

МОДИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПЫЛЕНИЯ С УЧЕТОМ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ ПОВЕРХНОСТНЫМИ АТОМАМИ МИШЕНИ

А.Ф. Вяткин, А.Н. Пустовит
ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия
pustan@iptm.ru

$$Y_{\text{exp}} = \frac{n}{N_t} = \frac{n}{N_{\text{inv}} + N_{\text{ref}}} = \frac{n}{N_{\text{inv}} \left(1 + \frac{N_{\text{ref}}}{N_{\text{inv}}} \right)} = G \times Y \quad G = \frac{N_{\text{inv}}}{N_t} \quad Y = \frac{n}{N_{\text{inv}}} \quad R_{Ns} = \frac{N_{\text{ref}}}{N_t} = 1 - G \quad d' = d \cos \beta$$

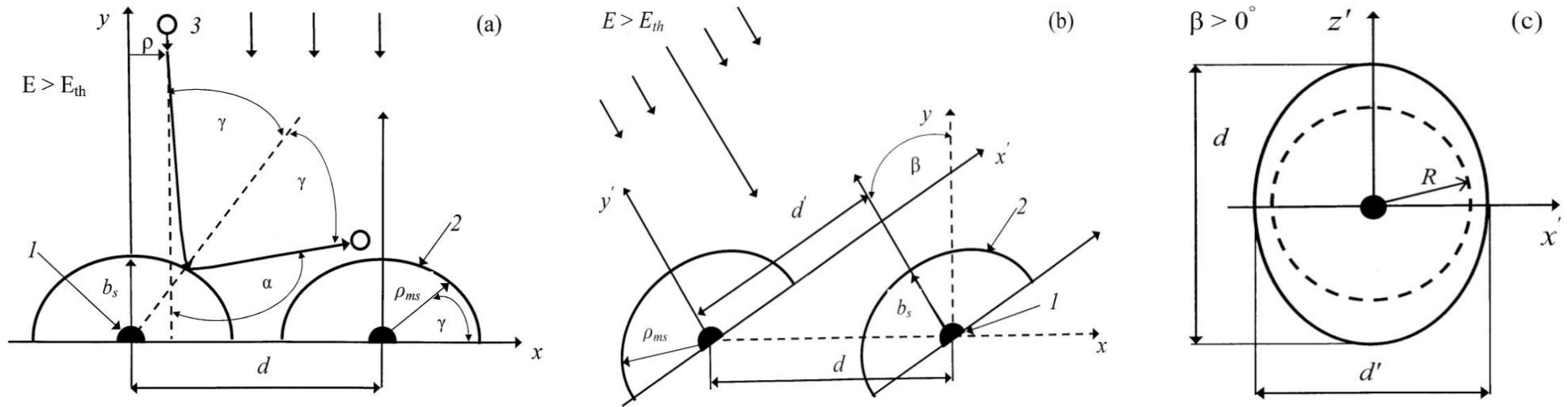


Рис. 1: (а) – рассеяние иона (3) поверхностным атомом мишени (2) при нормальном падении
первичного пучка;

(b) – изменение геометрии системы ион-атом при наклонном падении ионного пучка под углом β ;

(с) – поперечное сечение вершины конуса затенения в плоскости $x'z'$ для иона с прицельным параметром ρ и $\beta > 0$.

1 – атом мишени, 2 - вершина конуса затенения, 3 - ион. Оси z и z' перпендикулярны плоскости рисунка для систем xu и $x'u'$ соответственно.

1. A.N. Pustovit // Vacuum, 2024, 229, 113550.
2. A.N. Pustovit, J. Surf. Invest.: X-ray, Synchrotron Neutron Tech., **15**, S204 (2021).
3. A.N. Pustovit, Tech. Phys. Lett., 49 (1), 28 (2023).

$$U(r) = Z_1 Z_2 q^2 \frac{k_s}{sa} \left(\frac{a}{r} \right)^s$$

где Z_1, Z_2 - атомные номера иона и атома мишени, q – заряд электрона, $k_s = [(s - 1) / e]^{s-1}$, s - показатель степени, $a = 0.8853a_0$ ($Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3}$)^{-1/2} - длина экранирования, a_0 - радиус Бора

$$G = \frac{N_{inv}}{N_t} = 1 - \frac{1}{2 \cos \beta} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{s}} \right)^2 \left(\frac{Z_1 Z_2 q^2 k_s}{sa E_0} \right)^{2/s} \left(\frac{a}{d} \right)^2$$

где $E_0 = m_2 E / (m_1 + m_2)$ - относительная энергия частиц, m_1 и m_2 – массы иона и атома мишени.

Целью данной работы было:

- 1) изучить влияние параметров, входящих в корректирующий коэффициент G (E и β), на его значение;
- 2) проанализировать возможные изменения в экспериментальных результатах при учете коэффициента G , т. е. исследовать зависимости $Y_{exp}(E)/G(E)$ и $Y_{exp}(\beta)/G(\beta)$.

$$E_{th}(\beta) = \frac{E_{th}(0^\circ)}{\cos^{s/2} \beta}$$

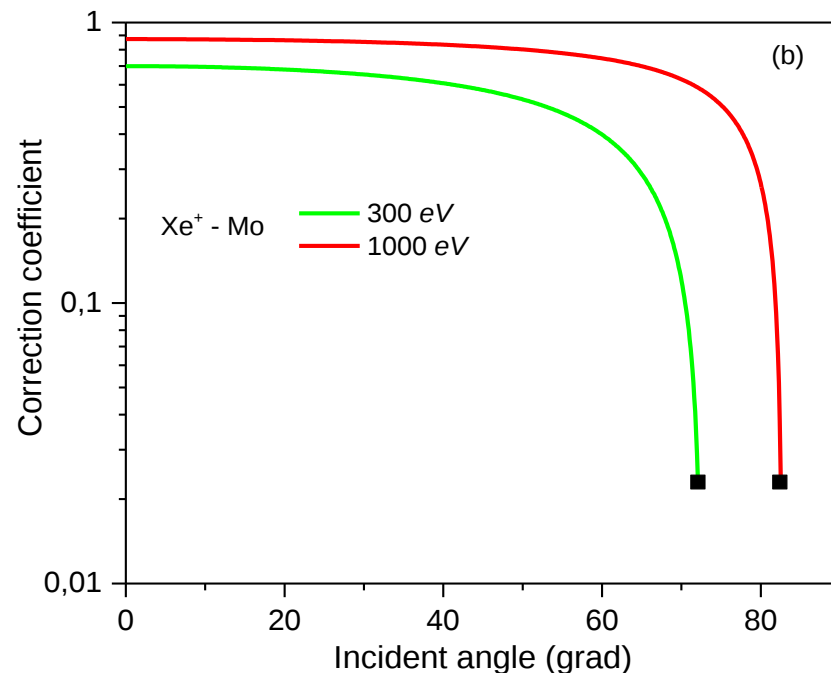
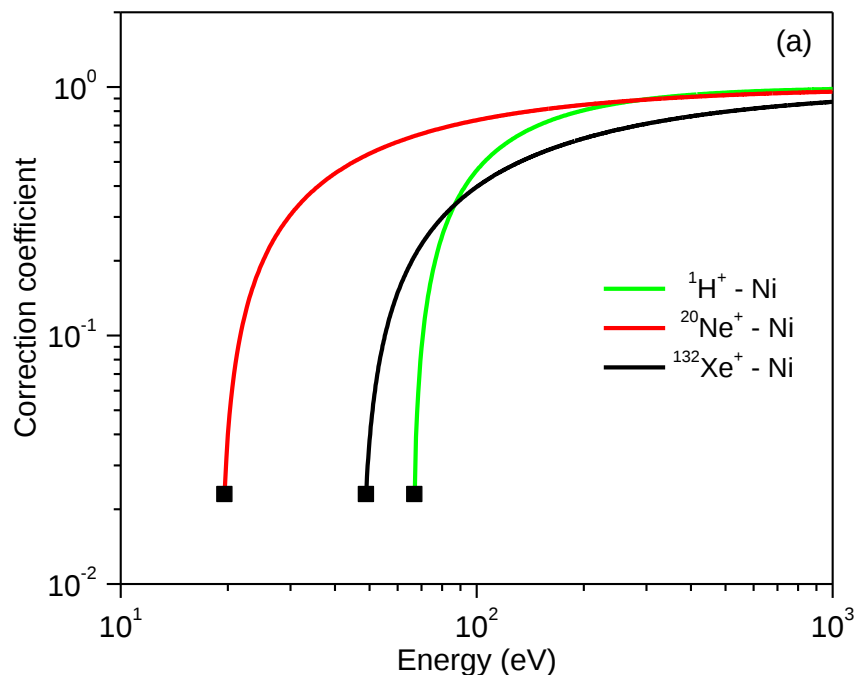


Рис. 2. Зависимости G :

(а) - энергетическая зависимость для систем $\text{H}^+ - \text{Ni}$ (зеленая линия), $\text{Ne}^+ - \text{Ni}$ (красная линия), $\text{Xe}^+ - \text{Ni}$ (черная линия) при нормальном падении ионов;

(б) - угловая зависимость для системы $\text{Xe}^+ - \text{Mo}$ при энергии ионов 300 эВ (зеленая линия) и 1000 эВ (красная линия).

Черные квадраты соответствуют $G[E_{th}(\beta)] = 0,023$ при $Y_{\text{exp}} = Y = 0$ для (а) и (б).

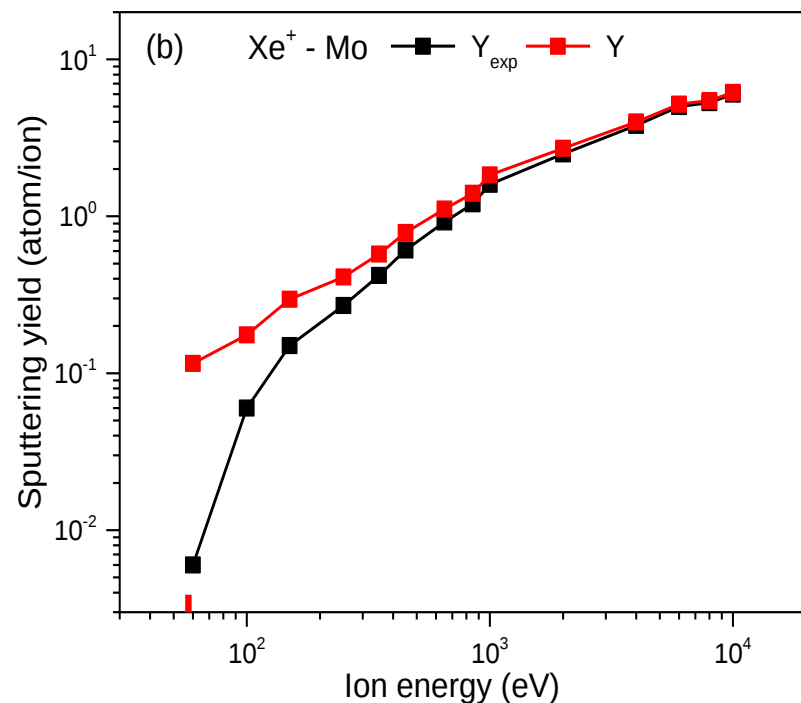
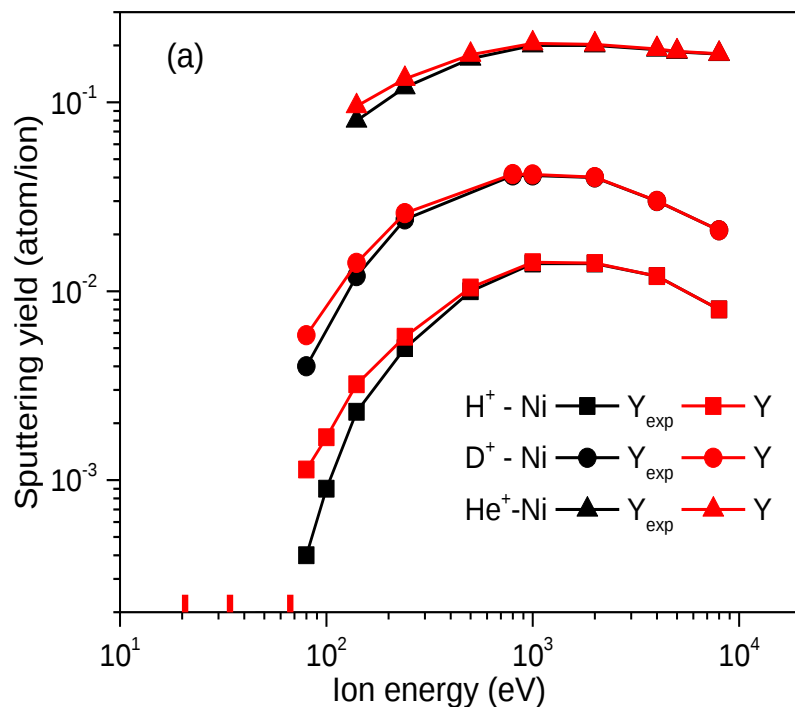


Рис. 3 Энергетические зависимости экспериментальной и скорректированной SY для пар (а) H^+ , D^+ , $He^+ - Ni$ и (б) $Xe^+ - Mo$. Экспериментальные данные (черные цифры) равны (а) [4], (б) [5]. Значения $E_{th}(0^\circ)$ отмечены координатами (красными метками) на оси энергий: для H^+ , D^+ , He^+ с Ni (3а) 66,8, 34,12 и 20,67 эВ соответственно, а для $Xe^+ - Mo$ (3б) 57,54 эВ.

4. J. Bohdansky, Nuclear Fusion, 24(S1):S9, January, 61 (2011).

5. R. Behrisch, W. Eckstein, "Sputtering by Particle Bombardment: Experiments and Computer Calculations from Threshold to MeV Energies," January 2007.

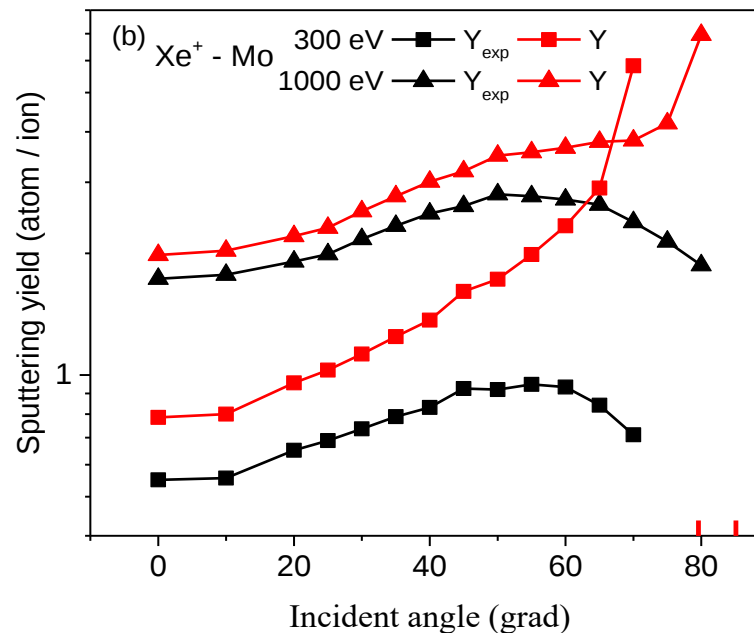
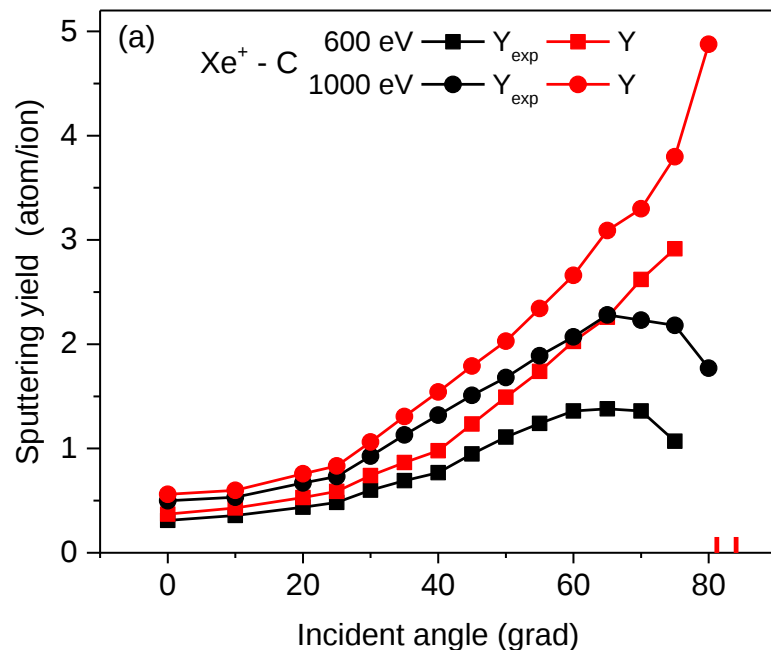


Рис. 4. Угловые зависимости экспериментальной и скорректированной SY для пар (а) $\text{Xe}^+ - \text{C}$ и (б) $\text{Xe}^+ - \text{Mo}$. Энергии ионов Xe^+ равны: (а) 600 эВ (квадраты) и 1 кэВ (круги), (б) 300 эВ (квадраты) и 1 кэВ (треугольники). Экспериментальные данные (черные цифры) равны (а) [5], (б) [6].

5. R.D. Kolasinski, J.E. Polk, D. Goebel, L.K. Johnson, Appl. Surf. Sci. **254**, 2506 (2008).

6. R.D. Kolasinski, J.E. Polk, D. Goebel, L.K. Johnson, J. Vac. Sci. Technol. A, **25** (2), 236 (2007).

Выводы

1. Установлено, что параметры, входящие в G (E и β), значительно влияют на значение корректирующего коэффициента. Особенно сильные изменения G наблюдаются в областях $E < 500$ эВ и $\beta > 40^\circ$.
2. Показано, что учет коэффициента G приводит к изменению экспериментальных результатов коэффициента распыления Y_{exp} , особенно значительных в областях $E < 500$ эВ и $\beta > 40^\circ$.
3. На конкретных примерах показано, что предложенный в работе подход применим как в области $m_1/m_2 > 1$, так и в области $m_1/m_2 < 1$.

Спасибо за внимание