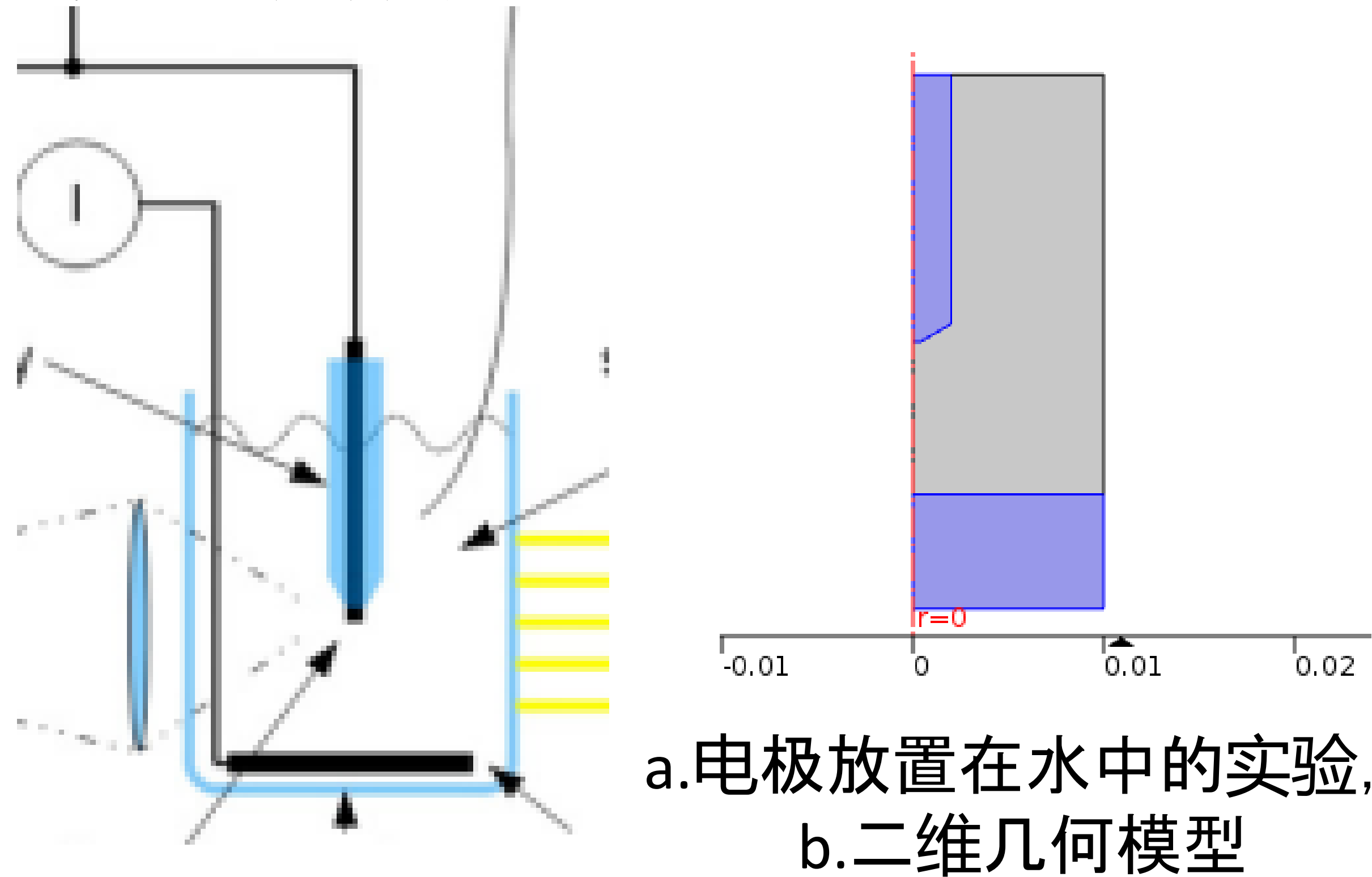


基于COMSOL的水中等离子电弧放电的分析

詹怡怡¹, 唐文虎²

1.广州航海学院, 广东, 广州 2.华南理工大学, 广东, 广州

简介:在过去的二三十年中, 液体燃烧电弧被用来制造纳米碳结构。该方法利用电弧空间中存在的碳蒸气作为电极腐蚀的结果, 在存在高温梯度的区域迅速冷却时形成碳纳米管和富勒烯。碳结构的形成速率和结构取决于等离子体环境和形成机制两个方面。此模型, 旨在利用电化学模块来计算电极腐蚀, 考虑到电弧辐射对水蒸发的贡献以及碳和水蒸气之间的化学反应。



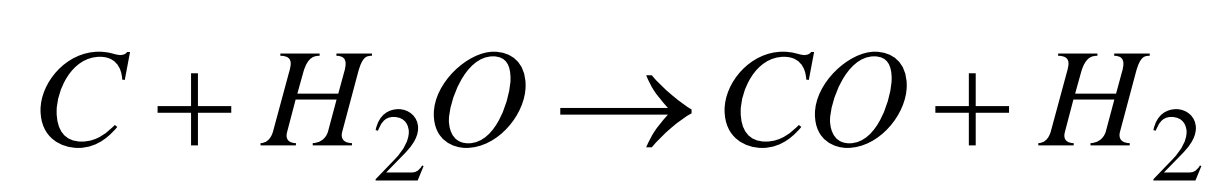
a. 电极放置在水中的实验, b. 二维几何模型

Governing equations:

$$\frac{\partial \rho C_x}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} C_x) - \nabla \cdot (\rho D \nabla C_x) = S_x$$

Equation	ϕ	Γ	S
Mass	1	0	0
z-momentum	w	μ_l	$-\partial P / \partial z + (J \times B)_z + \text{viscous terms}$
r-momentum	v	μ_l	$-\partial P / \partial r - (J \times B)_r + \text{viscous terms}$
Enthalpy	h	k_l / c_p	$\sigma E^2 - q + dP / dt + \text{viscous dissipation}$
Carbon	C_m	ρD	0

整个工艺是瞬态变化的过程, 在腐蚀过程中, 阴极边界一直在移动, 表示沉积过程的演化。此模型中定义了质量守恒和电中性条件, 其中质量守恒涉及以下离子: 碳离子、氢离子和氢氧根离子。这会产生三个未知数和三个模型方程, 其中的因变量为碳离子、氢离子和氢氧根离子。附加变量则用来追踪网格的变形



$$C_w = 1 - C_1 - C_3 - C_5$$

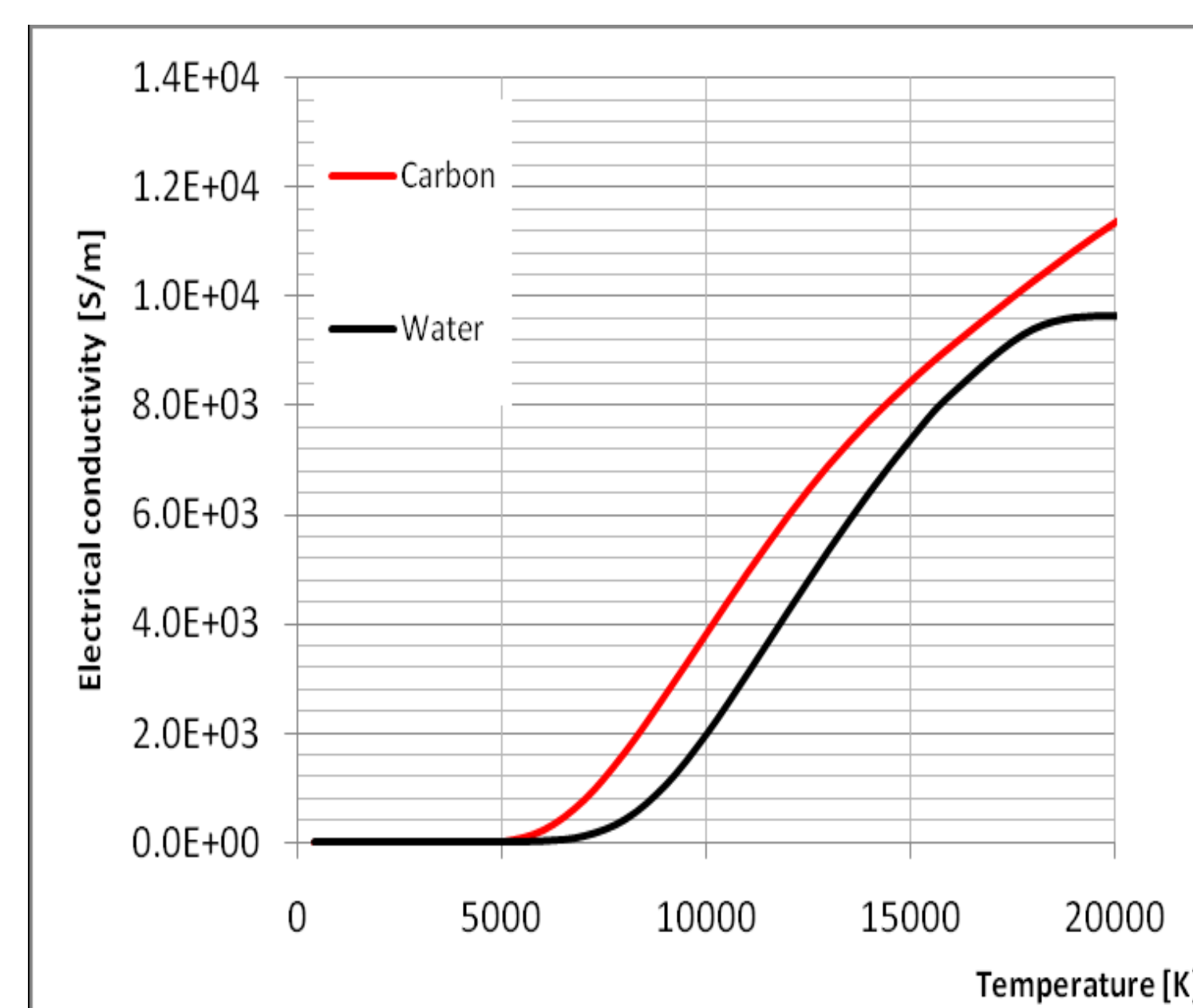


图 2. 边界条件

结果:

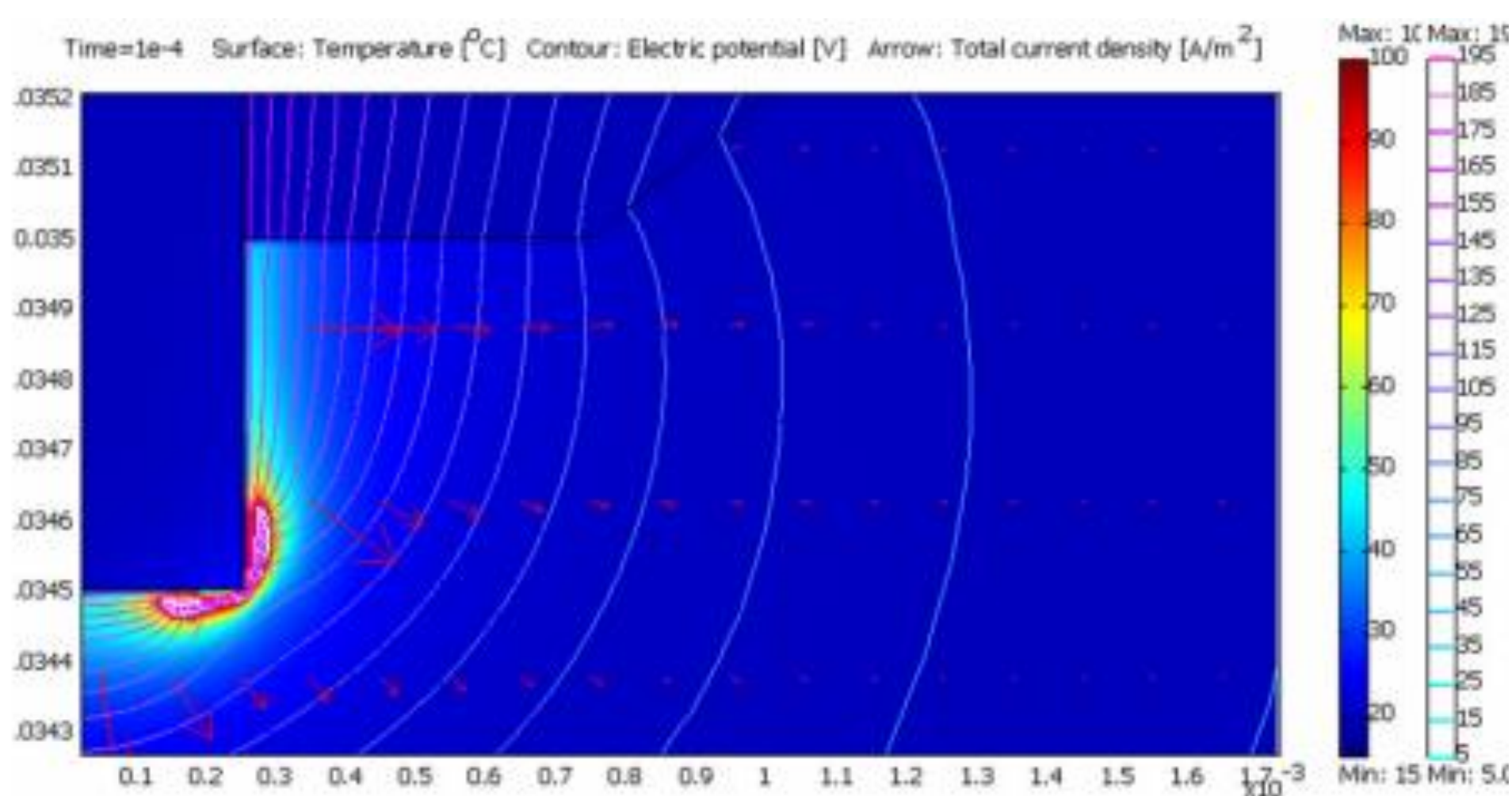


图 3. 温度流线

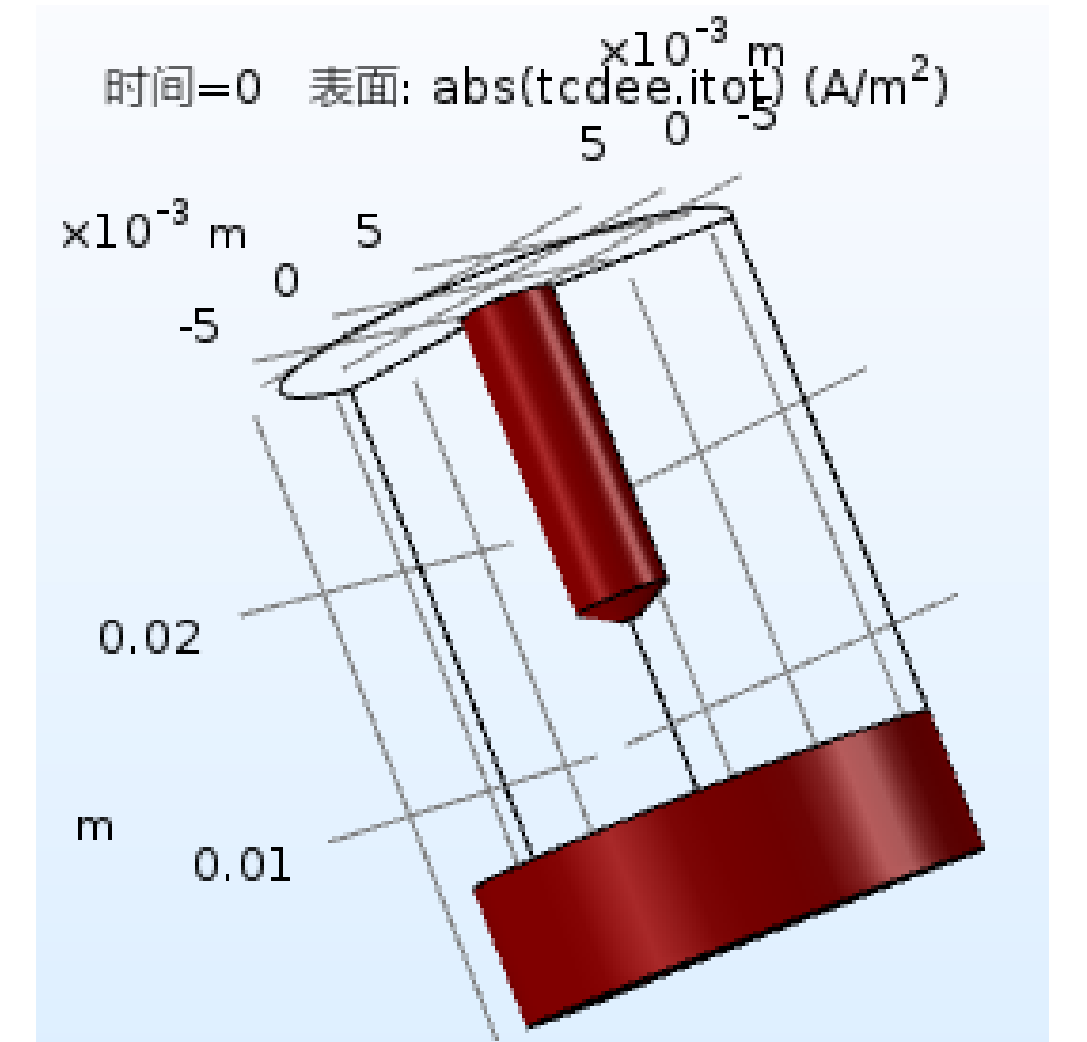


图 4. 电流密度

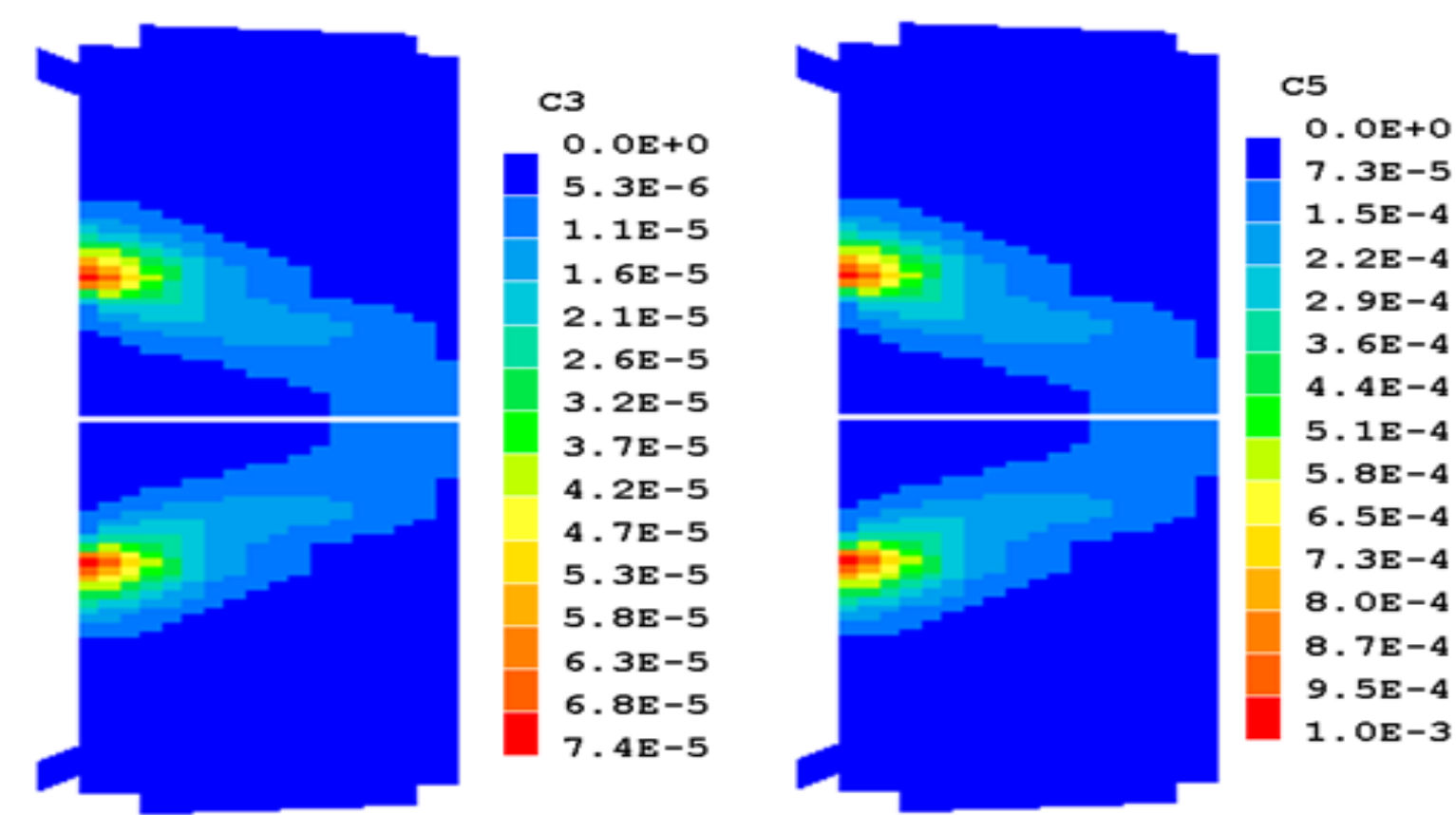


图 5. 阴极沉积

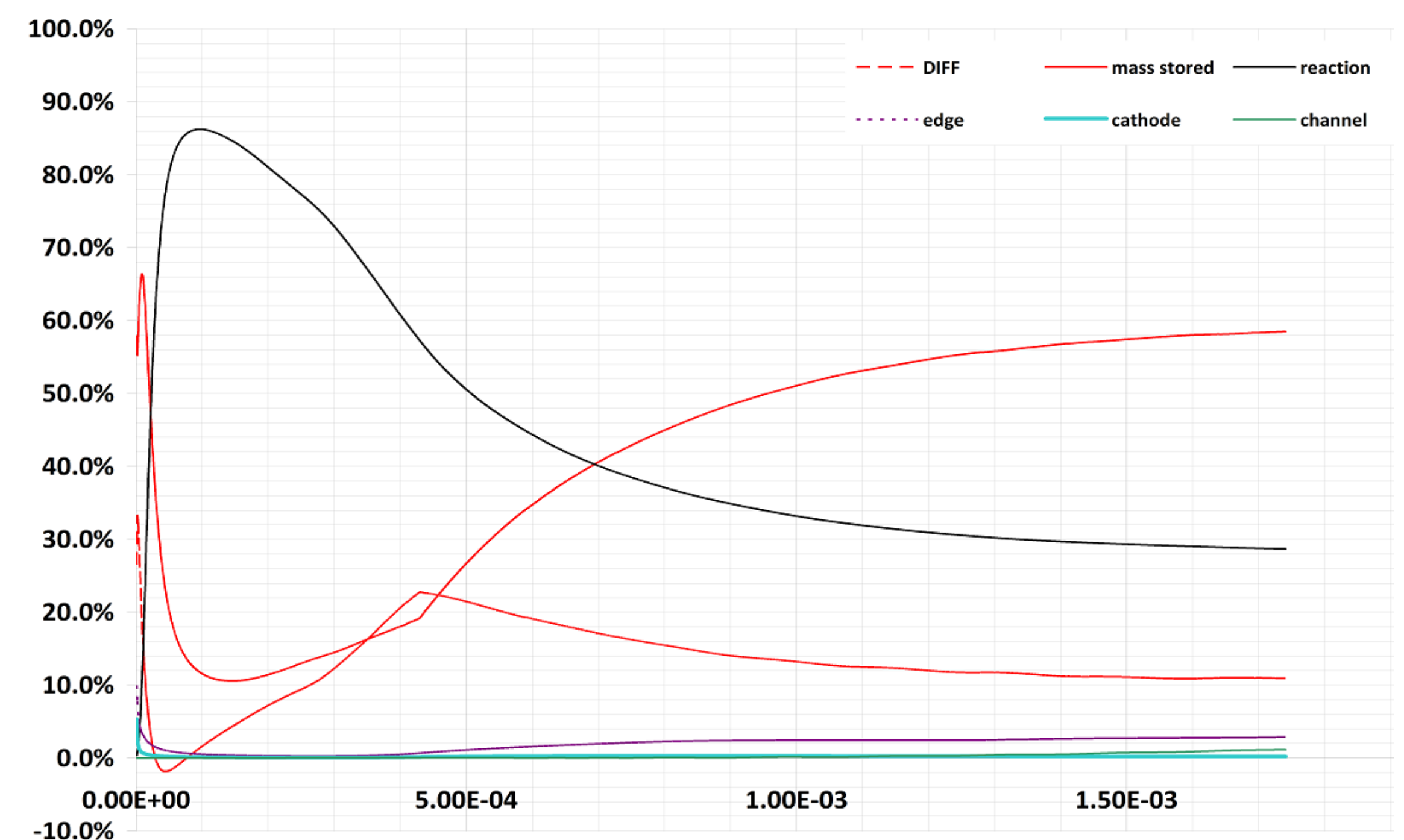


图 5. 浓度分布曲线图

结论:建立了在液态水中限制碳弧的动态电弧模型, 考虑到气泡内部和大气中的水蒸发和压力差。电弧气体是由阳极腐蚀产生的碳蒸气通量提供的。结果表明, 该模型预测气泡的生长时间是毫秒级的, 这也是电弧电压稳定的时间常数。考虑到阴极电位降, 我们预测的弧柱电压在期望范围内。由于上述原因, 目前的工作没有直接模拟碳颗粒的形成。然而, 由于碳结构的形成, 碳颗粒的损失被考虑在内。还考虑了碳蒸气和水蒸气之间的化学反应来研究相关物种的浓度分布。

参考文献:

- 1 L. Schaper et al Plasma Sources Sci. Technol. 20(2011) 034003
- 2 Sano N., Wang H., Alexandrou I., Chhowalla M., Teo K. B. K. and Amaratunga G. A. J., "Properties of carbon onions produced by an arc discharge in water", Journal of Applied Physics, Vol. 92, No. 5, pp. 2783-2788, 2002
- 3 Lange H., Sioda M., Huczko A., Zhu Y. Q., Kroto H. W. and Walton D. R. M., "Nanocarbon production by arc discharge in water", Carbon, Vol. 41, pp. 1617-1623, 2003