

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМАХ

А.А.Бизюков,
Вл.В.Бобков,
А.Е.Кашаба,
К.Н.Середа,
И.К.Тарасов

Харьковский Государственный Универси-
тет, Физико-технический факультет,
Кафедра физики плазмы. Украина, 310108,
Харьков, пр. Курчатова, 31.

Исследованы режимы осаждения алмазо-
подобных покрытий в пучково-плазменной
системе. Обнаружены два режима: ионный
и электронный. Показано, что переход от
режима к режиму происходит пороговым
образом при энергии электронного пучка

$\epsilon_b = 250$ эВ, что связано с немонотонным ха-
рактером зависимости коэффициента вто-
ричной эмиссии от энергии пучка. Получен
смешанный режим, когда ионная обработка
чередуются с нагревом обрабатываемой по-
верхности электронами.

Преимущества использования пучково-плазменного разряда для плазменно-стимулиро-
ванного парофазного осаждения алмазоподобных плёнок определяется высокой степенью
диссоциации и ионизации рабочих веществ (до 100% в импульсных разрядах), малым коли-
чеством примесей из-за объёмного характера разряда, возможностью формирования на об-
рабатываемую поверхность потоков заряженных частиц значительной величины
(10 – 100 мА/см²). В данной работе исследуются режимы осаждения алмазоподобных по-
крытий в пучково-плазменных системах.

Экспериментальные исследования проводились на установке, схема которой представле-
на на Рис.1. Устройство представляет собой вакуумный объём, в который вдоль оси инжек-
тируется создаваемый источником (2) (электронной пушкой) расходящийся в
неоднородном магнитном поле электронный пучок с параметрами: начальный диаметр пуч-
ка 20 мм, энергией $\epsilon_b = 0 - 600$ эВ, и то-
ком $I_b = 10 - 100$ мА на электрически
изолированный подложкодержатель (3)
диаметром 100мм при давлении рабочего
газа (C_6H_{12} - циклогексан, Ar-аргон)
 $p = (6 - 50) \cdot 10^{-5}$ Торр. Энергия пучка
могла модулироваться с помощью гене-
ратора синусоидального напряжения в
диапазоне частот 1-100 МГц с амплиту-
дой модуляции $U_{mod} = 1 - 20$ В

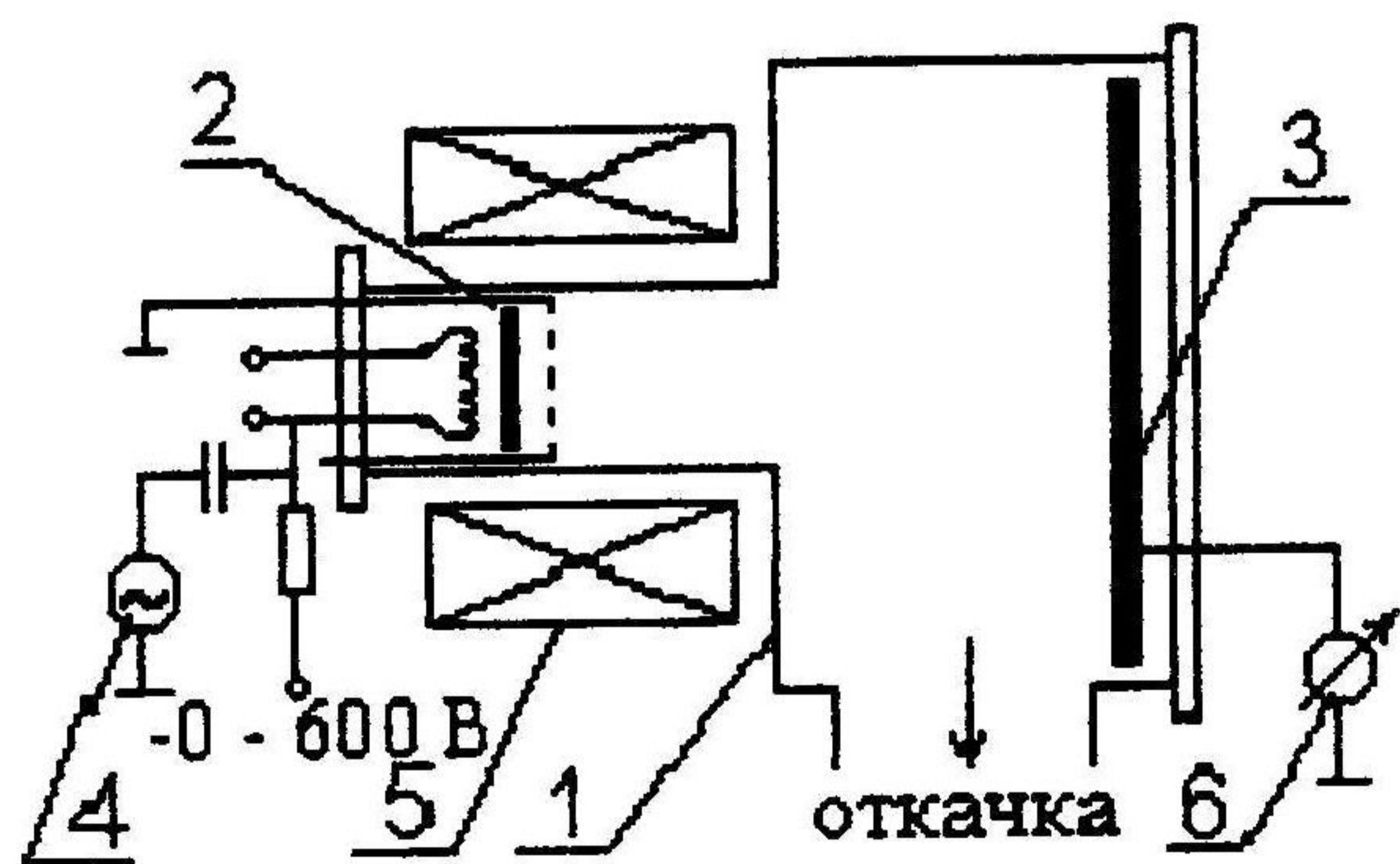


Рис.1. Схема экспериментальной установки.
1-вакуумная камера; 2- источник
электронов; 3-мишень; 4-генератор
модулирующего сигнала; 5-катушки
магнитного поля; 6-прибор для изме-
рения потенциала мишени.

Для пучково-плазменных систем с изолированным подложкодержателем – токоприёмником пучка в зависимости от энергии электронного пучка существуют два режима обработки поверхности заряженными частицами: ионный и электронный. Существование этих режимов определяется амбиполярным характером транспортировки заряженных частиц к изолированной поверхности. В стационарном режиме в каждой точке обрабатываемой поверхности сумма плотностей токов электронов, включая и вторичную эмиссию с поверхности, равна плотности ионного Бомовского тока из плазмы на поверхность: $j_e - \gamma_e j_e - \gamma_i j_i = j_i$, где j_e – плотность электронного тока на поверхность, $j_i = 0.4en\sqrt{T_e / m_i}$ (e – заряд электрона, n – плотность плазмы, T_e – температура электронов плазмы, m_i – средняя масса ионов плазмы), γ_e и γ_i – коэффициенты электрон-электронной и ион-электронной эмиссии плёнки. Эти режимы определяются немонотонной зависимостью коэффициента вторичной электрон-электронной эмиссии от энергии пучка. На Рис.2 приведена измеренная зависимость потенциала мишени и зависимость коэффициента электрон-электронной эмиссии [1] от энергии электронного пучка при плазменно-стимулированном газофазном осаждении углеродных алмазоподобных покрытий из плазмы циклогексана.

Ионный режим осаждения алмазоподобных плёнок реализуется при плотности тока электронного пучка $j_b > j_i(1 + \gamma_i) / (1 - \gamma_e)$ и $\gamma_e < 1$. Для низкоэнергетичных пучков это соответствует диапазону энергий пучка $\epsilon_b = 20 - 250$ эВ. В этом режиме у обрабатываемой поверхности возникает электрическое поле, тормозящее и отражающее часть электронного пучка, а также ускоряющее ионы плазмы к поверхности до энергий $\epsilon_i = \epsilon_b$. Ионный режим обработки аналогичен ионно-стимулированному осаждению алмазоподобных покрытий с компенсацией ионного потока низкоэнергетичными (после торможения в приповерхностном двойном слое до тепловых энергий) электронами пучка [2]. Этот режим соответствует отражательному пучково-плазменному разряду и характеризуется высокой эффективностью использования энергии пучка на образование плазмы рабочих веществ. Эффективность ионизации особенно велика при использовании продольного ведущего магнитного поля. В ионном режиме получены низкотемпературные поликристаллические широкозонные алмазоподобные плёнки.

Электронный режим осаждения углеродных плёнок реализуется при $j_b \leq j_i(1 + \gamma_i) / (1 - \gamma_e)$ и $\gamma_e \geq 1$ при $\epsilon_b > 250$ эВ. В этом режиме электрический двойной слой у поверхности отсутствует, а разность потенциалов плазма-поверхность

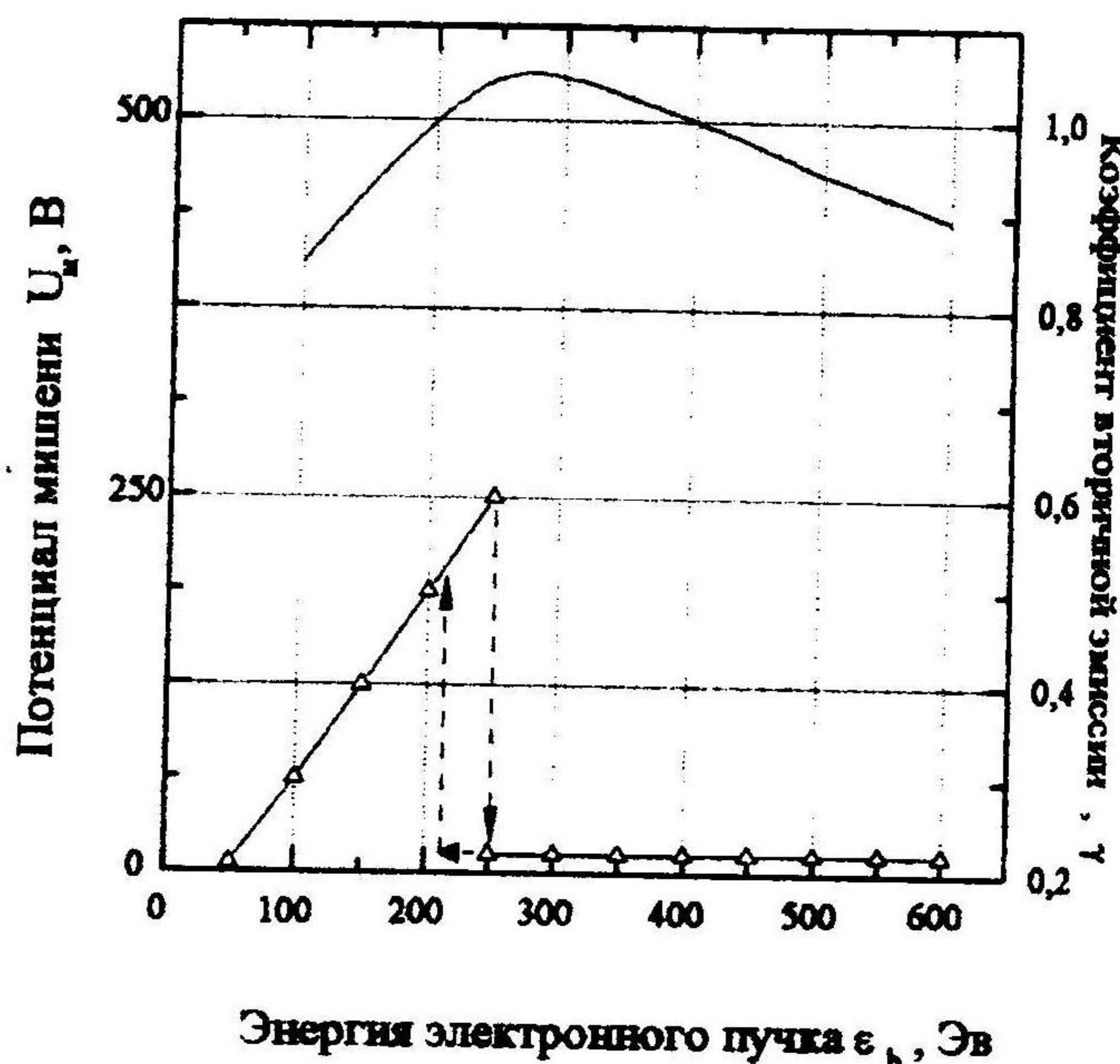


Рис.2. Зависимость потенциала мишени и зависимость коэффициента электрон-электронной эмиссии от энергии электронного пучка.

определяется температурой электронов плазмы $T_e = 3 - 20$ эВ. Энергия электронов, бомбардирующих поверхность соответствует энергии пучка ($\epsilon_b \gg T_e$), а энергия ионов $\epsilon_i \approx T_e$. Электронный режим соответствует электронно-стимулированному (в том числе и высокотемпературному) осаждению углеродных плёнок. В этом режиме при низких температурах подложек ($T < 200^\circ\text{C}$) получены полимерные и карбиновые покрытия, при высоких температурах подложек ($T > 500^\circ\text{C}$) – алмазоподобные плёнки.

Переход от ионного режима к электронному происходит пороговым образом

при энергии электронного пучка $\epsilon_b = 250$ эВ, соответствующей $\gamma_e \approx 1$. Устанавливая энергию электронного пучка меньше порогового значения и, изменяя с помощью генератора с небольшой глубиной модуляции энергию пучка можно получить смешанный режим осаждения покрытий, когда происходит ионная обработка чередующаяся с нагревом подложки электронным пучком. На Рис. 3 приведены осциллограммы сигнала модулирующего энергию электронного пучка (частота $f=1$ кГц) и осциллограмма потенциала мишени.

Видно, что в отрицательный полупериод модулирующего сигнала, когда энергия электронного пучка превышает 250 эВ, реализуется электронный режим, а в положительный полупериод, когда $\epsilon_b < 250$ эВ, реализуется ионный режим. Амплитуда модулирующего сигнала выбирается таким образом, чтобы смогло произойти переключение режимов, поскольку, как видно из Рис.2, переход от ионного режима к электронному при увеличении энергии электронного пучка и обратный переход при её уменьшении происходит при разных значениях энергии электронного пучка. Ширина гистерезиса увеличивается с увеличением плотности плазмы при росте рабочего давления. Система работает как усилитель с коэффициентом усиления по напряжению $K = U_M / U_{\text{мод}} = 10 - 100$, где U_M – потенциал мишени, $U_{\text{мод}}$ – амплитуда модулирующего сигнала.

При низких давлениях рабочего газа переход из режима в режим мог осуществляться самопроизвольно с частотой 0,1-10 МГц. Система работает как автогенератор, частота которого изменяется прямопропорционально току пучка, давлению газа и обратнопропорционально ёмкости подложкодержателя.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] И.М.Бронштейн, Б.С.Фрайман. "Вторичная электронная эмиссия". М.: Наука, 1969, стр. 340.
- [2] Елинсон. В.М., Слепцов В.В., Дмитриев С.Н. Техническое оборудование и материалы. №2, февраль 1998, стр. 42 – 43.

• А.А.Бизюков и др.
Особенности газофазного осаждения покрытий...

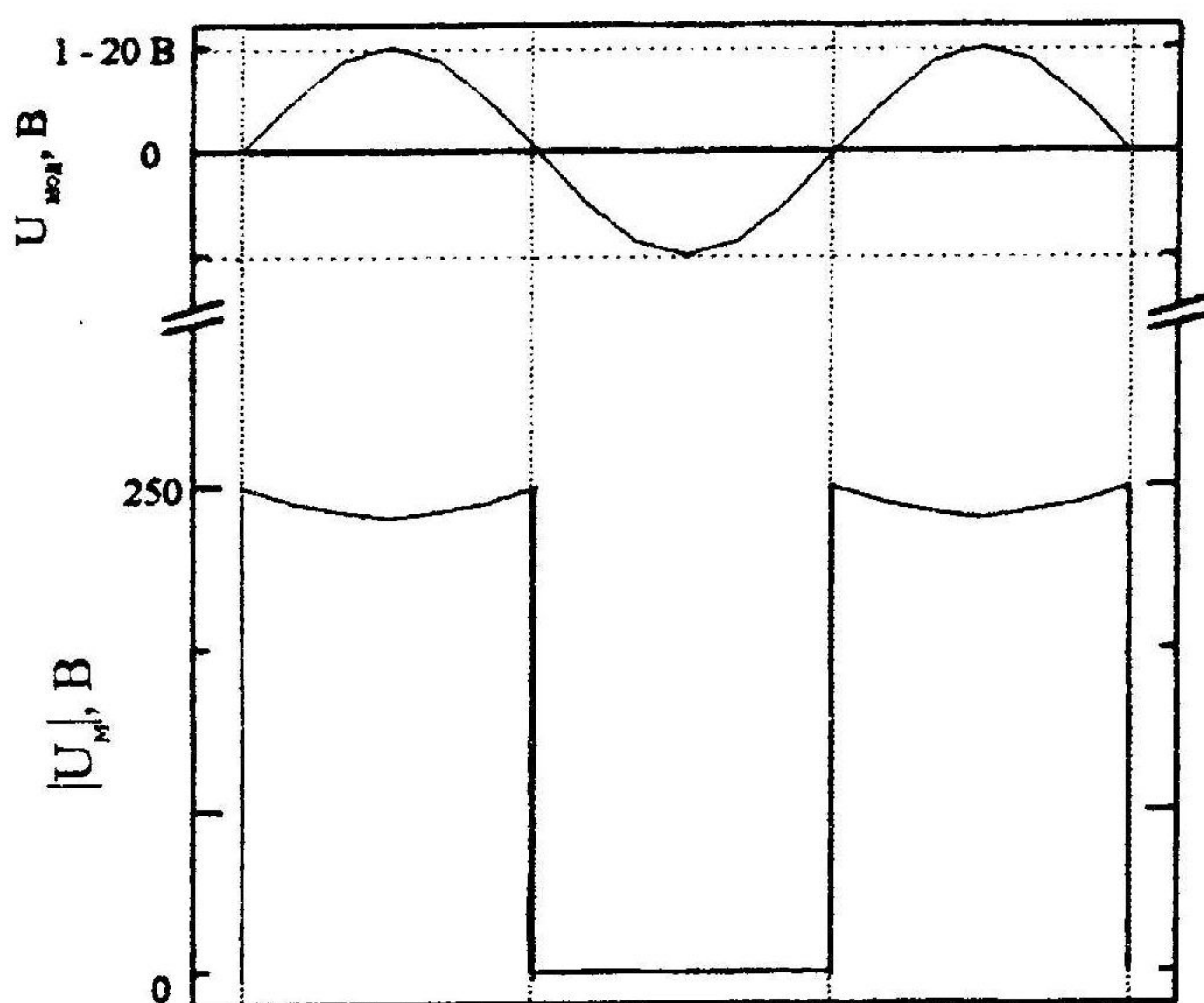


Рис.3. Осциллограмма модулирующего сигнала и осциллограмма потенциала мишени.