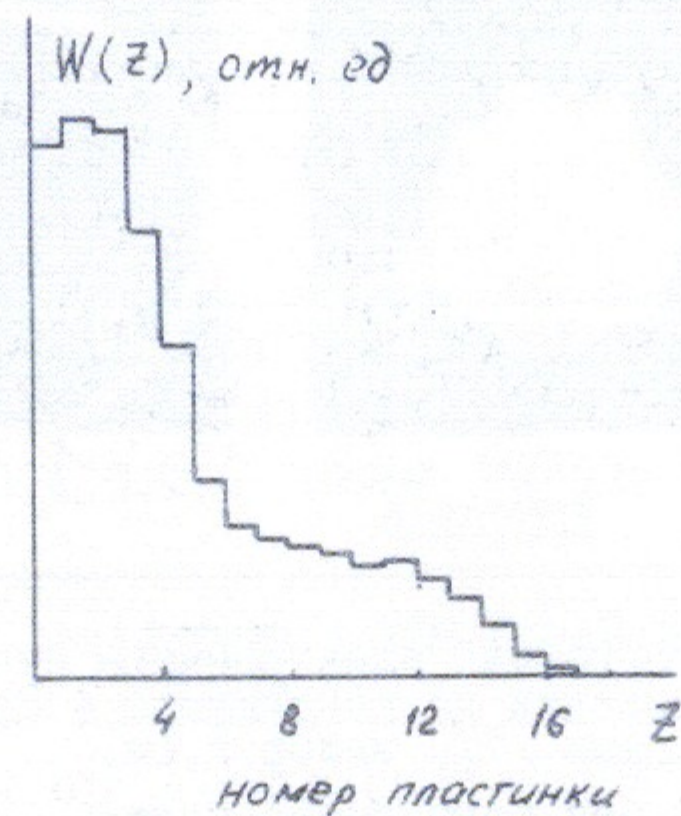


Рис.4. Кривая диссипации энергии электронного пучка "РИУС-5 /7/" по глубине сэндвича (в центре пучка) при напряжении на кондукторе $4 \cdot 10^6$ В; катод - игла с кольцами; зазор 5 см.

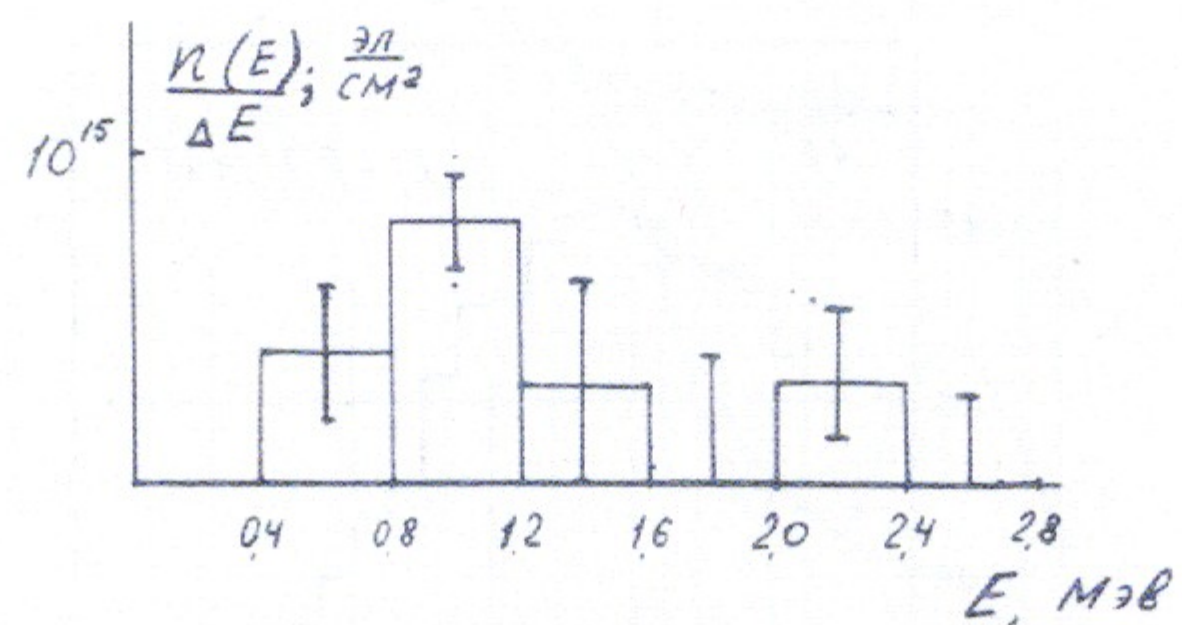


Рис.5. Энергетический спектр электронного пучка "РИУС-5" /7/.



Рис.6. "Фотографии" электронного пучка "РИУС-5" при напряжении на кондукторе 4 Мв; катод-игла с кольцами /7/, зазор 5 см.

- а) - без магнитного поля;
 б) - ускоряющий промежуток в магнитном поле $H=3$ крс.

Ответственный за выпуск С.Н.РОДИОНОВ
 Подписано к печати 1.УП.74г. МНО9381
 Заказ № 47 , 0,4 печ.л., тираж 300 экз. Бесплатно
 ПРЕПРИНТ

Отпечатано на ротaпpинте в ИЯФ СО АН СССР, вг.