

**МГУ имени М.В.Ломоносова**

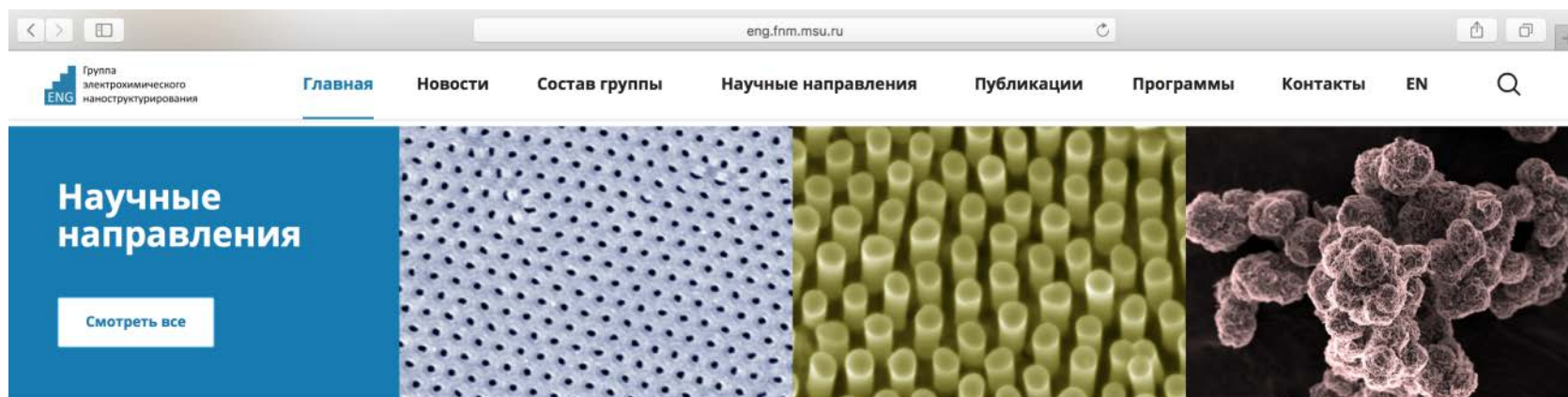
**Научные направления,  
развиваемые в группе  
электрохимического  
наноструктурирования**

**К.С. Напольский**

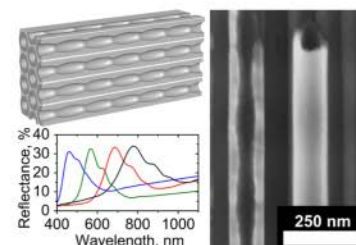
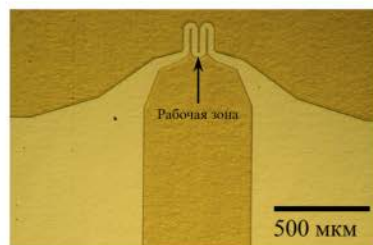
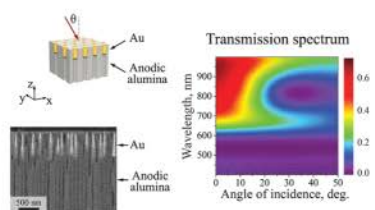
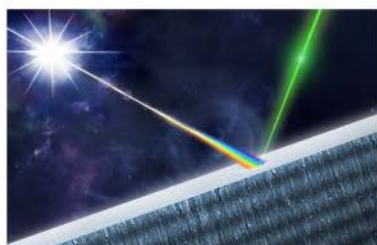
# Группа электрохимического наноструктурирования

Лаборатории: Ц01А (каф. эл-химии), 549, 556 (каф. неорг. химии) ХФ МГУ

Сайт в интернете: [eng.fnm.msu.ru](http://eng.fnm.msu.ru)



## Новости

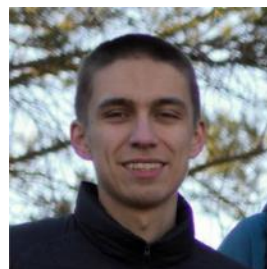
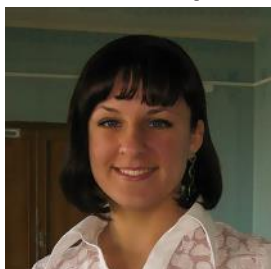


# Состав группы

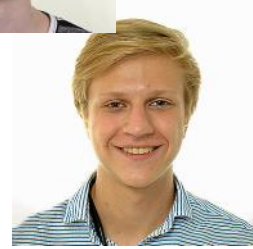
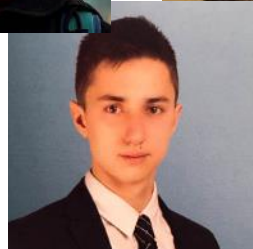
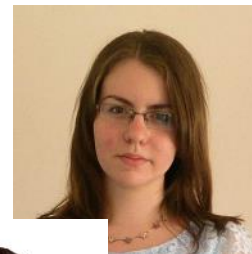
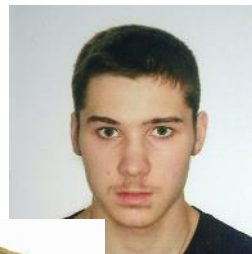
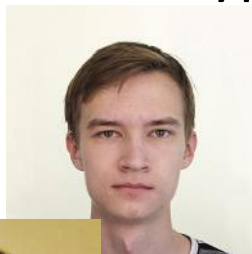
5 кандидатов химических наук



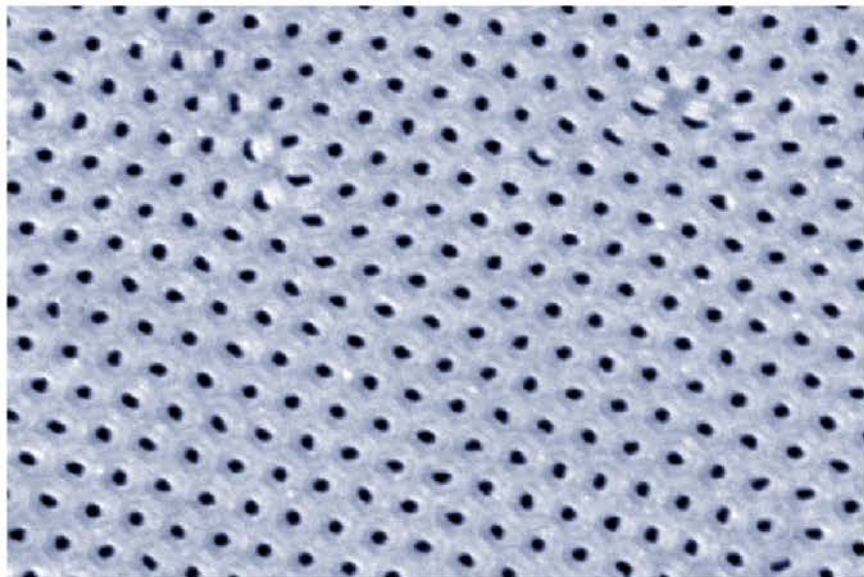
4 аспиранта



3 студента 5-6 курсов, 13 студентов 1-3 курсов ФНМ и ХФ МГУ

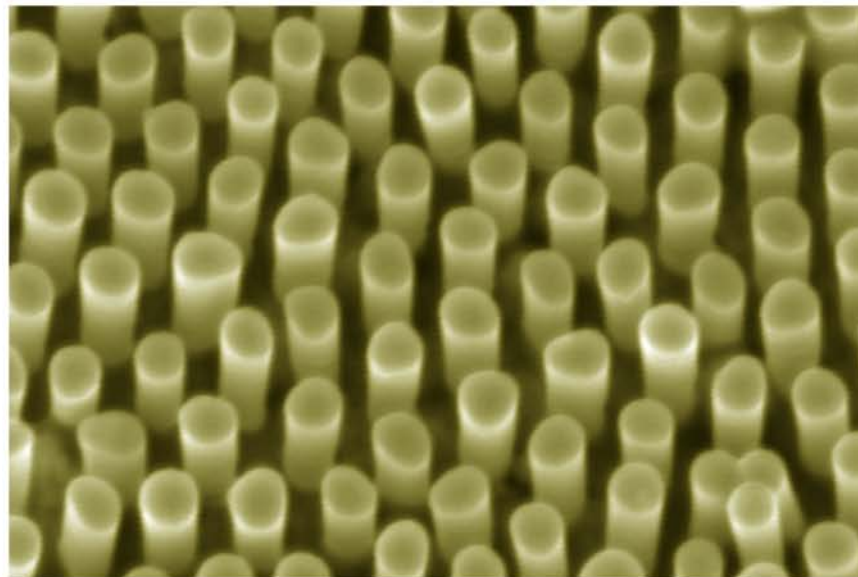


# Научные направления



Пористые плёнки анодных оксидов вентильных металлов

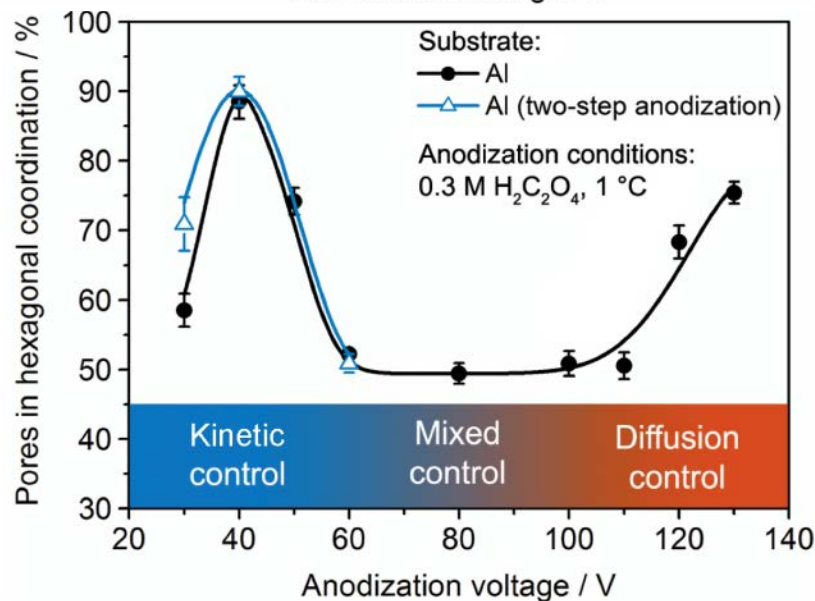
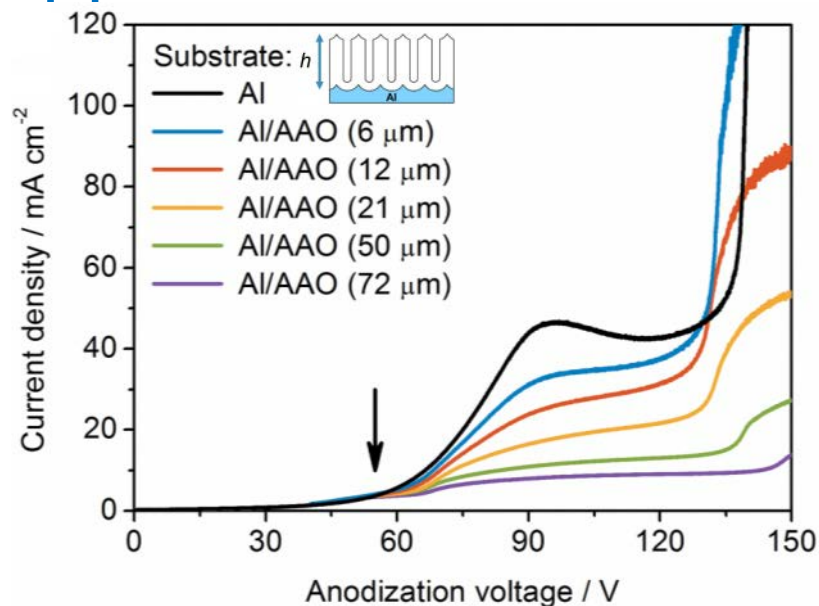
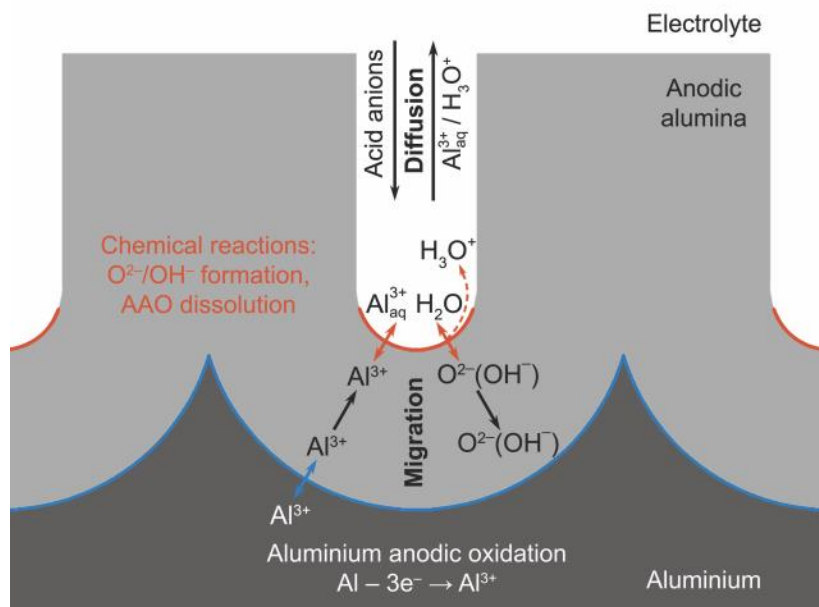
- получение пористых плёнок анодного оксида алюминия с упорядоченной структурой
- создание 1D фотонных кристаллов на основе анодных оксидов алюминия и титана



Металлические нанонити

- получение единичных нанонитей для задач сверхпроводящей микроэлектроники
- создание гиперболических метаматериалов на основе массива нанонитей

# Самоупорядочение пористой структуры анодного оксида алюминия



I.V. Roslyakov, E.O. Gordeeva, K.S. Napolskii,  
Electrochim. Acta 241 (2017) 362.

# Самоупорядочение пористой структуры



Группа электрохимического наноструктурирования

Группа электрохимического наноструктурирования

Химический факультет МГУ  
Москва, Ленинские горы, 1,  
стр. 3

+7 (916) 23-23-829  
Заказать звонок

Главная

Новости

Состав группы

Научные направления

Публикации

Программы

Контакты

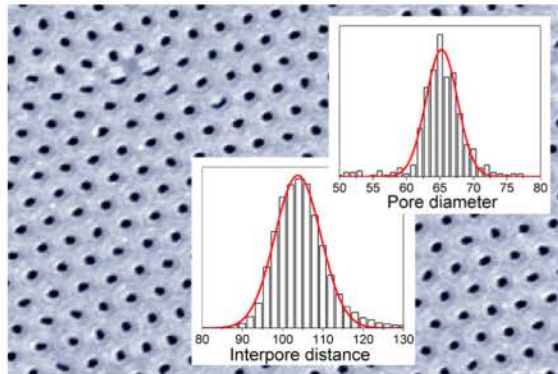
EN



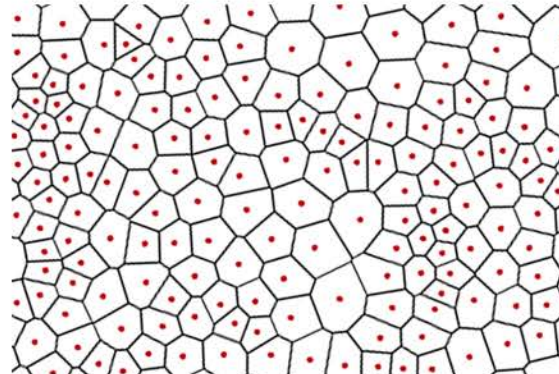
## Программы

Главная > Программы

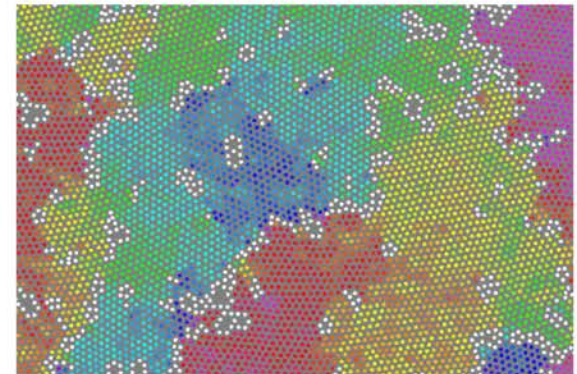
[Все проекты](#)   [Статистический анализ изображений](#)   [Алгоритм Вороного](#)   [Алгоритм цветовой кодировки](#)



Статистический анализ изображений



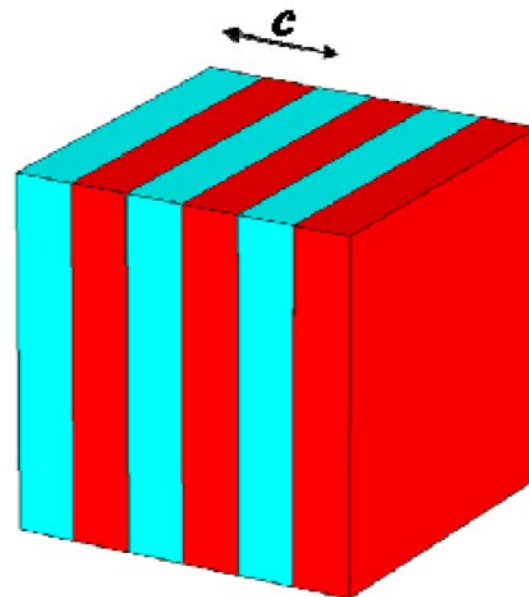
Алгоритм Вороного



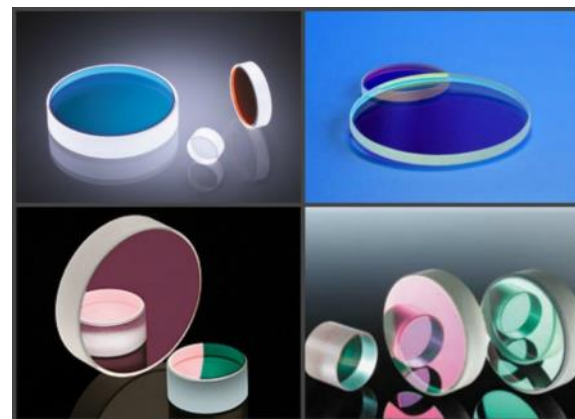
Алгоритм цветовой кодировки

# Создание 1D фотонных кристаллов

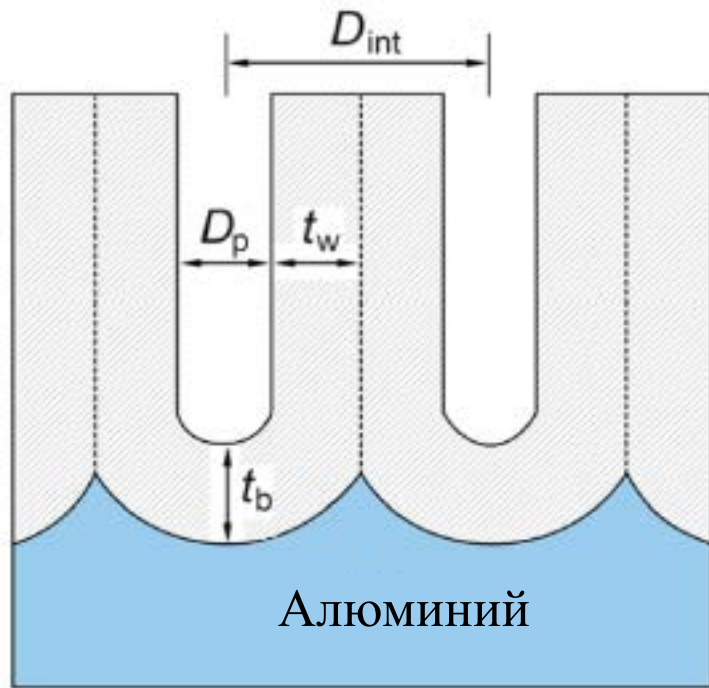
1. S.E. Kushnir, T.Yu. Pchelyakova, K.S. Napolskii, Anodizing with voltage versus optical path length modulation: a new tool for the preparation of photonic structures // **Journal of Materials Chemistry C**, 2018, v. 6(45), pp. 12192–12199.
2. S.E. Kushnir, K.S. Napolskii. Thickness-dependent iridescence of one-dimensional photonic crystals based on anodic alumina // **Materials & Design**, 2018, v. 144, pp. 140–150.
3. N.A. Sapoletova, S.E. Kushnir, K.S. Napolskii. Anodic titanium oxide photonic crystals prepared by novel cyclic anodizing with voltage versus charge modulation // **Electrochemistry Communications**, 2018, v. 91, pp. 5–9.
4. A.I. Sadykov, S.E. Kushnir, I.V. Roslyakov, A.E. Baranchikov, K.S. Napolskii. Selenic acid anodizing of aluminium for preparation of 1D photonic crystals // **Electrochemistry Communications**, 2019, submitted.



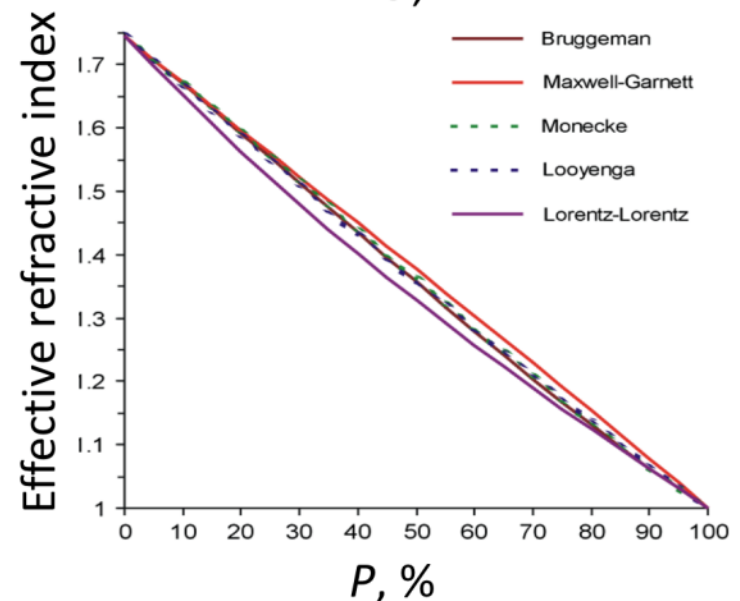
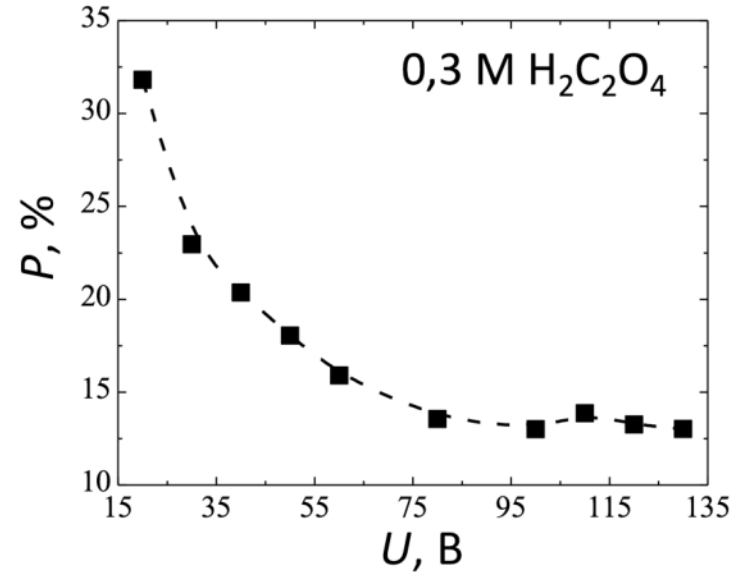
1-D



# Создание 1D фотонных кристаллов



$$n_{eff} = \sqrt{n_{Al_2O_3}^2 - P(n_{Al_2O_3}^2 - n_{air}^2)}$$



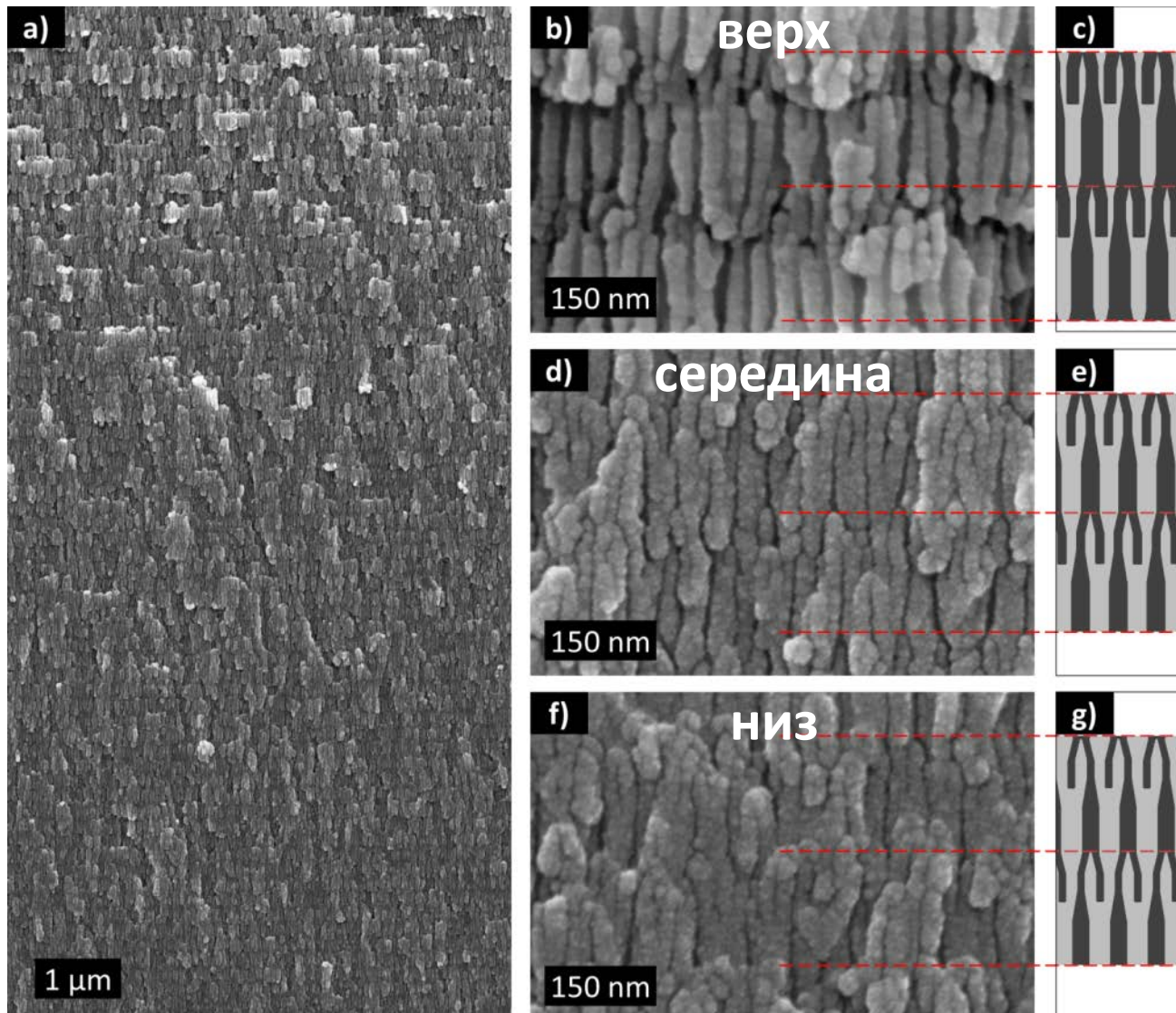
W. Lee, S.-J. Park, Chem. Rev. 114 (2014) 7487.

G.D. Sulka, K. Hnida, Nanotechnology. 23 (2012) 075303.

Е.О. Гордеева и др., Электрохимия, 54 (2018) 999.



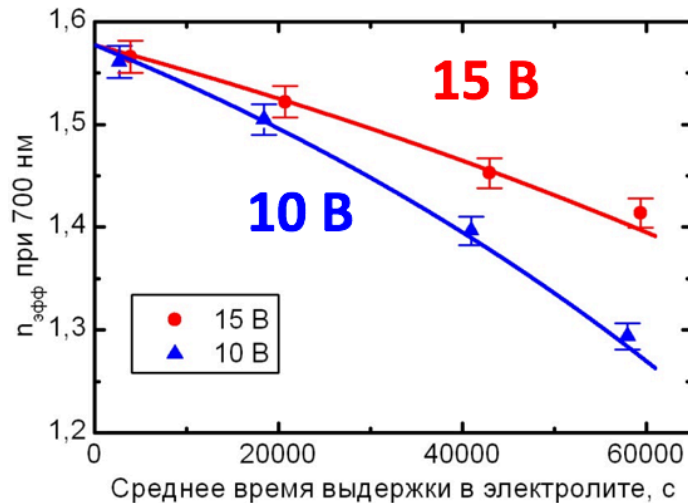
# Создание 1D фотонных кристаллов



*Стенки пор медленно растворяются в электролите анодирования*

# Создание 1D фотонных кристаллов

Анодирование Al в 2 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при температуре 2 °С



$$p = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left( \frac{D_p}{D_{int}} \right)^2$$

$p$  – пористость

$D_p$  – диаметр поры

$D_{int}$  – расстояние между центрами пор

$$p(U, t) = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left( \frac{k_{Dp} U + 2vt}{k_{Dint} U} \right)^2$$

Скорость растворения стенок пор

$k_{Dp}$  и  $k_{Dint}$  – коэффициенты пропорциональности между напряжением и  $D_p$  и  $D_{int}$

$$n_{AAO}(\lambda) = \sqrt{n_{Al_2O_3}^2(\lambda) - (n_{Al_2O_3}^2(\lambda) - n_{air}^2(\lambda))p}$$

Показатель преломления:

$$n_{AAO}(\lambda) = \sqrt{n_{Al_2O_3}^2(\lambda) - (n_{Al_2O_3}^2(\lambda) - n_{air}^2(\lambda)) \times \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left( \frac{k_{Dp} U + 2vt}{k_{Dint} U} \right)^2}$$

Толщина:

$$h = (5.03U + 434.11) \times Q/S$$

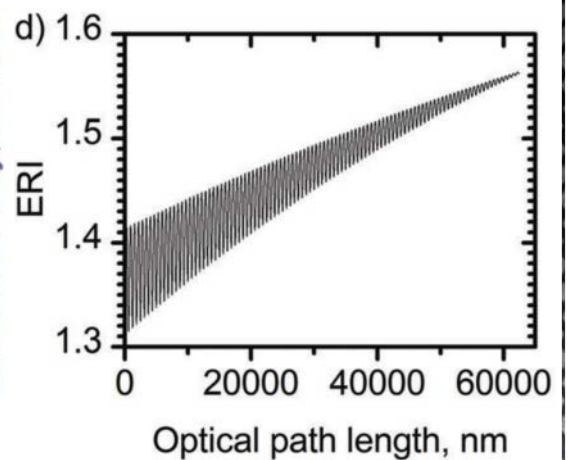
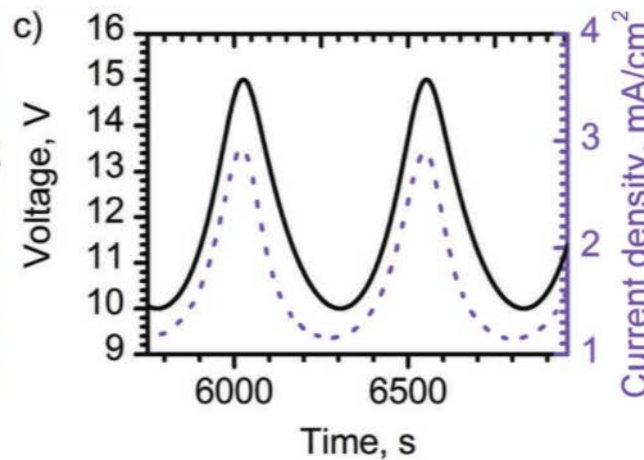
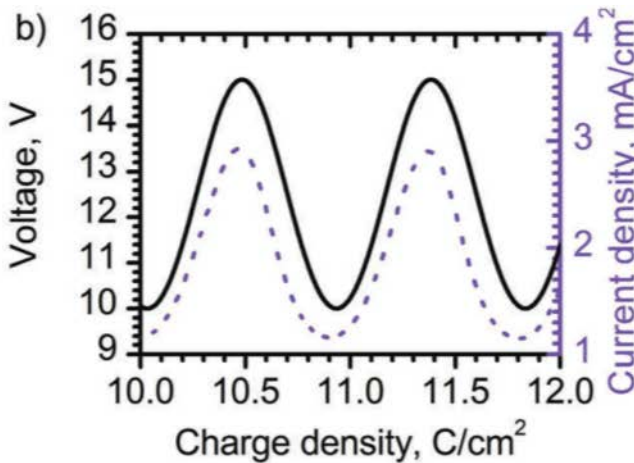
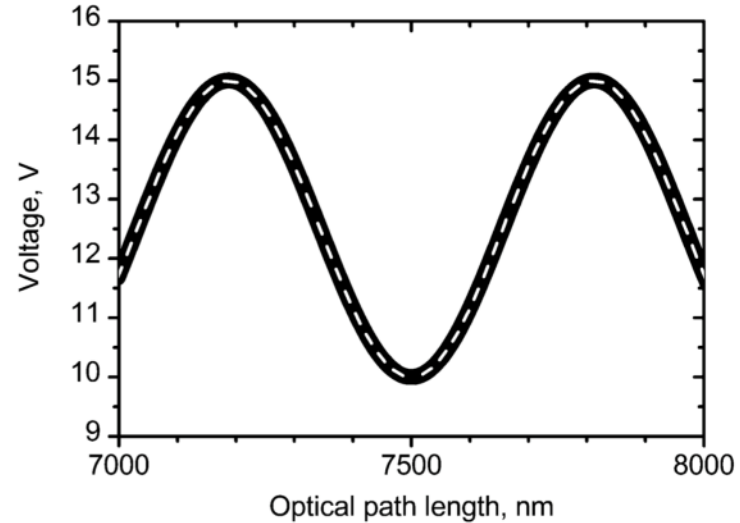
Скорость растворения  $v$ :

$$(65 \pm 3) \cdot 10^{-6} \text{ нм/с}$$

# Создание 1D фотонных кристаллов

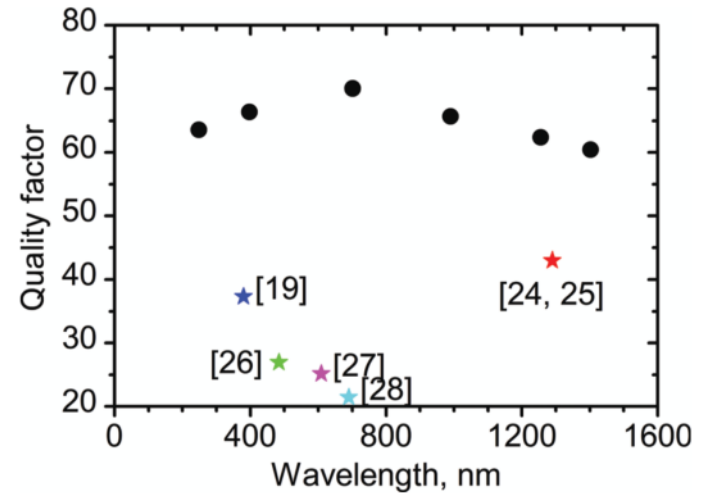
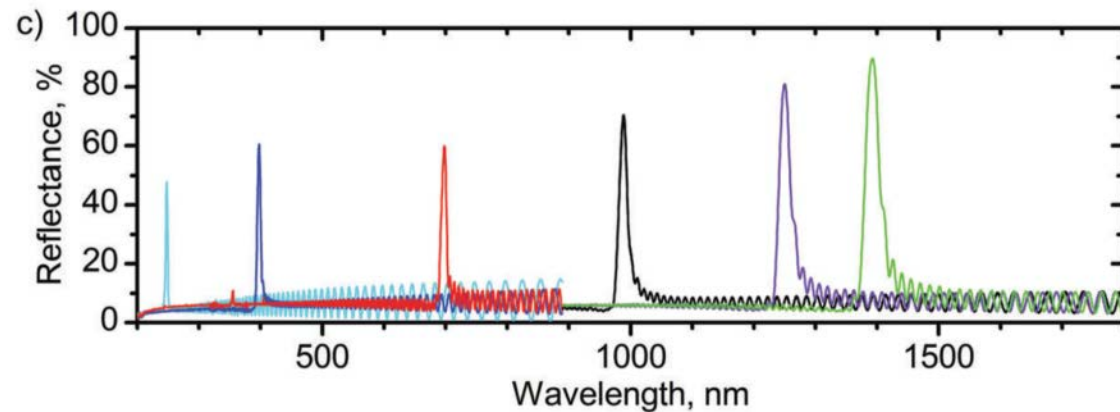
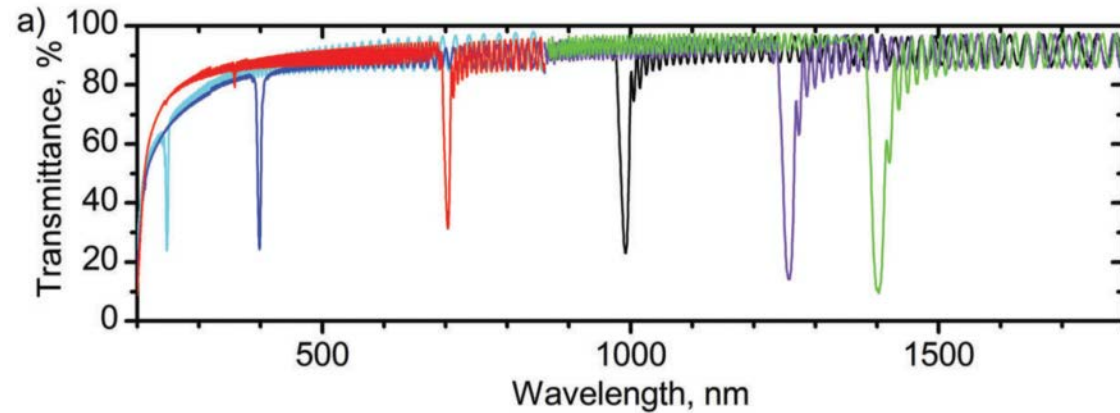
$$U \rightarrow I(t) \rightarrow Q(t) \rightarrow H(t) \rightarrow L$$

$$U(L) = 12.5 + 2.5 \cdot \sin\left(\frac{2\pi L}{L_0} - \pi\right)$$



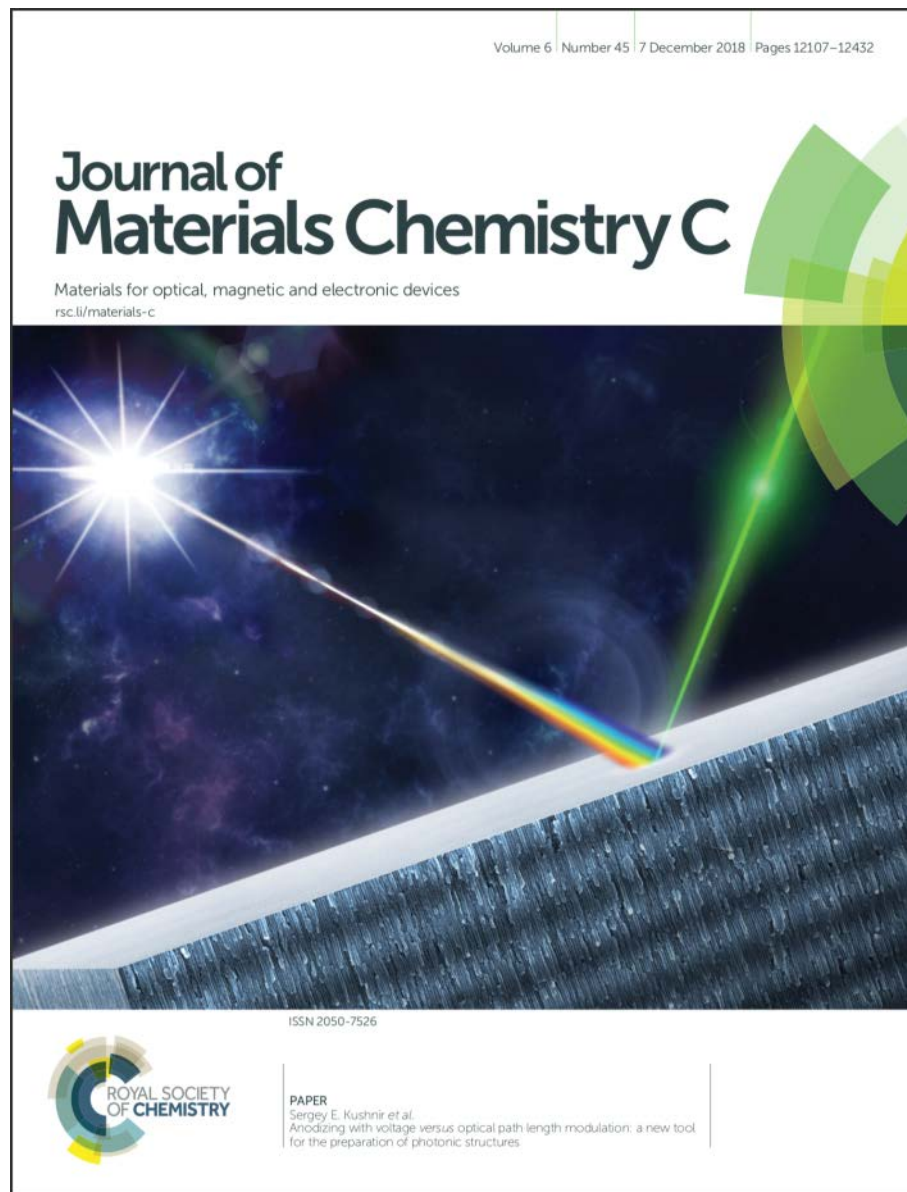
# Создание 1D фотонных кристаллов

$$\lambda = 2L$$



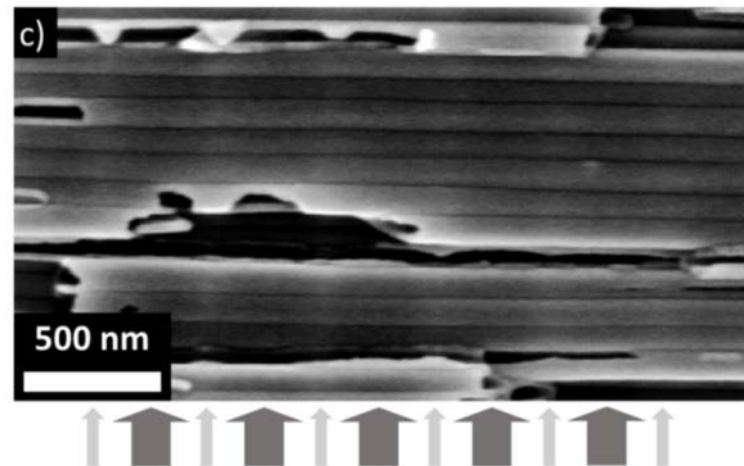
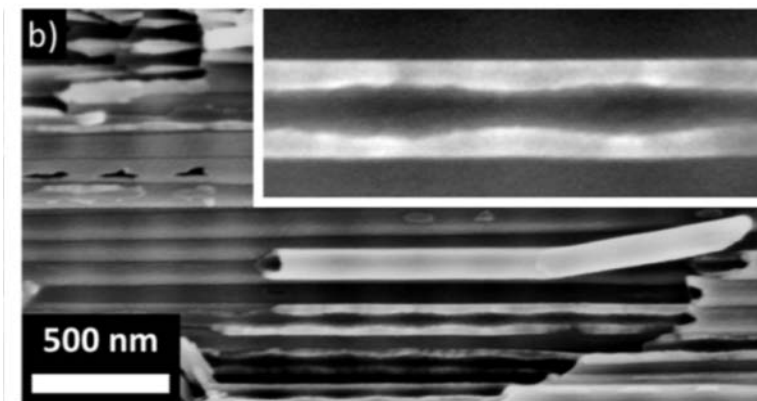
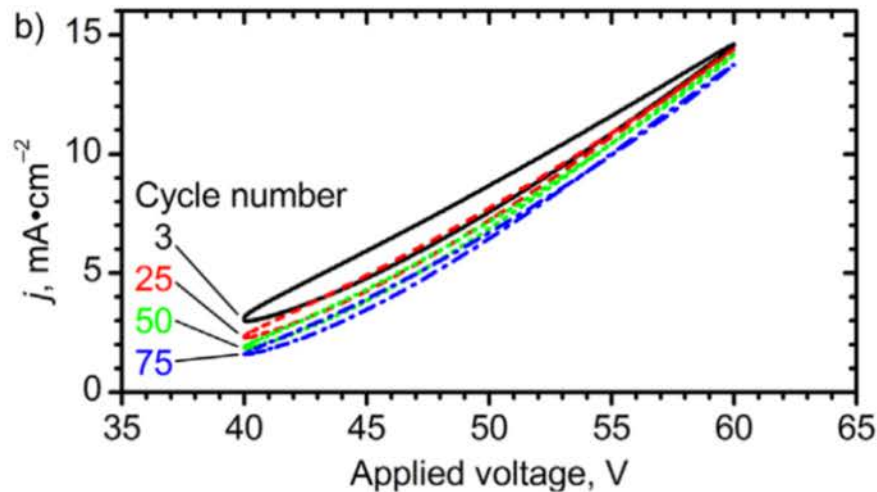
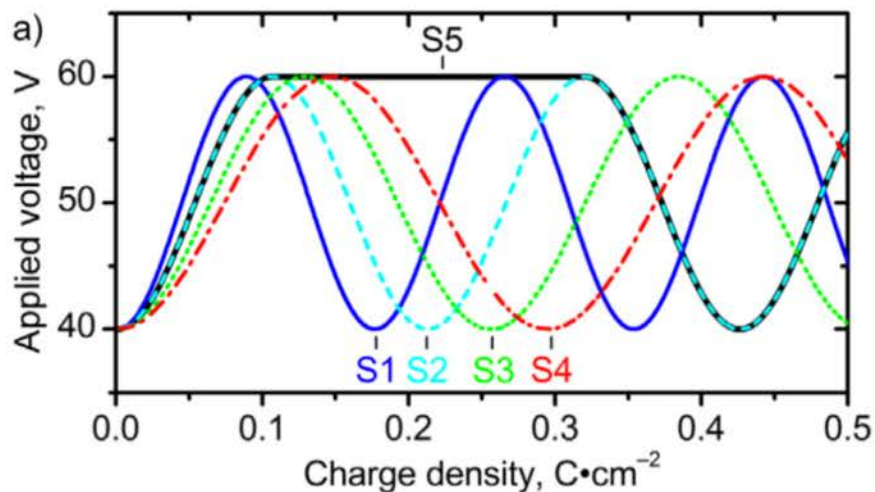
**Погрешность задания положения фотонных запрещённых зон не превышает 1%, добротность ФЗЗ существенно превышает известные аналоги**

# Создание 1D фотонных кристаллов



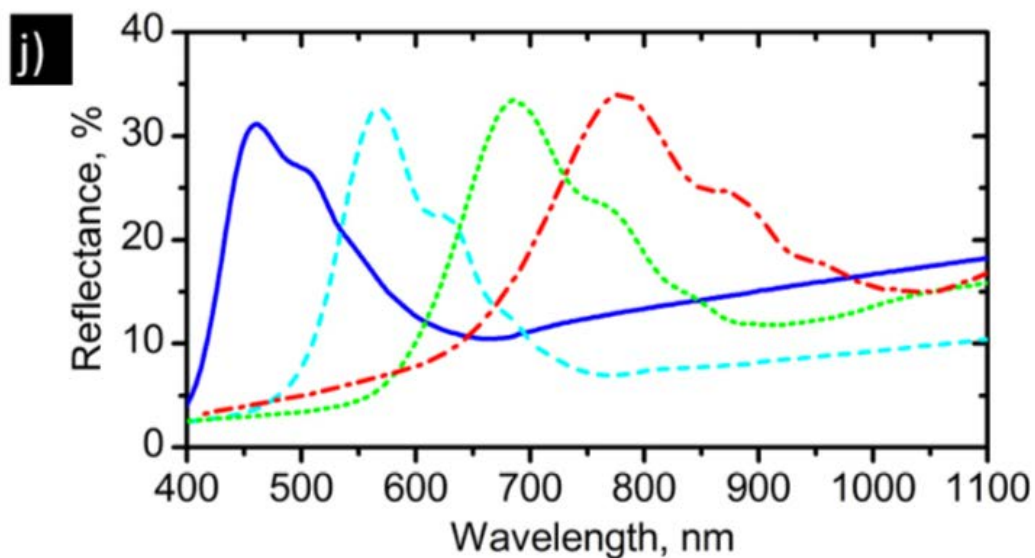
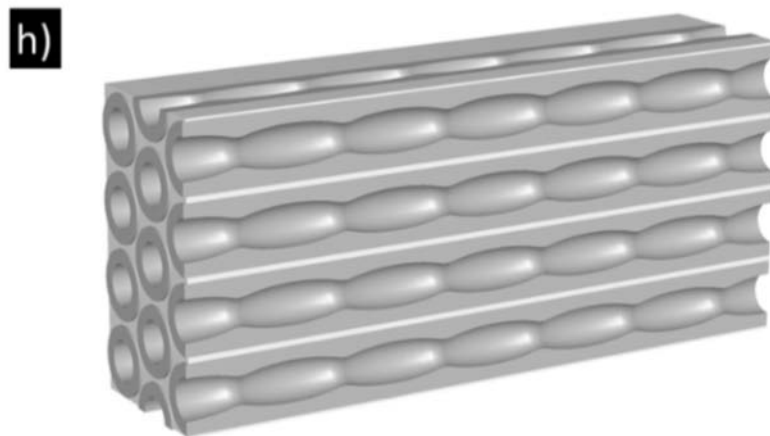
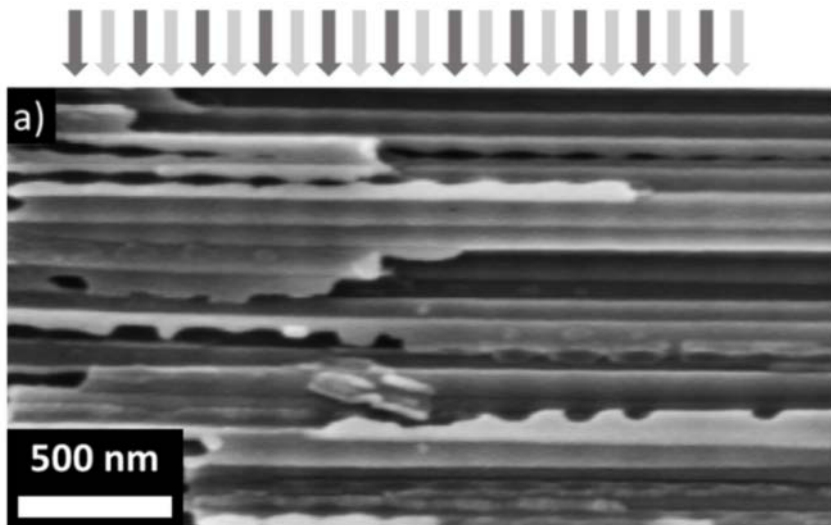
# Создание 1D фотонных кристаллов ( $\text{TiO}_2$ )

Анодирование Ti в 0.3 wt%  $\text{NH}_4\text{F}$ , 0.66 wt%  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , 2 wt%  $\text{H}_2\text{O}$  при температуре 30 °C



N.A. Sapoletova, S.E. Kushnir, K.S. Napolskii. Anodic titanium oxide photonic crystals prepared by novel cyclic anodizing with voltage versus charge modulation // **Electrochemistry Communications**, 2018, v. 91, pp. 5–9.

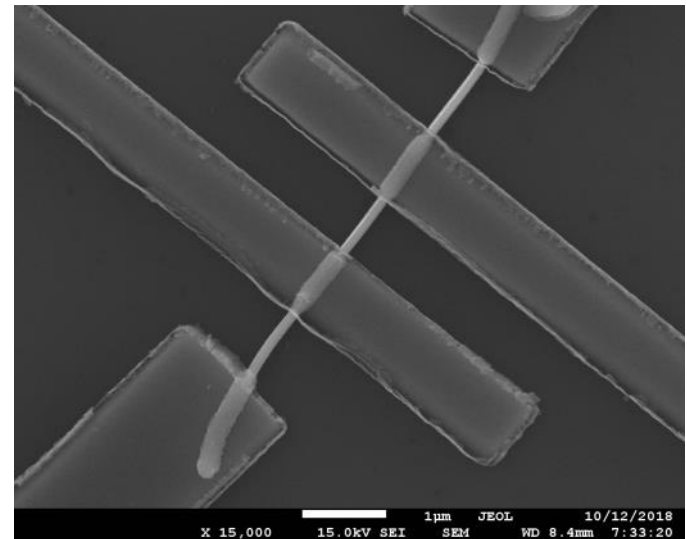
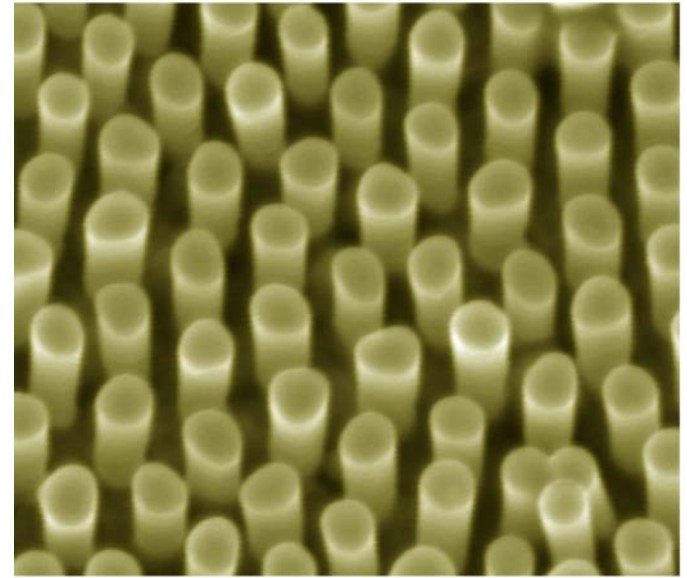
# Создание 1D фотонных кристаллов ( $\text{TiO}_2$ )



N.A. Sapoletova, S.E. Kushnir, K.S. Napolskii. Anodic titanium oxide photonic crystals prepared by novel cyclic anodizing with voltage versus charge modulation // **Electrochemistry Communications**, 2018, v. 91, pp. 5–9.

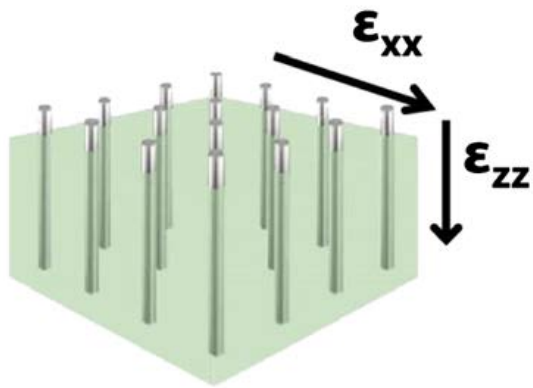
# Темплатное электроосаждение нанонитей

1. I.A. Kolmychek, A.R. Pomozov, A.P. Leontiev, K.S. Napolskii, T.V. Murzina. Magneto-optical effects in hyperbolic metamaterials // **Optics Letters**, 2018, v. 43(16), pp. 3917–3920.
2. A.R. Pomozov, I.A. Kolmychek, V.B. Novikov, A.P. Leontiev, K.S. Napolskii, T.V. Murzina. Second harmonic generation in hyperbolic metamaterials // **Journal of Physics**, 2018, 1092, 012058.
3. А.Р. Помозов, И.А. Колмычек, Е.А. Ганьшина, О.Ю. Волкова, А.П. Леонтьев, К.С. Напольский, Т.В. Мурзина. Оптические эффекты в магнитных гиперболических метаматериалах // **ФТТ**, 2018, т. 60, стр. 2224 – 2228.
4. O. Skryabina, S. Kozlov, S. Egorov, A. Klimenko, V. Ryazanov, S. Bakurskiy, M. Kupriyanov, N. Klenov, I. Soloviev, A. Golubov, K. Napolskii, I. Golovchansky, D. Roditchev, V. Stolyarov. Anomalous magneto-resistance of Ni-nanowire / Nb hybrid system // **Nanoscale**, 2019, submitted.
5. S. Kozlov, O. Skryabina, S. Egorov, I. Golovchanskiy, A. Klimenko, K. Napolskii, V. Stolyarov. Magnetoresistance of a single polycrystalline nickel nanowire // **Journal of Applied Physics**, 2019, submitted.

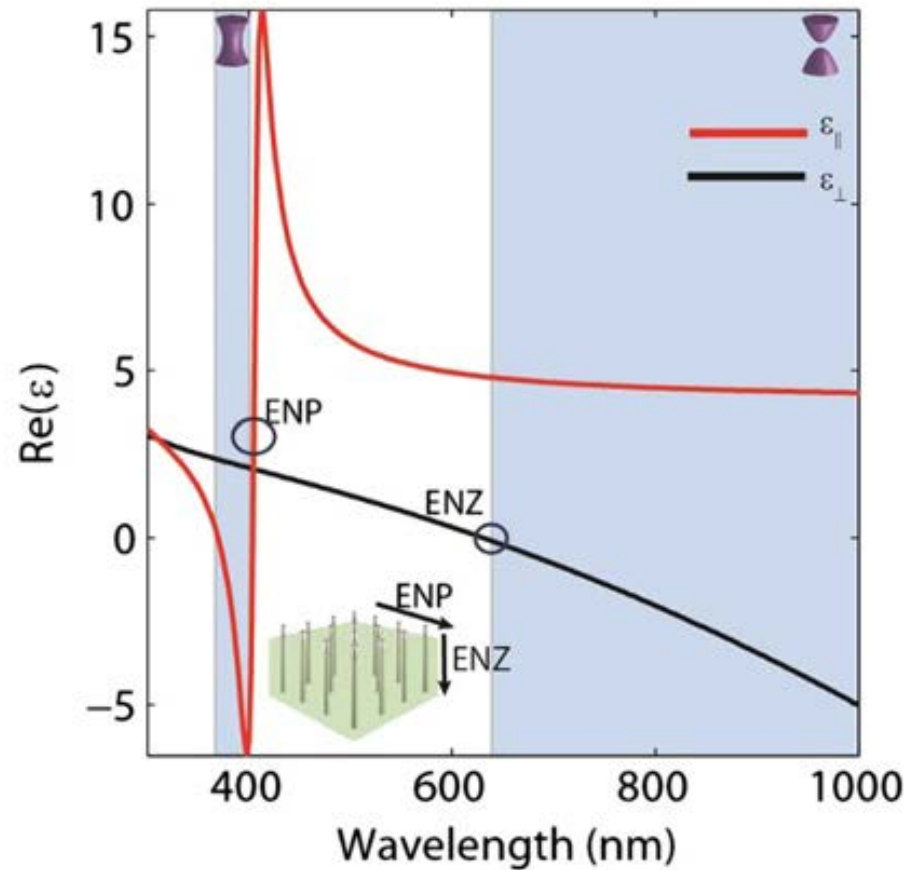
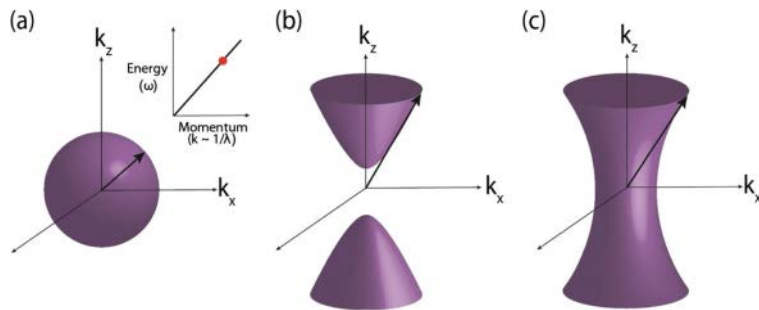




# Гиперболические метаматериалы

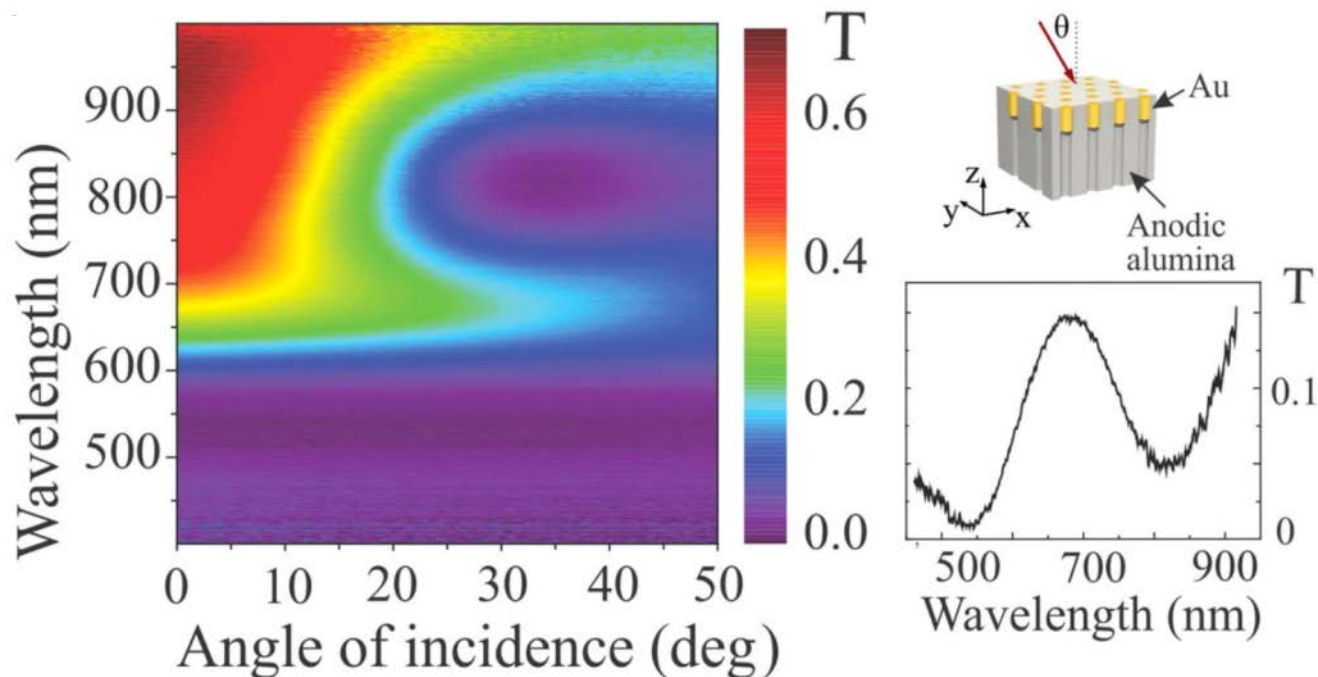


$$\frac{k_x^2 + k_y^2}{\epsilon_{\parallel}} + \frac{k_z^2}{\epsilon_{\perp}} = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2$$

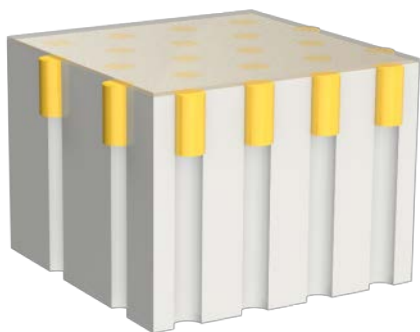


ENP – Epsilon Near Pole  
ENZ – Epsilon Near Zero

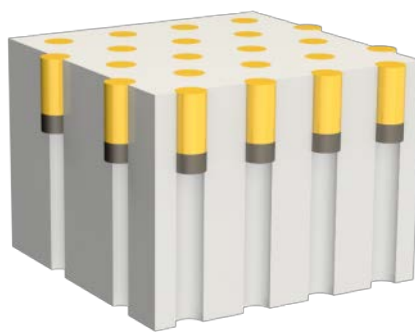
# Гиперболические метаматериалы



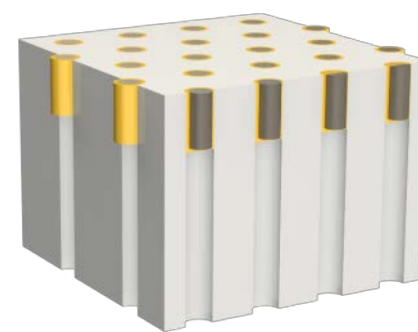
Магнитный слой



Магнитный сегмент



Магнитное ядро



**Спасибо за внимание!**