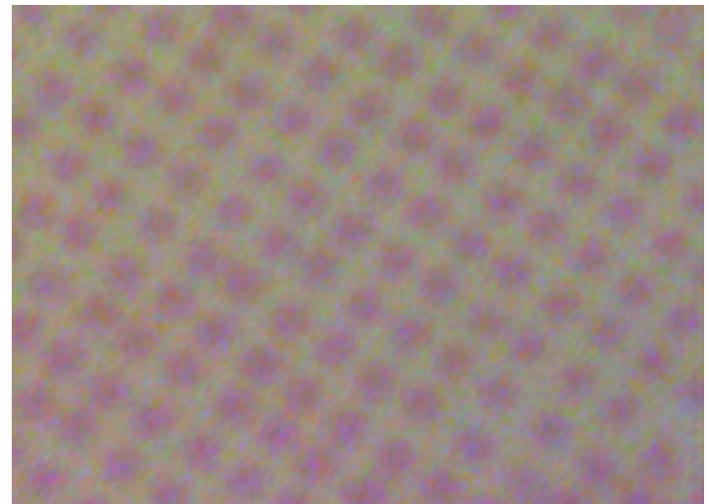
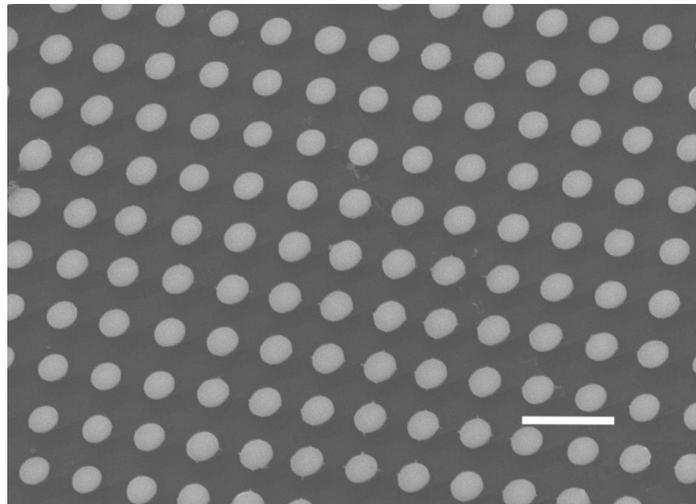


Лекция 4



Синтез и свойства сред с периодическим распределением центров поглощения (ПРЦП)

- Методы синтеза,
- свойства,
- применение.





Способы управления свойствами фотонных кристаллов:

- **изменять период структуры,**
- **изменять оптический контраст,**
- **вводить функциональные добавки,**
- **оказывать внешнее воздействие,**
- **и пр.**



Но как осуществлять селективный контроль свойств для желаемой длины волны?

- Структуры с периодическим распределением центров поглощения (ПРЦП-структуры) дают такую возможность!

ПРЦП-структуры



ПРЦП-структуры: фотоннокристаллическая структура является следствием периодической модуляции коэффициента экстинкции κ . Коэффициент преломления, определяемый соотношением Крамерса-Кронига

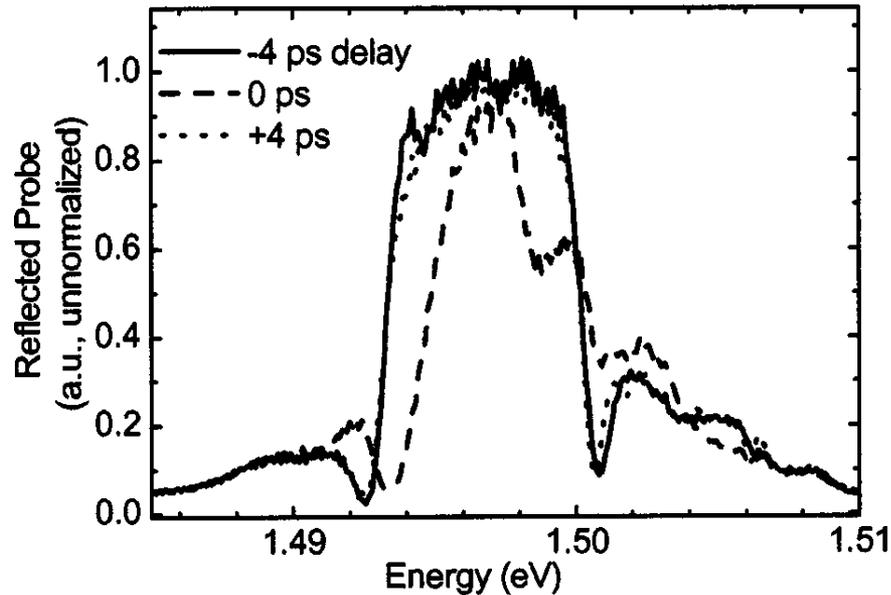
$$n(\omega) = n(0) + \frac{\omega^2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{dx^2 \kappa(x)}{x^2 (x^2 - \omega^2)},$$

также подвергается при этом периодической модуляции.

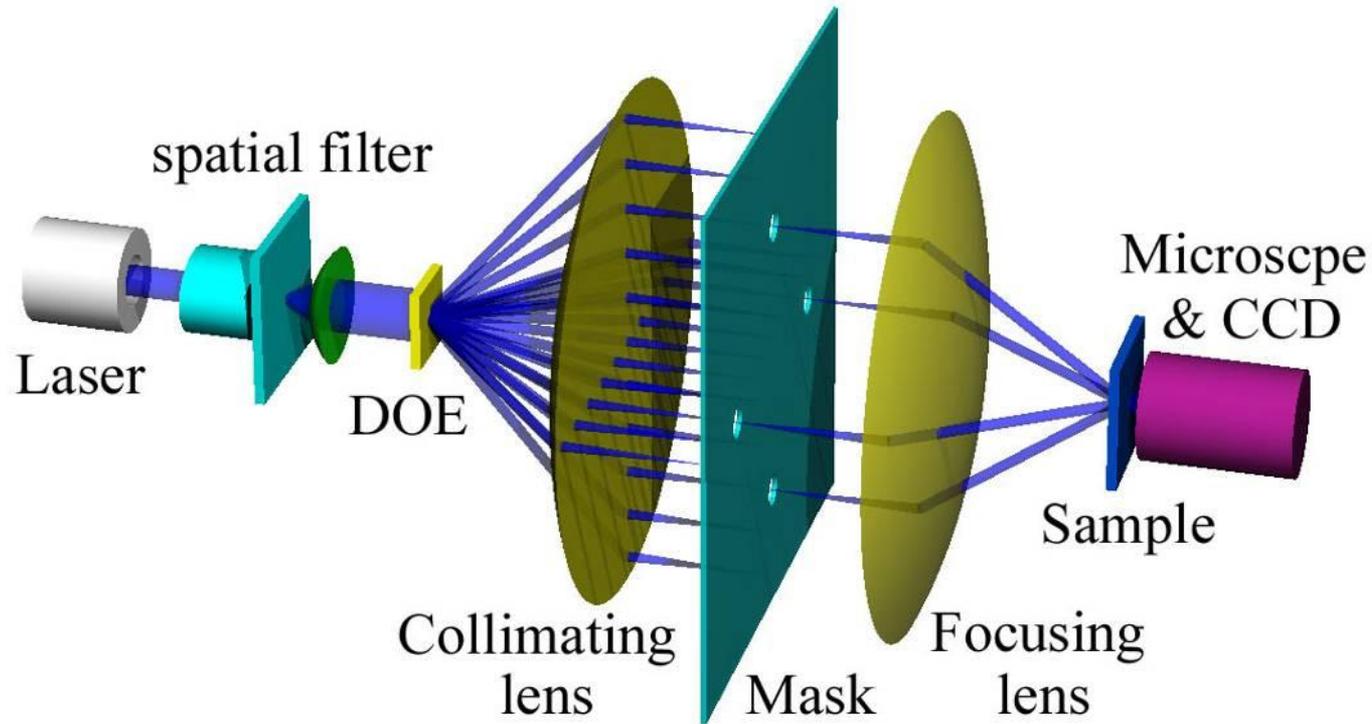
ПРЦП-структуры



J. P. Prineas, J. Y. Zhou, J. Kuhl et al., Appl. Phys. Lett., 81 (2002) 4332 –
одномерная активная фотоннокристаллическая структура на основе
чередующихся слоев $\text{In}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{As}/\text{GaAs}$.



Интерференционная литография

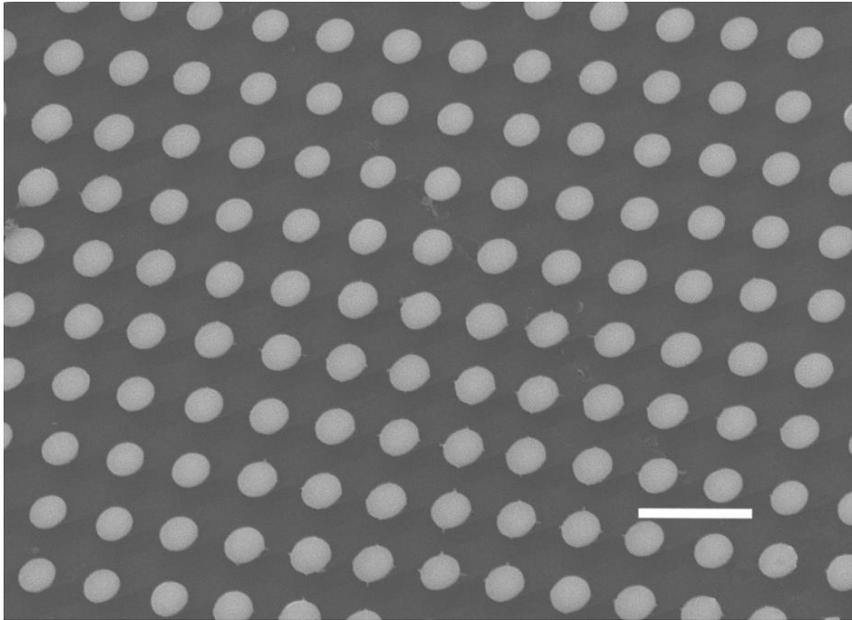


Установка четырехлучевого голографического синтеза двумерных фотонных кристаллов с использованием дифракционного элемента DOE.

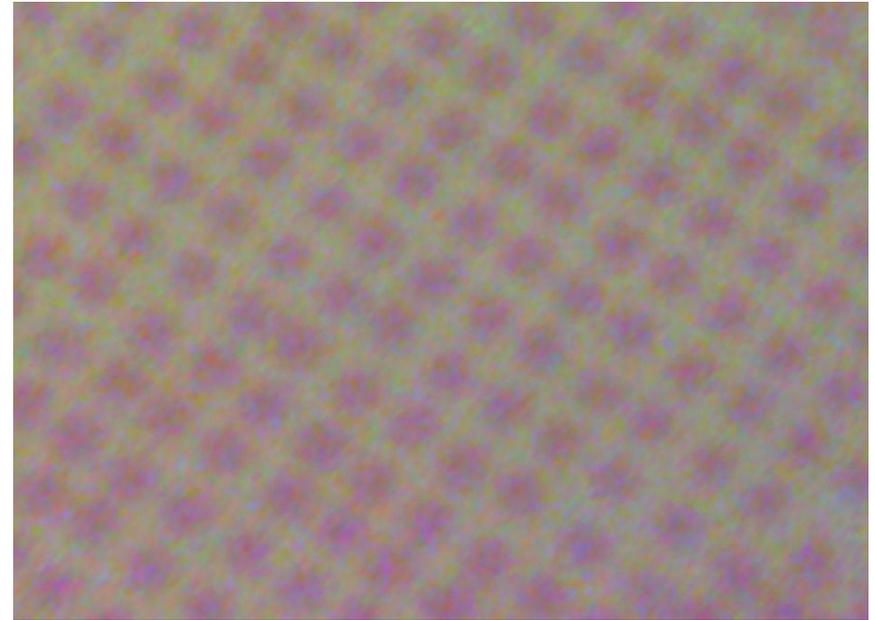
$\lambda = 488 \text{ nm}$.

J. Li et al., Adv. Mater. **22** (2010) 2676.

Квадратная матрица и ПРЦП-структура на ее основе



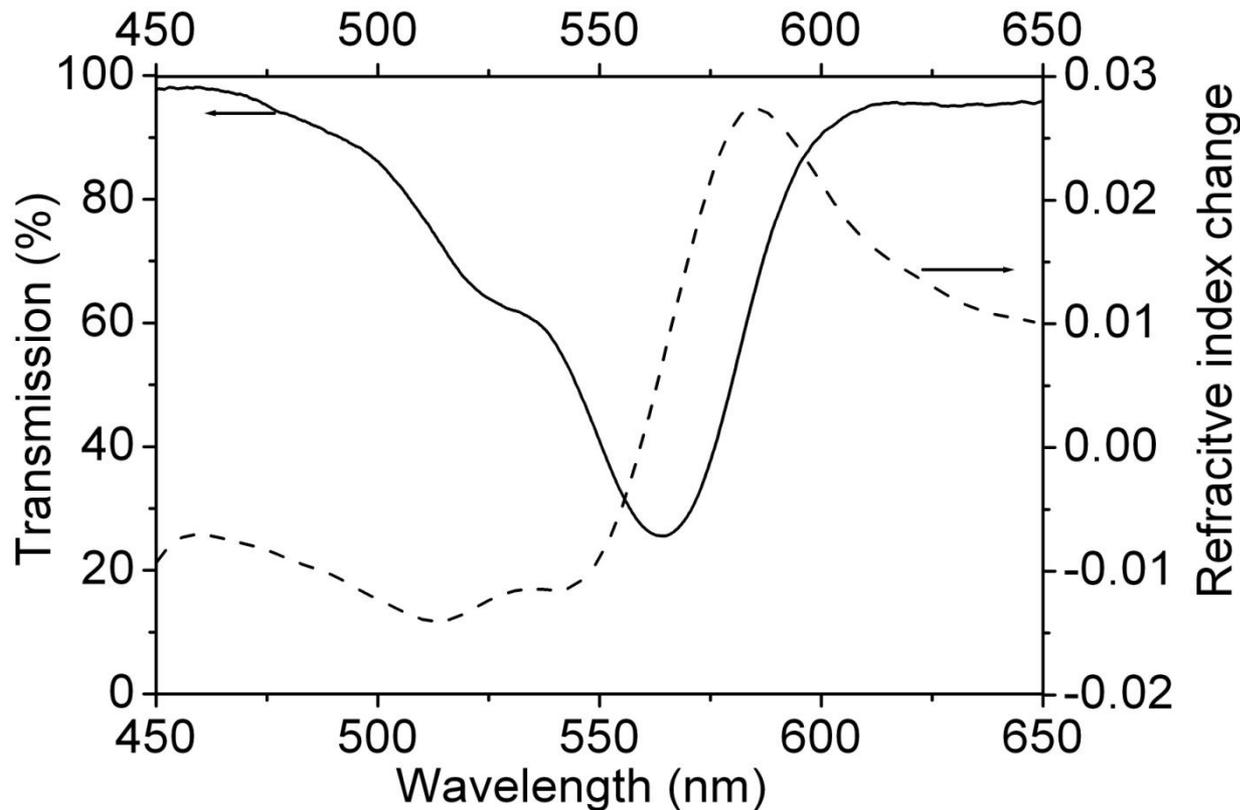
Электронномикроскопическое изображение квадратной голографической матрицы. Масштабная метка - 5 μm .



Оптическая микрофотография фотоннокристаллической ПРЦП-структуры.

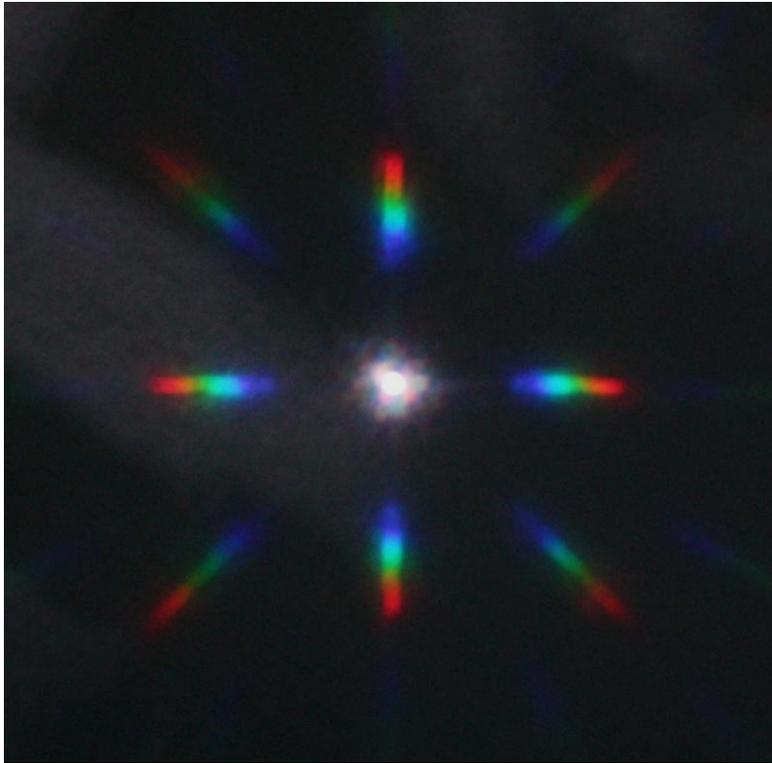
J. Li et al., Adv. Mater. **22** (2010) 2676.

Оптические свойства фоторезиста с родамином-В



Спектр пропускания фоторезиста с родамином-В (сплошная линия) и соответствующие изменения коэффициента преломления (пунктирная линия).

Полученные дифракционные картины



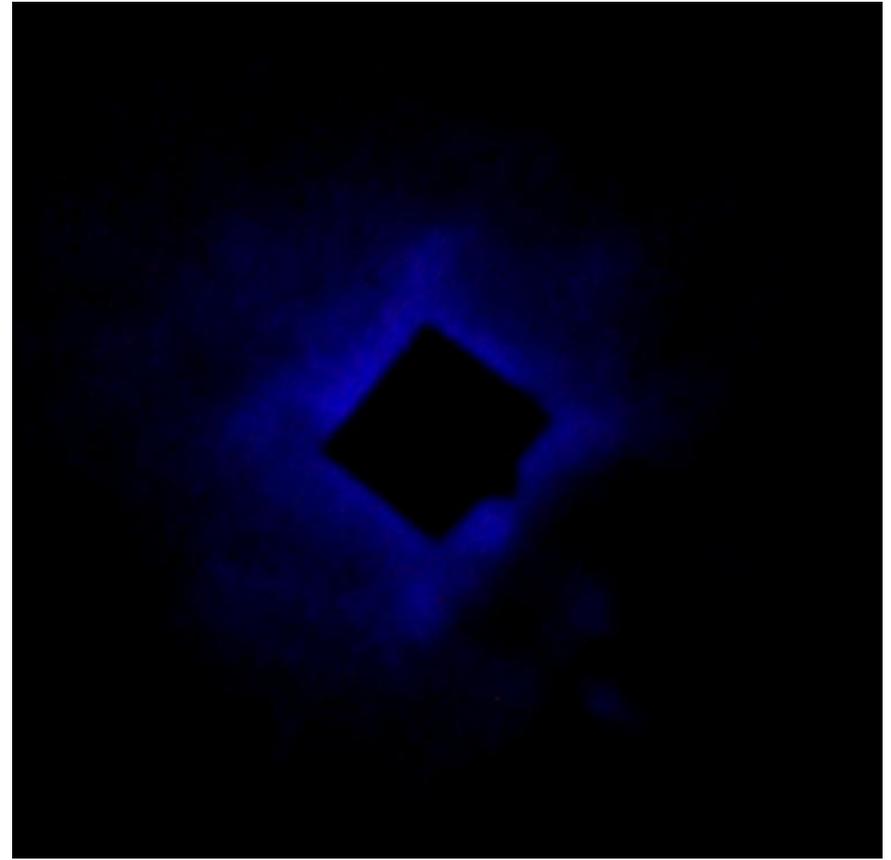
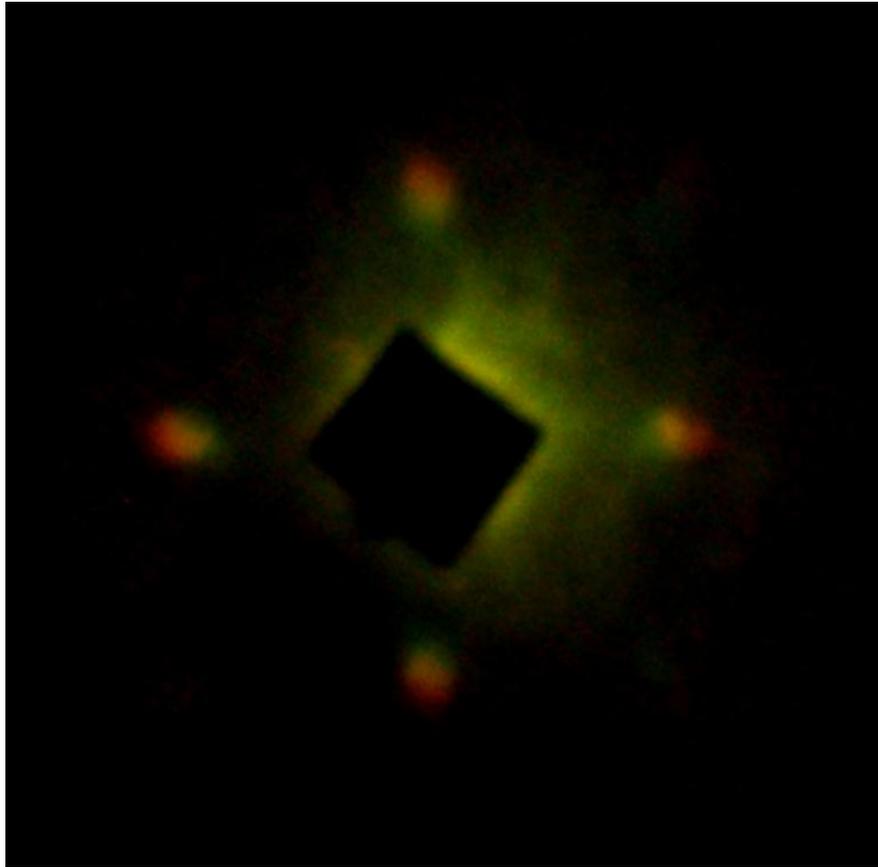
А



Б

**А – исходная матрица.
Б – ПРЦП-структура.**

Дифракционные картины на ПРЦП-структуре для разных длин волн



J. Li et al., Adv. Mater. **22** (2010) 2676.

Расчет яркости дифракционной картины

$$I(f_x, f_y, \lambda) \propto |E(f_x, f_y, \lambda)|^2 \propto |FT(t(x, y, \lambda))|^2$$

$$t(x, y, \lambda) = \begin{cases} \exp(i2\pi d n_b / \lambda) & (\text{air or SU8 without dye}) \\ T(\lambda) \exp(i2\pi d n_r / \lambda) & (\text{SU8 with dye}) \end{cases}.$$

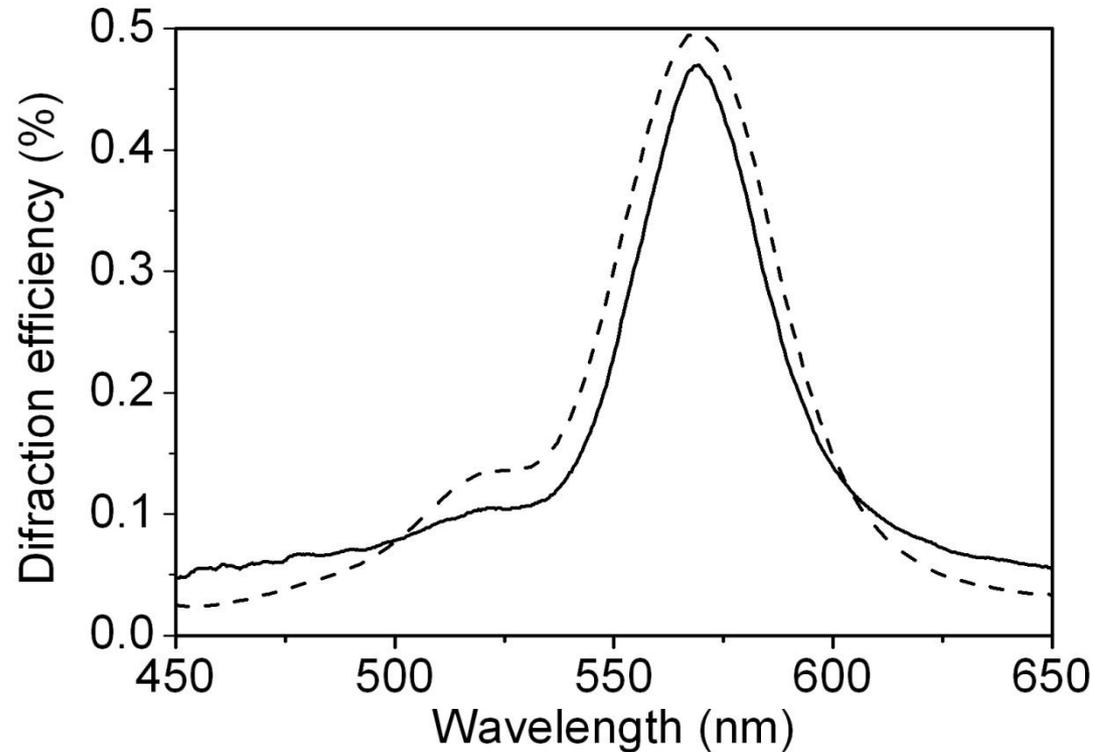


Отношение интенсивностей дифракционных пятен первого и нулевого порядка

$$\eta_{10} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{(1 + T^2 - 2T \cos \varphi)}{(1 + T^2 + 2T \cos \varphi)},$$

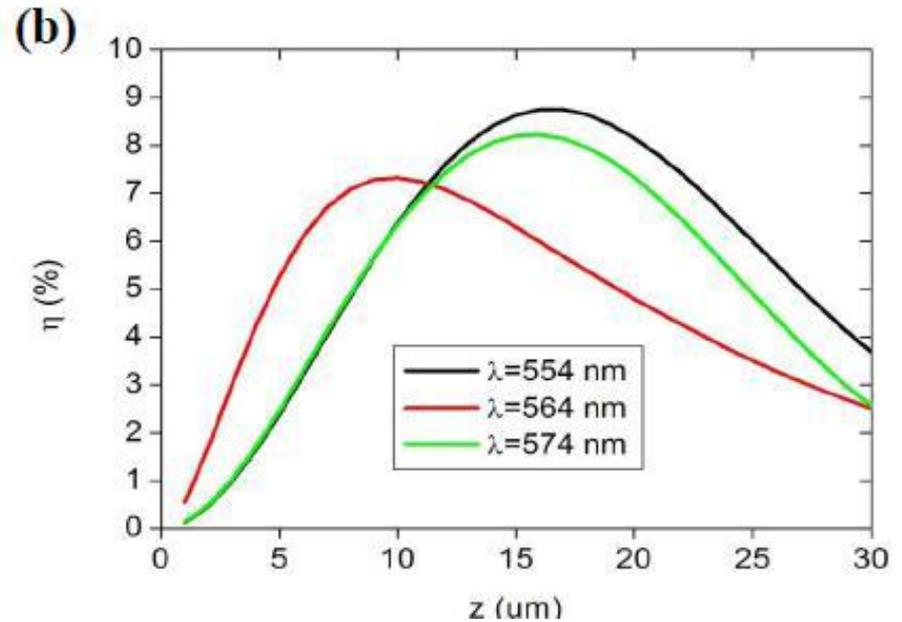
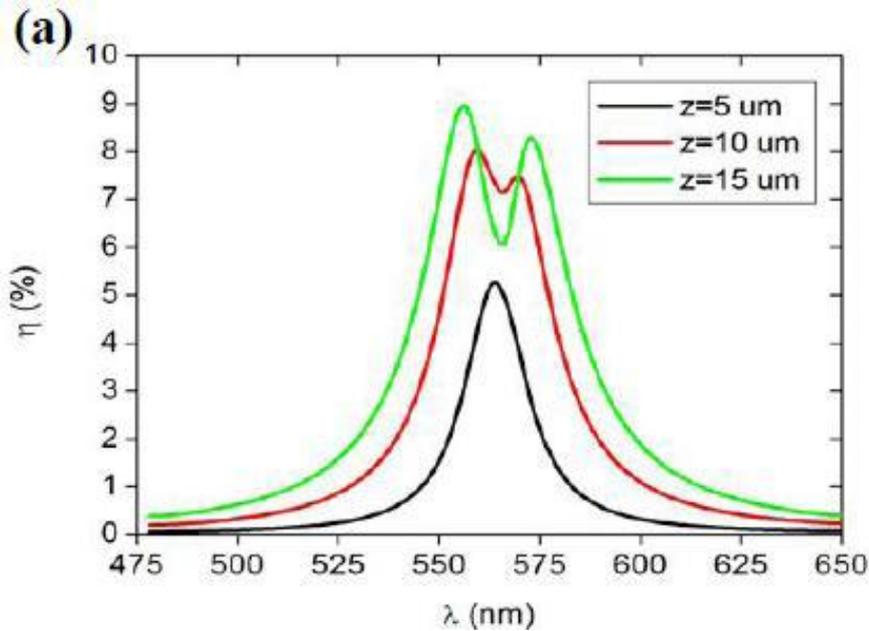
где $\varphi = 2\pi d(n_r - n_b)/\lambda$ – фазовый контраст дифракционной решетки, T – пропускание фоторезиста с красителем.

Зависимости яркости дифракции от длины волны



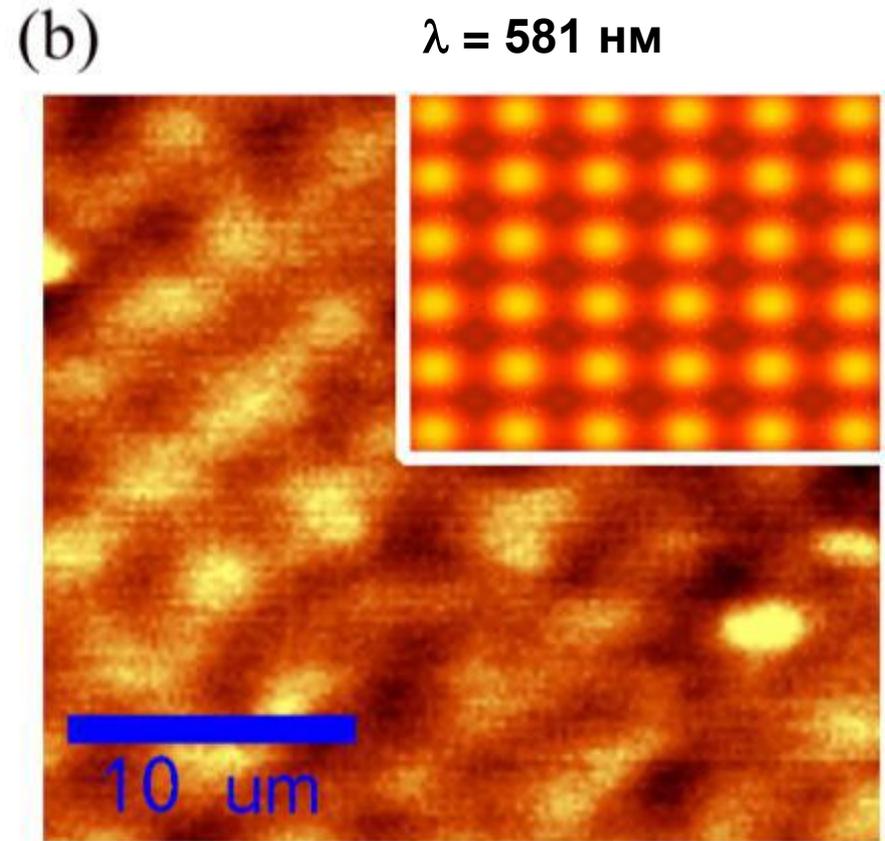
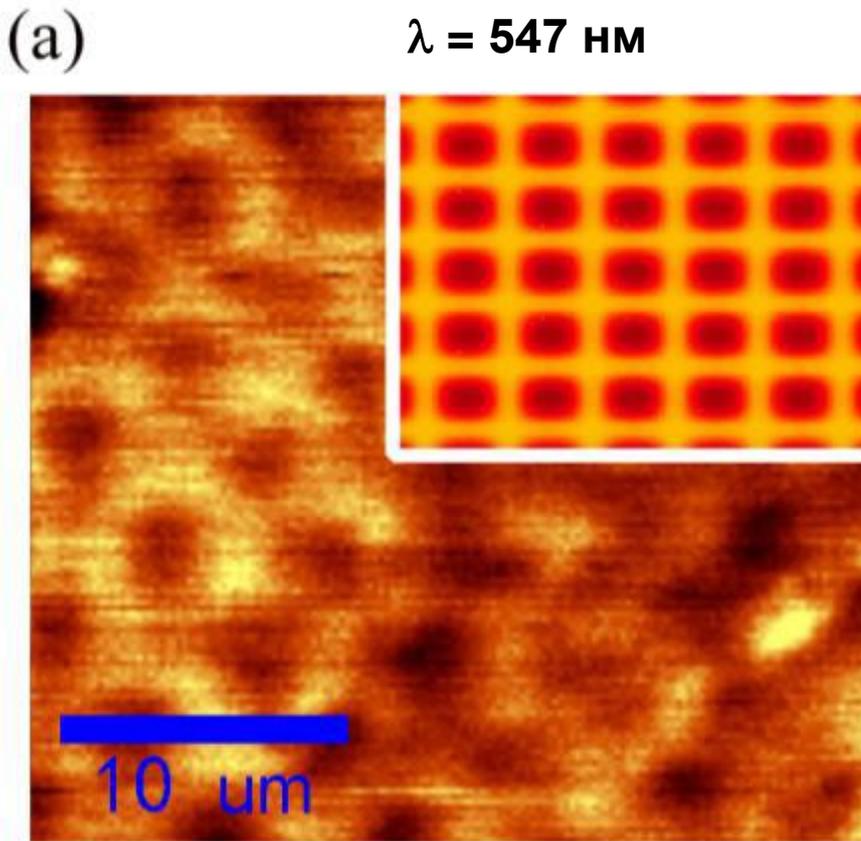
Экспериментальная (сплошная линия) и расчетная (пунктир) кривые отношения интенсивностей дифракционных пятен первого и нулевого порядка для ПРЦП-структуры.

Зависимости яркости дифракции от длины волны и толщины структуры



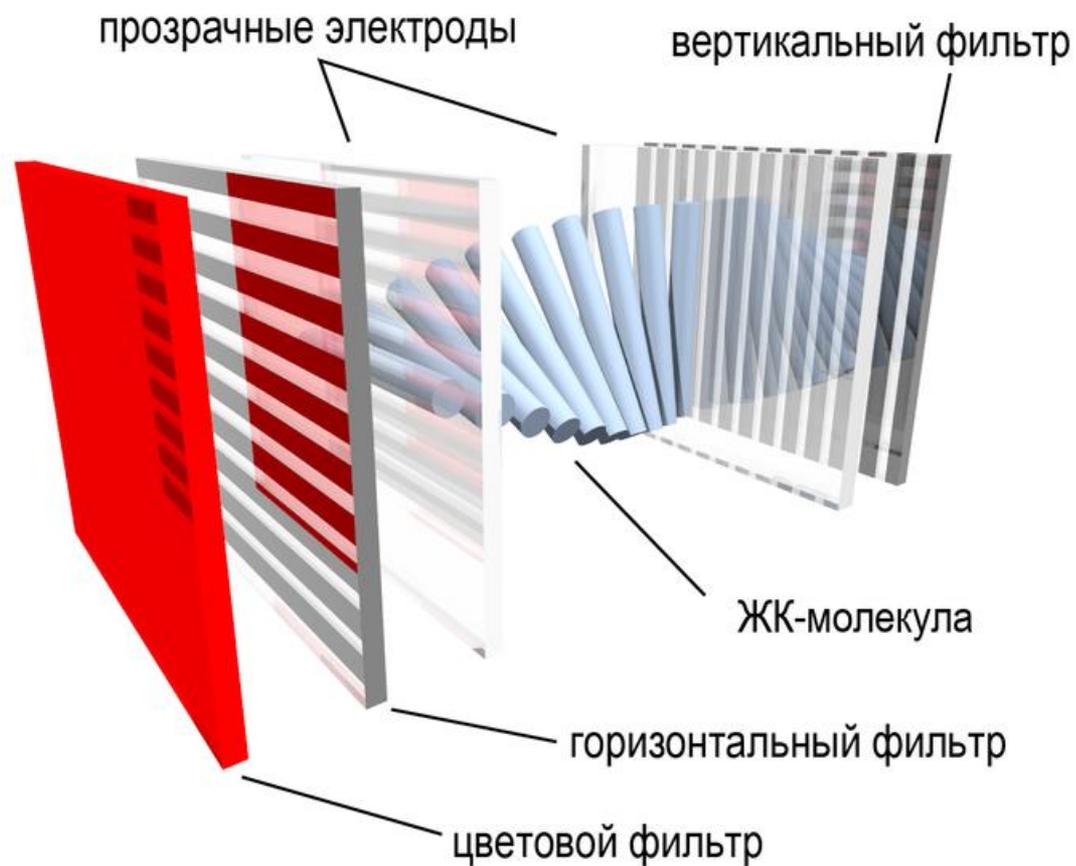
M. Feng et al., Optics Express **19** (2011) 7222.

2D ПРЦП-структура



Пропускание 2D ПРЦП-структуры для разных длин волн

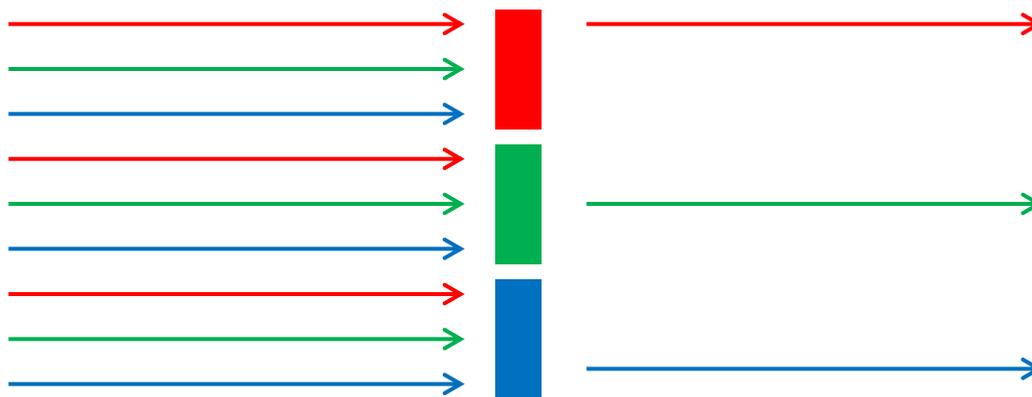
Красный субпиксел ЖК-монитора



Проблема разделения света



Разделение света с помощью фильтров

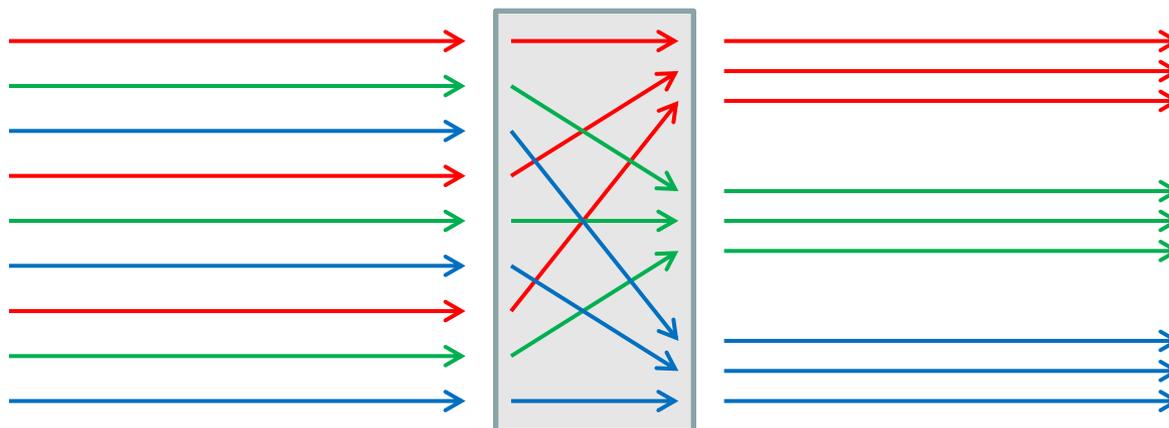


2/3 мощности теряется!

Проблема разделения света

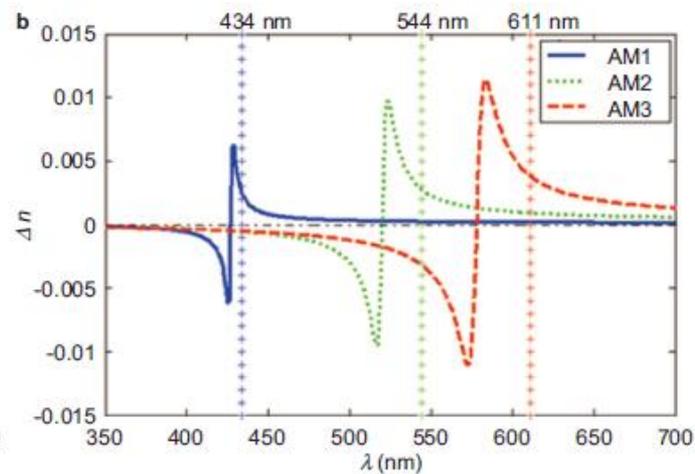
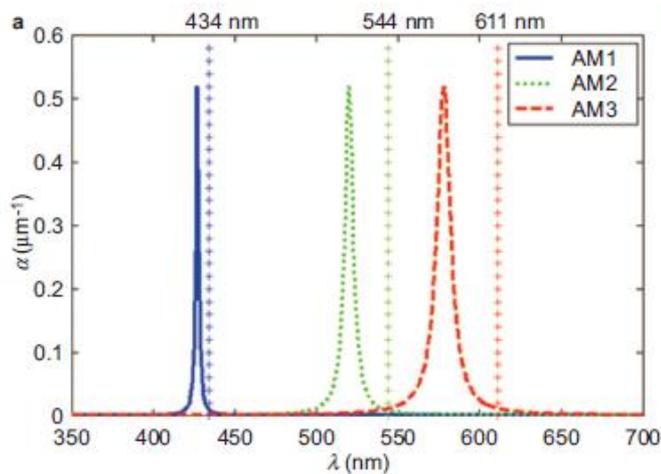
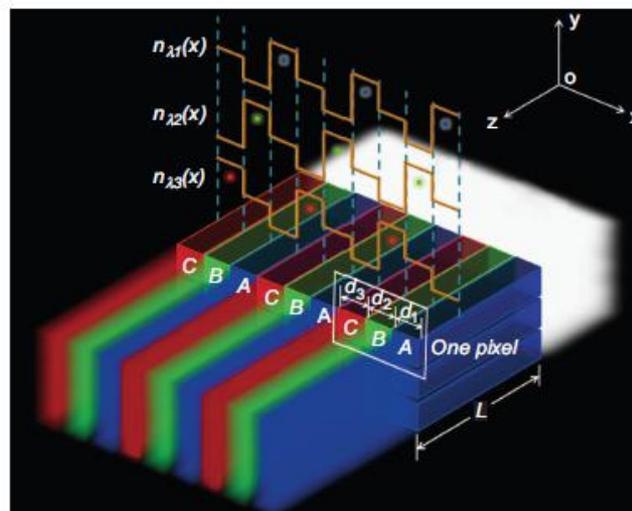


Перераспределение света в пространстве



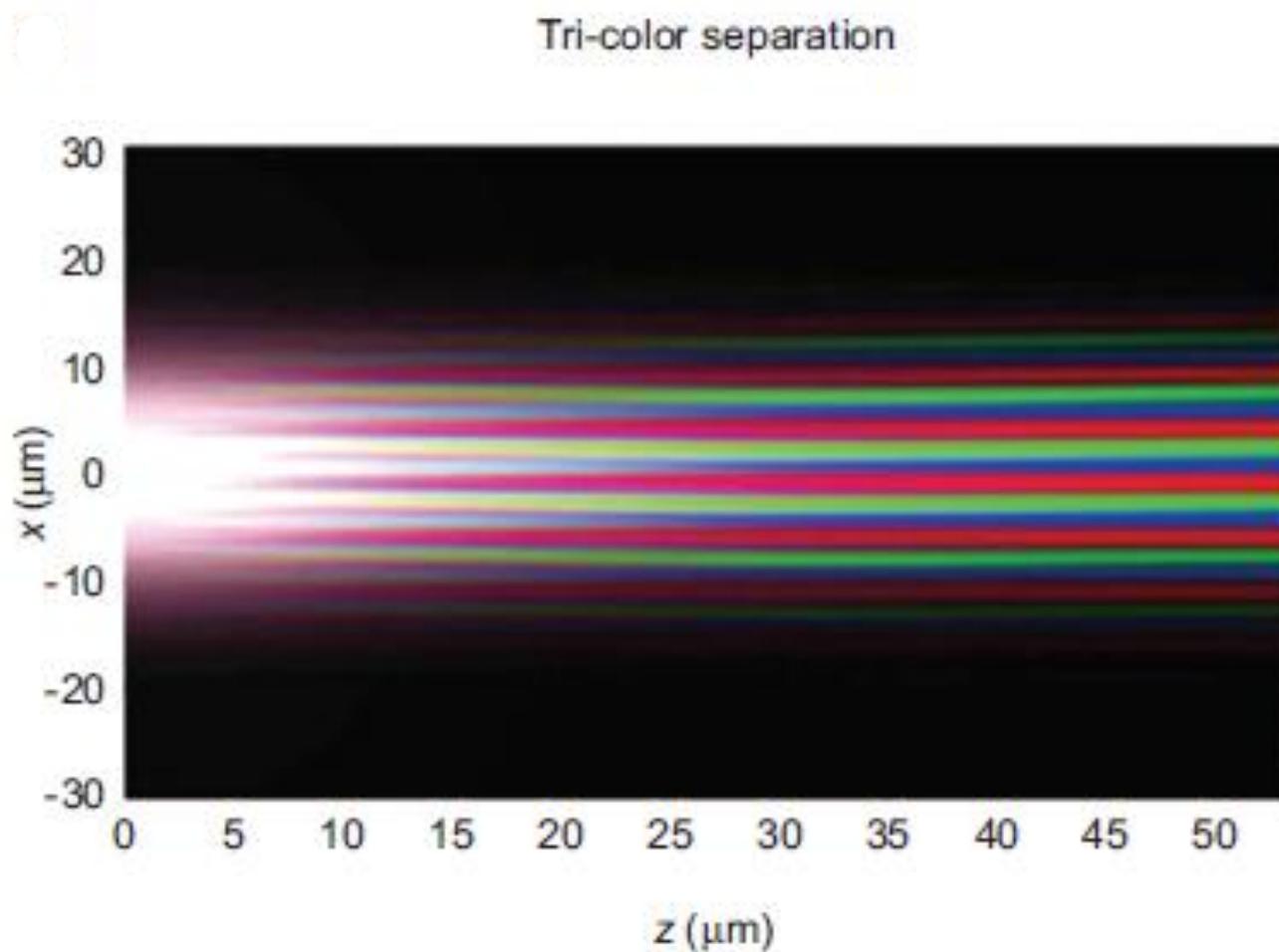
Нет потерь мощности!

Трехцветная 1D ПРЦП-структура



Y.-K. Liu et al., Light: Science & Applications 2 (2013) e52.

Трехцветная 1D ПРЦП-структура



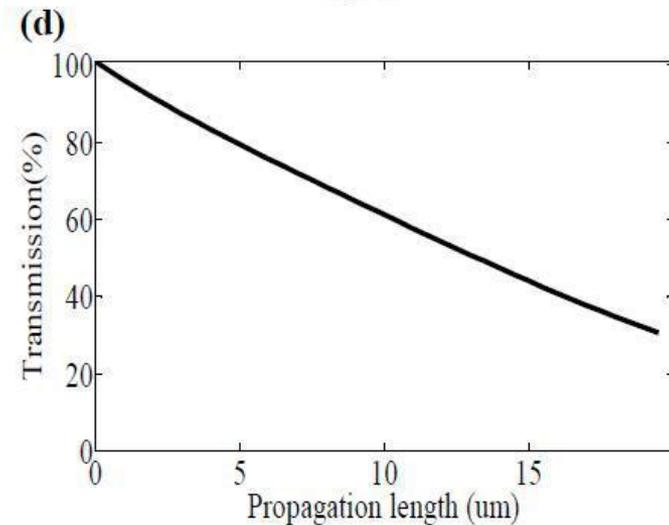
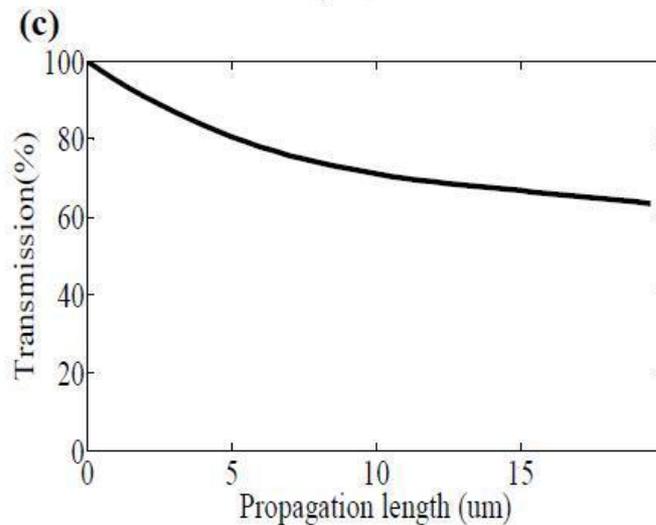
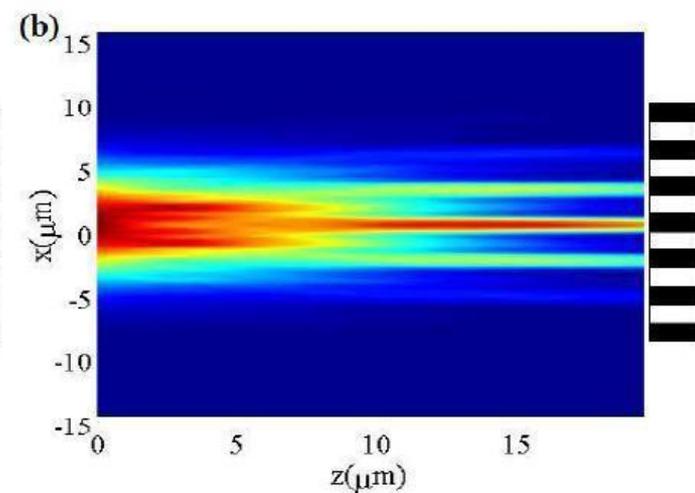
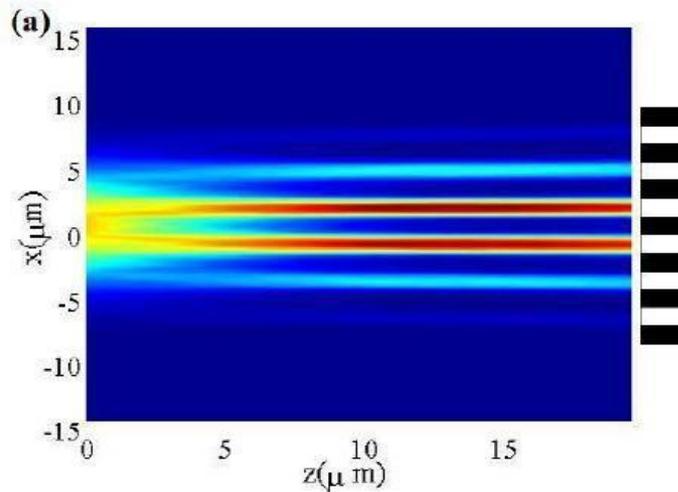
Y.-K. Liu et al., Light: Science & Applications **2** (2013) e52.

Пропускание одномерной ПРЦП-структуры для разных длин волн



554 нм

574 нм

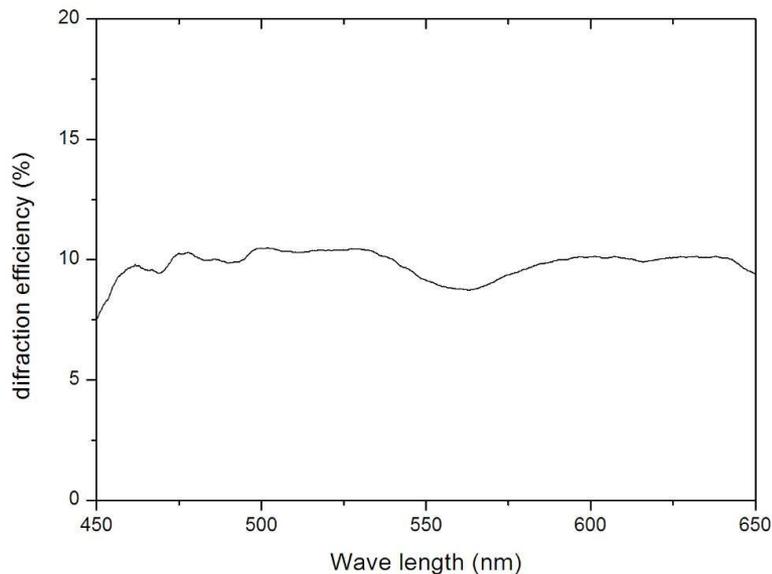


ВЫВОДЫ

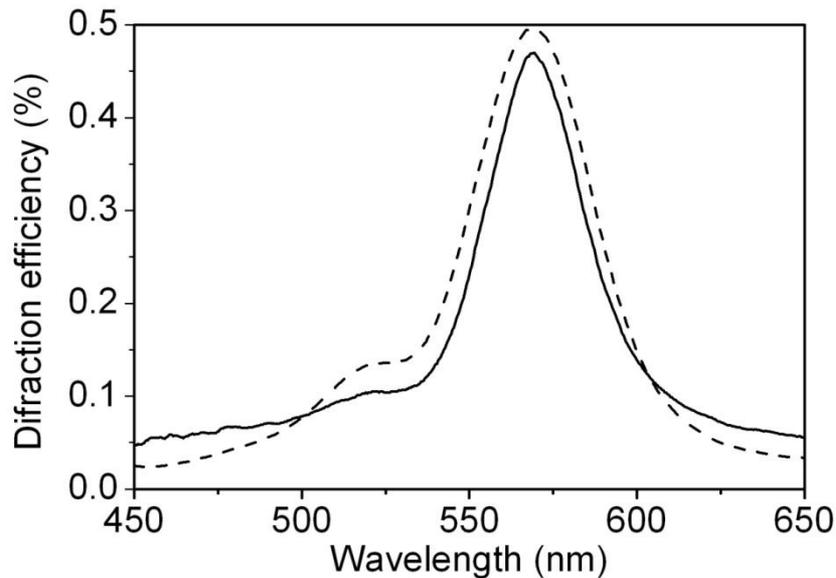


Описан подход к созданию нового класса фотоннокристаллических материалов, основанный на модуляции мнимой части коэффициента преломления с помощью периодического распределения центров поглощения. Продемонстрирована дифракция света на брэгговской решетке центров поглощения. Проанализированы особенности пропускания данной решетки.

Зависимости яркости дифракции от длины волны



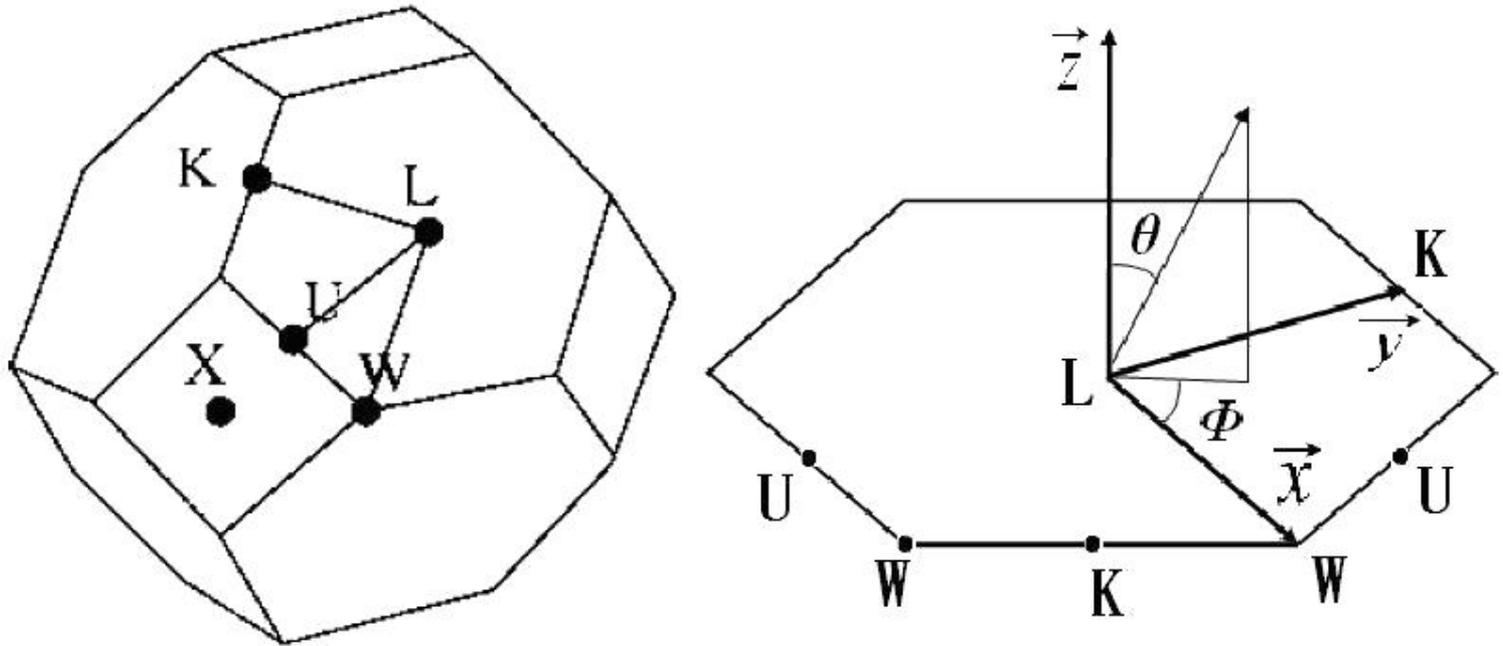
А



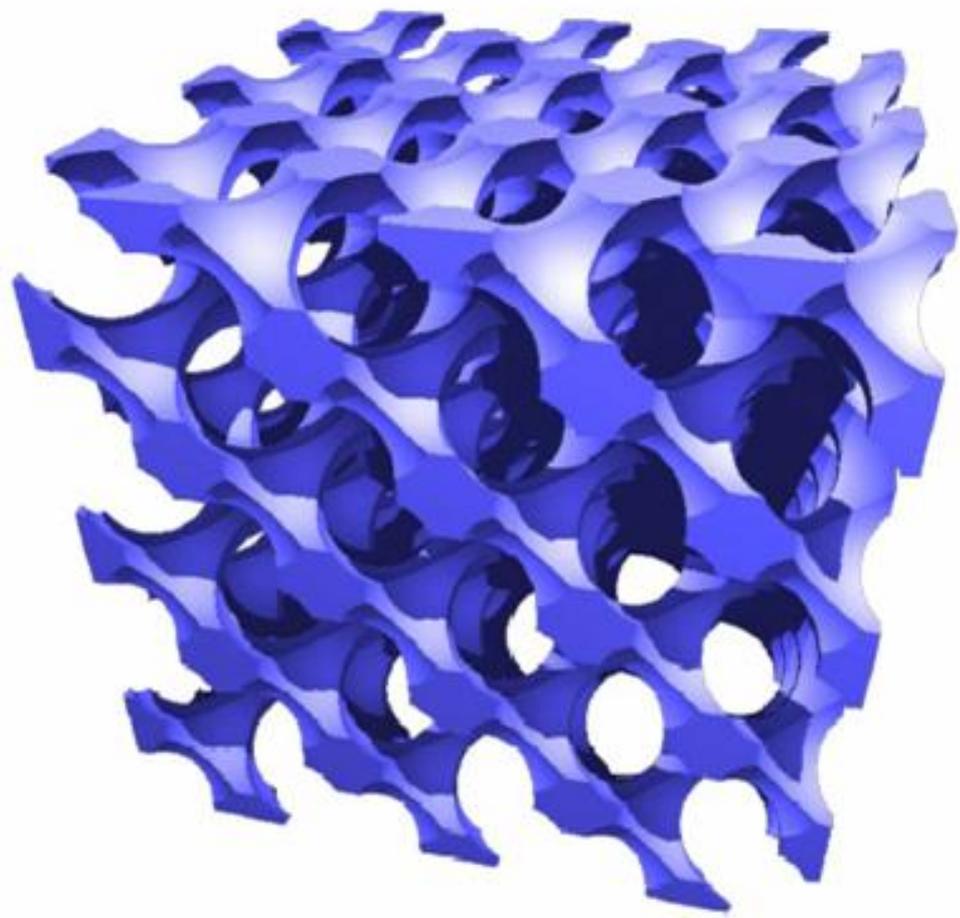
Б

Расчетные (сплошная линия) и экспериментальные (пунктир) кривые отношения интенсивностей дифракционных пятен первого и второго порядка.

А – темплат, Б – резонансно поглощающая структура.



Symmetry points in the first BZ for fcc lattice.



Preparation techniques

Method \ Advantage	Self-assembly	Lithography	Holography
2D/3D	+/+	+/\pm	+/+
Large-scale	+	\pm	\pm
RIC	+	+	-
No defects	-	+	\pm
Low cost	++	-	\pm