

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

УДК 537.534.7: 539.216.2

© Г. М. Гусинский

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КВАЗИРАВНОМЕРНОГО УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕКОВ КОРПУСКУЛЯРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛЕНОЧНОМ МАТЕРИАЛЕ

Предложены два варианта устройства для облучения ионами легко деформируемой пленки, обеспечивающие близкое к осесимметричному квазиравномерное распределение направлений треков в диапазоне ≈ 1 стерадиан. Эти устройства могут быть использованы при изготовлении трековых мембран третьего поколения, позволяющих многократно увеличить производительность трековых мембран без ухудшения их селективности.

ВВЕДЕНИЕ

При решении ряда технологических задач с использованием облучения материала или изделия пучком ускоренных частиц желательно реализовать равномерное аксиально-симметричное распределение направлений треков относительно нормали к поверхности облучаемого материала. В частности, такая задача возникает при изготовлении трековых мембран (ТМ), обладающих уникально высокой селективностью. Технология изготовления ТМ основана на облучении полимерного материала ускоренными тяжелыми ионами или продуктами деления U^{235} и последующей физико-химической обработке латентных треков [1]. Селективность ТМ зависит от относительного числа только таких пространственных наложений треков, при которых протравленные треки накладываются по всей длине микропор. Вероятность таких наложений зависит от геометрических размеров пор, от числа пор на единицу облучаемой поверхности q и от распределения направлений пор. Основными параметрами ТМ, определяющими области их применения, являются диаметр пор и их число на единицу поверхности. Поэтому единственным свободным параметром, определяющим вероятность наложений треков, является характеристика их углового распределения. Угловое распределение пор определяется системой облучения пленочного материала тяжелыми ионами.

Плотность вероятности наложений двух треков при облучении плоского материала параллельным пучком ионов после травления определяется величиной

$$q^2 \cdot W_1 / 2.$$

Здесь W_1 — геометрический компонент вероятности наложений, определяемый формулой:

$$W_1 = 4\pi\rho^2, \quad (1)$$

где ρ [м] — радиус пор.

Для уменьшения вероятности наложений при сохранении необходимой пористости

$$P = \pi\rho^2 q \cdot 100 \%,$$

определяющей производительность ТМ, устройством, описанным в [2], осуществляется статистическое распределение направлений треков в пределах некоторого угла $\varphi_{\max}$. Это достигается путем прохождения облучаемой пленки по цилиндрической поверхности вращающегося валика радиусом r , сканируемого параллельным пучком ионов в пределах установленной диафрагмы размером L в плоскости, перпендикулярной оси валика. Устройство обеспечивает разброс углов φ наклона треков в плоскости, перпендикулярной оси валика в пределах

$$\varphi_{\max} = 2 \operatorname{Arcsin}(L/2r) \approx L/r.$$

Вычисление W для пленок, облученных в таком устройстве [3], приводит к выражению

$$W_2 = 128\rho^3/3h\varphi_{\max}, \quad (2)$$

где h [м] — толщина пленки. В реальных условиях $\rho \ll h$.

Вероятность W_2 может быть уменьшена, если в устройстве предусмотрен, помимо статистического углового распределения треков в одной плоскости, набор нескольких фиксированных углов облучения в плоскости, ей перпендикулярной.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для достижения минимально возможного значения вероятности наложений треков при сохранении заданной пористости необходимо создание устройства облучения пленки ионами, обеспечивающего равновероятностное аксиально-симметричное распределение направлений треков.

Можно показать, что в этом случае для относительной вероятности W_3 в первом приближении

$$\frac{W_3}{W_1} \approx \frac{(2\rho)^2}{[h \operatorname{tg}(\varphi_{\max}/2)]^2}. \quad (3)$$

В общем случае из выражений (1, 2, 3) следует:

$$\begin{aligned} \frac{W_3}{W_2} &= \frac{[2\rho/h \operatorname{tg}(\varphi_{\max}/2)]^2 4\pi\rho^2 3h\varphi_{\max}}{128\rho^3} = \\ &= 0.75 \pi\rho \frac{\varphi_{\max}/2}{h[\operatorname{tg}(\varphi_{\max}/2)]^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Как следует из выражения (4), отношение W_3/W_2 уменьшается с ростом $\varphi_{\max}/2$. При значении $\varphi_{\max}/2=30^\circ$

$$W_3/W_2 \cong 4\rho/h. \quad (5)$$

2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВА

Вариант 1

Схема устройства изображена на рис. 1. Облучаемая в пределах диафрагмы шириной L пленка, движущаяся с фиксированной линейной скоростью V , не зависящей от частоты ν вращения держателей валиков, обкатывает часть валиков (n), находящихся в секторе, превышающем сектор облучения $\operatorname{Arcsin}(L/(R+r))$. Предполагаем, что пучок ионов в пределах диафрагмы L параллелен, постоянен во времени и одинаков по плотности.

Рассмотрим соотношения между параметрами деталей предлагаемого устройства, обеспечивающие реализацию необходимого распределения направлений треков ионов относительно нормали к плоскости пленки.

Выбор значений максимальных углов наклона в направлении движения пленки ($\pm\alpha_{\max}$) и в перпендикулярной плоскости ($\pm\beta_{\max}$) диктуется рядом условий: уменьшение числа случайных наложений с увеличением максимального угла наклона треков сопряжено с некоторым уменьшением производительности ТМ за счет увеличения длины пор и необходимостью использовать ускоренные пучки с большей энергией. Обычно $|\alpha_{\max}| \leq 30^\circ$.

На рис. 2 изображено положение валика в момент реализации $\alpha_{\max}$ для участка пленки при входе его в область облучения диафрагмы. Значение $\alpha_{\max}$ имеет место для тех участков пленки, которые входят в область облучения в те моменты, когда эти участки расположены на конце находящейся в области облучения дуги соприкосновения валика с пленкой.

Обозначим $\alpha'_{\max}$ (рис. 3) значение $\alpha_{\max}$, реализуемое в тех областях пленки, которые находились на облучаемом участке конца дуги соприкоснове-

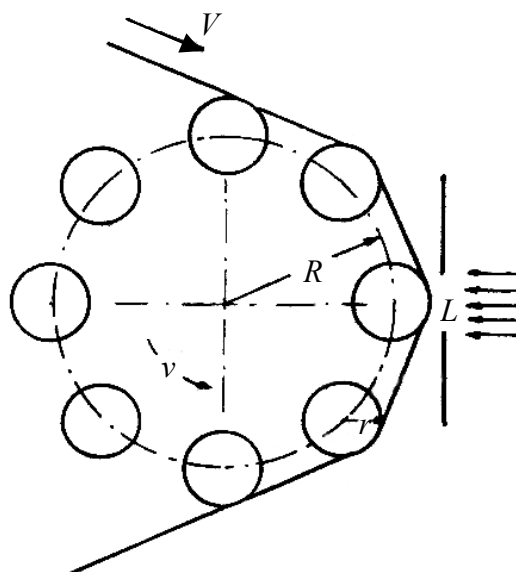


Рис. 1. Схема устройства облучения пленочного материала ускоренными частицами

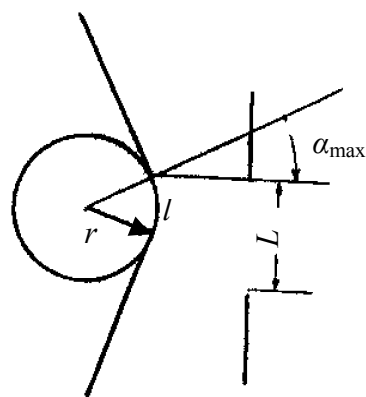


Рис. 2. Расположение валика при реализации угла наклона трека $\alpha_{\max}$ при вхождении пленки в зону облучения

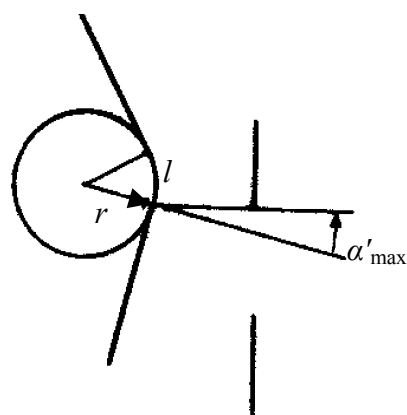


Рис. 3. Расположение валика при реализации угла наклона трека $\alpha'_{\max}$ при вхождении пленки в зону облучения

ния, когда основная часть дуги находилась вне зоны облучения. Это значение $\alpha'_{\max}$ постепенно увеличивается до $\alpha_{\max}$ для участков пленки, входящих в зону облучения в контакте с поверхностью очередного валика.

Из очевидных геометрических соотношений для $\alpha_{\max}$ и $\alpha'_{\max}$ получаем:

$$\begin{aligned}\alpha_{\max} &\approx \text{Arcsin}(L/(R+r)) + (180^\circ/n)(R/(R+r)), \\ \alpha'_{\max} &\approx \text{Arcsin}(L/(R+r)) - (180^\circ/n)(R/(R+r)), \\ \alpha_{\max} - \alpha'_{\max} &\approx (360^\circ/n)(R/(R+r)).\end{aligned}\quad (6)$$

Пусть предельно допустимый разброс величины максимального угла наклона трека в плоскости направления движения пленки на различных участках составляет $\Delta\alpha_{\max}$. Тогда за время прохождения со скоростью V через границу окна облучения отрезка пленки, равного длине ℓ касания валика с пленкой ($\ell = 2\pi r/n$), через эту границу должно пройти число валиков (p), определяемое из условия:

$$p = (\alpha_{\max} - \alpha'_{\max}) / \Delta\alpha_{\max}. \quad (7)$$

Поскольку $p = vn\ell/V = (v \cdot 2\pi r/V)$, то на основании (6), (7) частота вращения держателей валиков v может быть определена из выражения:

$$v = \frac{\alpha_{\max} - \alpha'_{\max}}{\Delta\alpha_{\max}} \frac{V}{2\pi r} = \frac{V}{n\Delta\alpha_{\max}} [R/(R+r)r], \quad (8)$$

где $\alpha_{\max}$, $\Delta\alpha_{\max}$ — [рад].

Как следует из (3), (4), при $|\alpha_{\max}| \leq 30^\circ$ вероятность наложений $W \approx 1/\alpha_{\max}$. Подобная зависимость имеет место и для предлагаемого устройства. Из-за уменьшения на некоторых участках пленки $\alpha_{\max}$ до значения $\alpha_{\max} - \Delta\alpha_{\max}$ имеем

$$W_{\max} \approx 1/(\alpha_{\max} - \Delta\alpha_{\max}) \approx (1 + \Delta\alpha_{\max}/\alpha_{\max})/\alpha_{\max}.$$

С учетом того, что задачей предлагаемого устройства является существенное уменьшение вероятности наложений, полагаем, что допустим разброс W на различных участках пленки в пределах 15 %, т.е. $(W_{\max} - W)/W \approx 15\%$, и соответственно при $|\alpha_{\max}| \approx 30^\circ$ допустим $\Delta\alpha_{\max} \approx 5^\circ$.

Из соотношения (8) следует, что линейная скорость движения валиков по поверхности пленки V_c многократно превышает скорость движения пленки V в широком диапазоне изменения n :

$$V_c/V = 2\pi(R+r)v/V = \frac{2\pi}{n\Delta\alpha_{\max}} \frac{R}{r} \gg 1.$$

Очевидно, что при продвижении пленки внутрь области облучения ($-L/2, +L/2$) разброс углов наклона треков за счет вращения системы валиков в

точке с координатой L_i вдоль направления движения пленки определяется формулой:

$$|\alpha_i| = |\text{Arcsin}(L_i/(R+r)) \pm (180^\circ/n)[R/(R+r)]|.$$

Таким образом, при прохождении всей области облучения реализуется разброс углов наклона треков в направлении движения пленки в пределах $\pm\alpha_{\max}$.

Для получения углового распределения треков в направлении, перпендикулярном движению пленки, на поверхность валиков в варианте 1 наносится волнообразный профиль в плоскости оси вращения в виде последовательности соприкасающихся по касательной равных сегментов противоположной кривизны с хордами D и центральным углом $2\beta_{\max}$ (рис. 4).

Для амплитуды H противоположно направленных сегментов получаем значение:

$$H = 2D \sin^2(\beta_{\max}/2) / \sin \beta_{\max}. \quad (9)$$

За время L/V прохождения пленкой окна облучения любая точка на поверхности пленки, независимо от начального угла наклона β_0 , должна однократно или многократно пройти весь диапазон углов β в пределах $\pm\beta_{\max}$ с приблизительно равной вероятностью. В случае волнообразного профиля на валиках изменение угла β осуществляется путем установки соседних валиков со смещением вдоль направления оси вращения на величину Δ_i для каждого последующего валика, причем $\sum_n \Delta_i$ определяется из условия полного сдвига валиков на величину, кратную $2D$, в процессе прохождения пленкой всей области облучения. Это условие приводит к выражению:

$$\frac{L}{2V} v \sum_n \Delta_i \approx ND, \text{ т. е. } \frac{L}{2V} v n \Delta_{\text{ср.}} \approx ND,$$

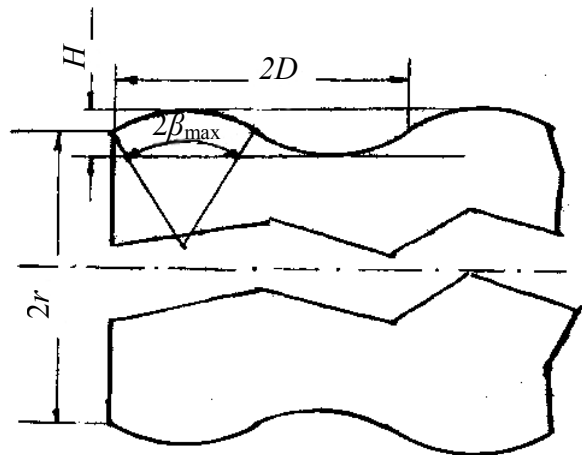


Рис. 4. Сечение профиля валиков

где N — целое число, $\Delta_{\text{ср.}}$ — средняя величина смещения.

Исключив с помощью (8) V и v , можно получить требуемое соотношение между размерами комплектующих деталей и $\Delta\alpha_{\text{max}}$:

$$2\Delta\alpha_{\text{max}} = LR\Delta_{\text{ср.}}/D(R+r)rN, \quad (10)$$

где D, R, r — [м].

Пусть средняя величина продольного последовательного смещения соседних валиков $\Delta_{\text{ср.}} = 2D/m$, (где n/m — целое число) и предположим, что профиль пленки, задаваемый профилем поверхности соседних валиков, сохраняется между ними. Тогда наклон β некоторой области поверхности пленки в результате прохождения m валиков будет непрерывно изменяться в пределах $\pm\beta_{\text{max}}$.

При смене очередного валика изменение $\Delta\beta$ может быть определено из соотношения

$$\sin|\Delta\beta| \approx \frac{4\sin(\beta_{\text{max}})}{m}.$$

При реальных значениях β_{max} и m (например, $|\beta_{\text{max}}| \leq 30^\circ$, $m = 8$) с точностью до 0.5° имеем

$$|\Delta\beta| \approx |\beta_{\text{max}}|/2.$$

Это соотношение справедливо для неподвижной пленки. В случае независимых движений пленки со скоростью $\pm V$ и обкатки валиком поверхности пленки со скоростью $V_c = 2\pi(R+r)v$ для значений $\Delta\beta$ получаем:

$$\Delta\beta \approx \frac{4}{m}|\beta_{\text{max}}| \left(1 \pm \frac{V}{2\pi(R+r)v} \right).$$

Реально поправка может составить несколько процентов. По результату воздействия на $\Delta\beta$ это эквивалентно изменению на несколько % значения v , что совершенно не сказывается на угловом распределении β .

Таким образом, при обкатывании легко деформируемой пленки роликами с указанным профилем и Δ каждый участок поверхности пленки при прохождении области облучения, помимо наклона в пределах $\pm\alpha_{\text{max}}$, оказывается N -кратно последовательно развернутым под углом β в диапазоне $\pm\beta_{\text{max}}$ относительно направления пучка ионов. Следовательно, предлагаемое устройство с определенным соотношением параметров деталей (10) позволяет в процессе облучения осуществить перемennую упругую двумерную деформацию всех областей материала в заданном диапазоне углов.

Вариант 2

Рассмотрим другой вариант устройства, в котором профиль на поверхности валиков выполнен

в виде резьбы. При натяжении тонкой пленки на системе таких валиков пленка между ними сохраняет волнообразную деформацию, задаваемую рельефом поверхности валиков. В случае рельефа в виде резьбы, как и в случае волнообразного рельефа, амплитудные значения деформации располагаются по направлению силы натяжения пленки, а не по направлению продолжения хода резьбы.

Для сохранения относительного расположения вдоль валиков амплитудных значений профиля резьбового рельефа вращение валиков вокруг собственных осей может быть синхронизировано известными способами (обкатка общей передачей шкивов на валиках, сцепление с общим зубчатым колесом и т.д.).

Если на всех n валиках имеется S-заходная резьба профиля, определенного формулой (9), и шагом $2DS$, фазы резьбы на равных расстояниях вдоль длины для всех валиков одинаковы и вращение валиков вокруг своих осей строго синхронизировано, то в процессе поворота всей сборки так, что k валик заменится на соседний, изменение фазы наклона пленки в направлении, перпендикулярном к направлению движения, составит:

$$\Delta\beta_{k \rightarrow k+1} \approx \frac{(R+r)}{r} \frac{S}{n} \cdot 4 \cdot |\beta_{\text{max}}|,$$

где $\frac{(R+r)}{r} \cdot S$ — часть шага резьбы при смене соседнего валика. За время прохождения окна облучения суммарное изменение угла β составит

$$\sum \beta = \frac{Lv}{V} \frac{(R+r)}{r} \cdot S \cdot 4 \cdot |\beta_{\text{max}}|. \quad (11)$$

Равновероятностно наклон в диапазоне $-30^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$ реализуется в случае равенства: $\frac{2Lv}{V} \cdot \frac{(R+r)}{r} \cdot S = N$ (целое число). Исключив с помощью (8) v и V , получаем требуемое соотношение между параметрами устройства и $\Delta\alpha_{\text{max}}$:

$$\Delta\alpha_{\text{max}} N = 2LRS/nr^2. \quad (12)$$

Для оценки эффективности устройства в отношении уменьшения вероятности наложений рассмотрим вид соответствующих фазовых траекторий при двумерной деформации элемента поверхности пленки.

Для определения фазовых траекторий вычислим зависимость $\alpha(t)$ для участка пленки, попавшего в зону облучения. Для определенности полагаем, что $\alpha(0) = \alpha_{\text{max}, 0}$, система валиков обкатывает пленку со скоростью V_c против часовой стрелки, а пленка со скоростью V движется в противоположную сторону, $V_c \gg V$.

При вращении системы валиков к моменту $t(\alpha_{\min,0}) \approx \Delta t \cdot r / (R+r)$, где $\Delta t = 1/nv$ — время смены очередного валика, α достигнет значения $\alpha_{\min,0} \approx \alpha_{\max,0} - 2\pi R/n(R+r)$.

К моменту $t(\alpha_{\max,1}) \approx \Delta t[1 - \Delta t \cdot Vn/2\pi(R+r)]$ α вновь возрастет до величины $\alpha_{\max,1} \approx \alpha_{\max,0} - t(\alpha_{\max,1})V/(R+r)$, а через период Δt примет значение $\alpha(\Delta t) = \alpha_{\max,0} - \Delta t \cdot V/r$. Последующая смена валиков приведет к повторным изменениям.

Для значений $t(\alpha_{\min,k})$ и $t(\alpha_{\max,k})$ при прохождении k -го валика через область облучения можно получить:

$$\begin{aligned} t(\alpha_{\min,k}) &= k \cdot \Delta t \pm \frac{\Delta t}{R+r} \left(r - \frac{k \cdot \Delta t \cdot Vn}{2\pi} \right), \\ t(\alpha_{\max,k}) &= k \cdot \Delta t \left(1 \mp \frac{\Delta t \cdot Vn}{2\pi(R+r)} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Если направление вращения системы валиков и движения ленты совпадают, то в формулах (13) должны быть взяты нижние знаки.

Анализ фазовой траектории

В приближении $t(\alpha_{\min,k}) \approx t(\alpha_{\max,k}) \approx k \Delta t$ (что допустимо, т.к. зависящие от k члены имеют существенную величину при больших значениях k) получаем зависимость $\alpha_{\min}$ и $\alpha_{\max}$ от координаты $(k \cdot \Delta t \cdot V)$ в зоне облучения выбранного участка пленки:

$$\begin{aligned} \alpha_{\min,k} &= \alpha_{\max,0} - \frac{2\pi R}{n(R+r)} - \frac{k \cdot \Delta t \cdot V}{R+r}, \\ \alpha_{\max,k} &= \alpha_{\max,0} - \frac{k \cdot \Delta t \cdot V}{R+r}. \end{aligned}$$

Число валиков $k_{\max}$, прошедших через область облучения за время прохождения пленкой этой области, получаем из очевидного соотношения

$$k_{\max} \approx \frac{L}{V} v n = \frac{L}{V \cdot \Delta t}.$$

С учетом того, что $V \ll 2\pi(R+r)v$, независимо от фазы вхождения фиксированного участка пленки в область облучения вблизи ее центра каждый участок пленки будет облучаться в направлении нормали к поверхности не только на соответствующем участке поверхности валика, но и при симметричном расположении валиков относительно осевой линии области облучения. При прохождении пленкой всей области распределение α будет симметричным относительно середины области облучения.

В приближении линейной зависимости углов (α, β) наклона треков от смещения деформирующих элементов поверхности валиков на рис. 5 приведен вид половины фазовой траектории наклона треков варианта устройства с волнообразным профилем на поверхности валиков для элемента поверхности пленки, входящего в область облучения при $\alpha_{\max,0} = +26^\circ$, $\beta = 0^\circ$. В качестве примера взято устройство с параметрами: $\alpha_{\max} = \pm 26^\circ$, $\beta_{\max} = \pm 30^\circ$, $L = 0.8$ см, $R = 2.5$ см, $r = 0.5$ см, $n = 8$, $m = 8$, $v = 2.5$ сек⁻¹, $V = 1$ см/сек, $\Delta\alpha_{\max} = 4.7^\circ$, $N = 2$, $2D = 0.24$ см, $\Delta_{\text{ср.}} = 0.03$ см, $H = 0.032$ см, $k_{\max} = 16$.

Проведем анализ фазовой траектории. Значение $t(\alpha_{\max,k})$ фиксирует момент касания k -м валиком выбранного участка пленки, движущегося в области облучения. Оно определяет момент достижения $\alpha_{\max,k}$ и момент фиксации очередного значения угла β_k . Этот угол остается постоянным в течение $t(\alpha_{\max}) - t(\alpha_{\min}) = \Delta t r / (R+r)$, в то время, как изменение $\alpha_{\max} - \alpha_{\min}$ составит $2\pi R/n(R+r)$. Далее, за время $\Delta t \cdot R/(R+r)$ угол β_k постепенно изменяется до значения β_{k+1} .

Уменьшение вероятности наложения треков определяется увеличением длины фазовой траектории углов наклона треков, реализуемых в предлагаемом устройстве. При двойных наложениях участков фазовых траекторий эффективная длина должна быть уменьшена вдвое. Поэтому желательно изменить значение сдвига Δ 2-го, 4-го, 6-го и 8-го валиков на ≈ 0.005 см, что приводит к существенному уменьшению участков наложений.

Уменьшение $\alpha_{\max}$ и $\alpha_{\min}$ в процессе прохождения области облучения составляет

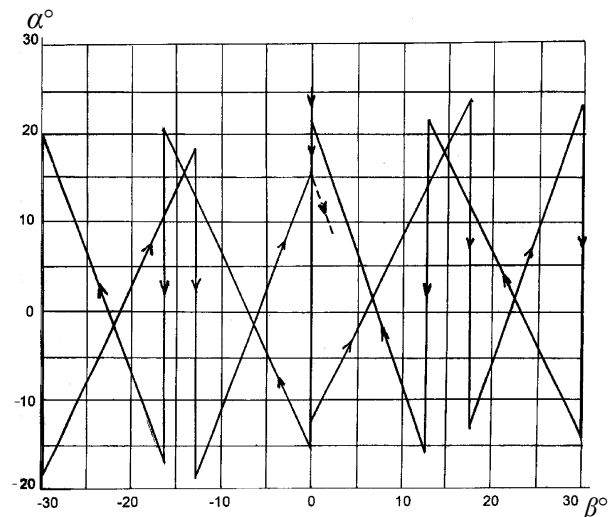


Рис. 5. Фазовая траектория углов наклона треков, соответствующая прохождению восьми валиков с волнообразными профилями поверхности

$L/(R+r)$ рад. Таким образом, в диапазоне $|\alpha| \leq 2|\alpha_{\max,0}| - 2L/(R+r)$ плотность треков с углом наклона α постоянна, а при больших значениях $|\alpha|$ она линейно падает до 0.

Если, кроме наложений участков фазовой траектории, учесть уменьшение реализации углов наклона α в двух областях при $|\alpha| \geq |\alpha_{\max,0} - L/(R+r)|$ и соответствующее увеличение плотности облучения в области $|\alpha| \leq 2|\alpha_{\max,0}| - 2L/(R+r)$, то реальное уменьшение вероятности двойных наложений W_3/W_2 , вычисленное из отношения длин фазовых траекторий без учета диаметра пор, составит ≈ 0.13 .

В соответствии с (5) в диапазоне $\rho/h \geq 0.03$ устройство позволяет получить отношение вероятностей W_3/W_2 , не превышающее соответствующее отношение для равномерного осесимметричного распределения.

Определим фазовую траекторию углов наклона треков устройства с профилем на поверхности валиков в виде резьбы.

Пусть $\alpha_{\max}$, $\beta_{\max}$, L , R , r , n , v , V , $k_{\max}$, $\Delta\alpha_{\max}$ и H имеют те же значения, что и в примере с волнообразным профилем, $S = 1$ и соответственно шаг резьбы составляет $2D$.

В соответствии с (11) для указанных значений параметров $\sum \beta = 48|\beta_{\max}|$, т. е. за время прохождения окна облучения наклон каждого элемента поверхности пленки 24 раза пройдет диапазон $\beta = \pm 30^\circ$.

Пусть для выбранной точки поверхности пленки при вхождении ее в область облучения $\beta_0 = 0$, $\alpha_0 = \alpha_{\max,0}$. Изменение $\Delta\beta$ до встречи этой точки с очередным валиком, где реализуется $\alpha_{\max,k}$, будет:

$$\Delta\beta(\alpha_{\max,k}) \approx \frac{(R+r)S}{rn} \cdot k \cdot \left(1 + \frac{V \cdot \Delta t}{L}\right) \cdot 4|\beta_{\max}|. \quad (14)$$

Очередное $\alpha_{\min,k}$ реализуется после прохождения сектора валика

$$\frac{2\pi}{n} - \frac{V \cdot \Delta t}{r} = 0.685 \text{ рад.}$$

Тогда

$$|\beta(\alpha_{\max}) - \beta(\alpha_{\min})| = \frac{0.685}{2\pi} \cdot S \cdot 4|\beta_{\max}| \quad (15)$$

При $S = 1$ для устройства, выбранного в качестве примера, из выражений (14), (15) получаем:

$$\Delta\beta(\alpha_{\max,k}) = k \cdot 95.625^\circ,$$

$$|\beta(\alpha_{\max}) - \beta(\alpha_{\min})| = 13.1^\circ.$$

На рис. 6 приведена часть фазовой траектории, (в приближении линейной зависимости (α, β) от смещения деформирующих элементов), соответствующая прохождению 4-х валиков. Длина фазовой траектории при $k_{\max} = 16$ соответствует ≈ 20 рад, что в 19 раз превышает длину фазовой траектории, соответствующей облучению пленки на одиночном цилиндре. Наложений участков траектории без учета размеров пор в этом случае нет, но, как указано выше, часть общей длины траектории, соответствующая условию $|\alpha| \geq 2|\alpha_{\max}| - 2L/(R+r)$, заселяется треками с меньшей плотностью, чем остальная область. Учет этого эффекта приводит к увеличению относительной вероятности наложений на 16 % при условии сохранения величины плотности облучения. Таким образом, реально достигается значение $W_3/W_2 \approx 1/17$. Следует отметить, что в соответствии с (5) это отношение реализуется только при условии $\rho/h \leq 1/68$. При любых значениях этого отношения W_3/W_2 не может быть меньше величины, определяемой формулой (5). Графически можно оценить увеличение плотности наложений треков в зависимости от их диаметра и длины, очертив вдоль фазовой траектории фазовую область, соответствующую диаметру треков и толщине пленки. На рис. 6 эта область соответствует $\rho/h = 0.025$. Наложение областей так же, как и наличие "пустот" в фазовом пространстве, приводит к неравномерности в угловом распределении треков и к некоторому увеличению плотности наложений, так как длина

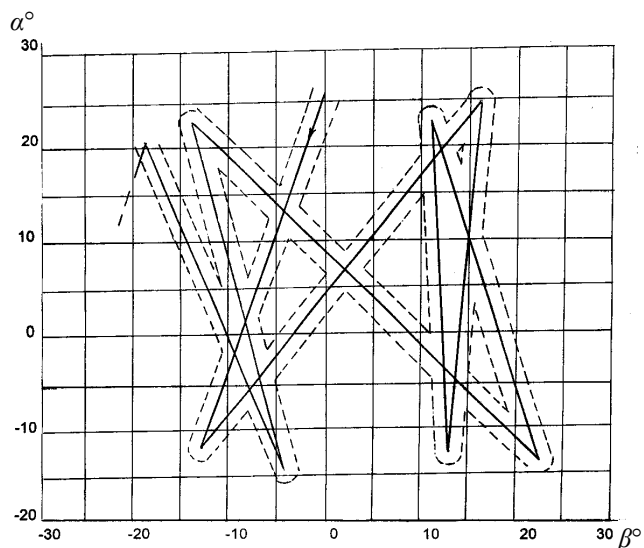


Рис. 6. Фазовая траектория углов наклона треков, соответствующая прохождению четырех валиков с профилем поверхности в виде резьбы

фазовых траекторий в пределах накладывающихся фазовых областей должна быть уменьшена соответственно кратности наложений.

Анализ работы рассмотренных методов облучения сделан в предположении, что при обкатке тонкой эластичной пленки системой валиков профиль поверхности пленки, соприкасающейся с валиками, идентичен профилю поверхности валиков и в значительной степени сохраняется между соседними валиками. Для проверки этого предположения был изготовлен макет устройства с параметрами, близкими к параметрам рассмотренного примера. Деформация лавсановой пленки толщиной 0.01 мм, создаваемая макетом, полностью удовлетворяла условиям, необходимым для получения осесимметричного квазиравномерного углового распределения треков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Предлагаемое устройство (два варианта) обеспечивает деформацию пленочного материала в двух направлениях в процессе его облучения корпускулярным излучением. В результате деформации пленки системой вращающихся n валиков с профилированной поверхностью достигается квазиравномерное, близкое к осесимметричному угловое распределение направлений треков, соответствующее минимальному значению их наложений при сохранении плотности облучения.

При реально осуществимых значениях ρ/h и равенстве доз облучения вероятность наложения треков при использовании предлагаемого устройства на один–два порядка меньше вероятности наложений треков, реализуемой при облучении пленки на цилиндрической поверхности.

Селективность ТМ в основном определяется величиной, обратной относительной плотности наложений треков $qW/2$. Учитывая, что произво-

дительность ТМ пропорциональна q , заключаем, что при условии сохранения заданной селективности предлагаемые методы облучения пленки обеспечивают увеличение производительности трековых мембран на один–два порядка. Равенство (5) показывает, что предлагаемые методы облучения особенно эффективны при изготовлении ТМ с малым диаметром пор, так как отношение производительности трековых мембран третьего поколения к производительности мембран второго поколения с такими же размерами пор, с такой же селективностью линейно возрастает с уменьшением диаметра пор.

Устройство запатентовано [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин Ю.Ф., Гусинский Г.М., Иванова Н.С., Лемберг И.Х. Изготовление микрофильтров с радиусом пор 100 А° и более при облучении лавсана ионами Ag // ПТЭ. 1976. № 6. С. 213–215.
2. Флеров Г.Н. Синтез сверхтяжелых элементов и применение методов ядерной физики в смежных областях // Вестник АН СССР. 1984. № 4. С. 35–48.
3. Матюков А.В. и др. Влияние способа формирования облучающего потока на селективность трековых мембран второго поколения. СПб.: Препринт ФТИ им. А.Ф. Иоффе, № 1743, 2000.
4. Патент РФ № 2149472, 20.05.2000.

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

Материал поступил в редакцию 16.09.2000.

AN ARRANGEMENT PROVIDING A QUASI-UNIFORM ANGULAR TRACK DISTRIBUTION OF PARTICLE RADIATION IN THE FILM MATERIAL

G. M. Gusinskii

A. F. Ioffe Physical Technical Institute RAS, Saint-Petersburg

Two variants of arrangements for ion irradiation of a slightly deformed film have been suggested. They provide a quasi-uniform distribution of the track directions in the ≈ 1 str range. The arrangements can be used for manufacture of track membranes of the third generation permitting a multifold increase in the productivity of track membranes without deterioration of their selectivity.