

Оптические и излучательные свойства хиральных полупроводниковых фотонных структур



С. Г. Тиходеев

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН



[Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН](#)

МОЛОДЕЖНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Зимняя школа 2026

Санкт-Петербург

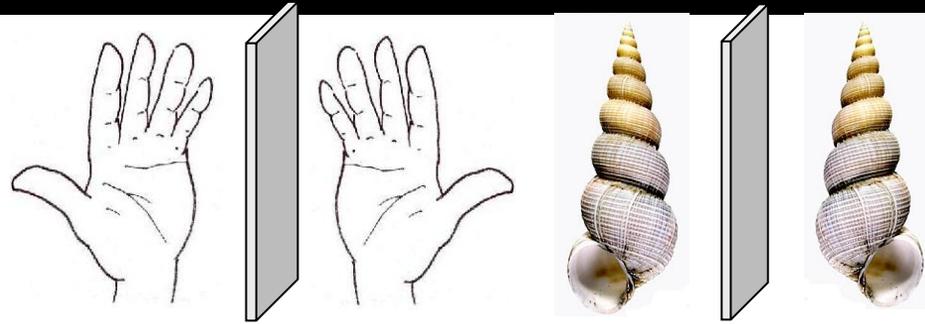
25 февраля — 1 марта 2026 года

26 февраля 2026

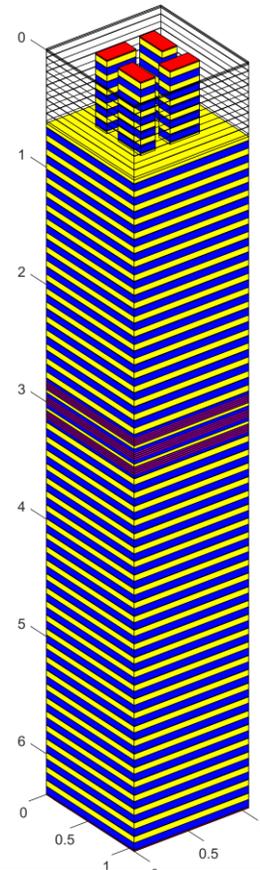
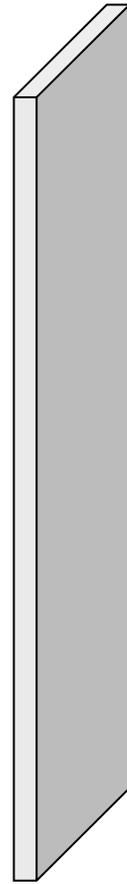
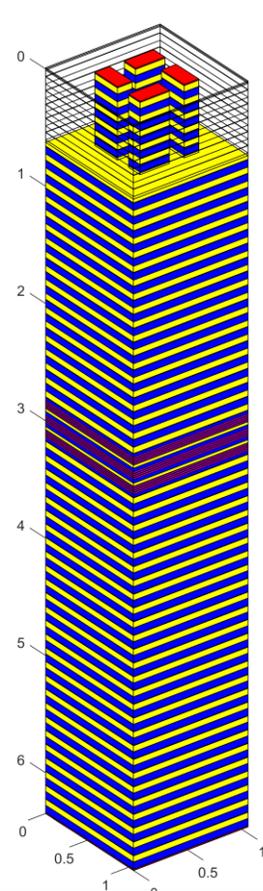
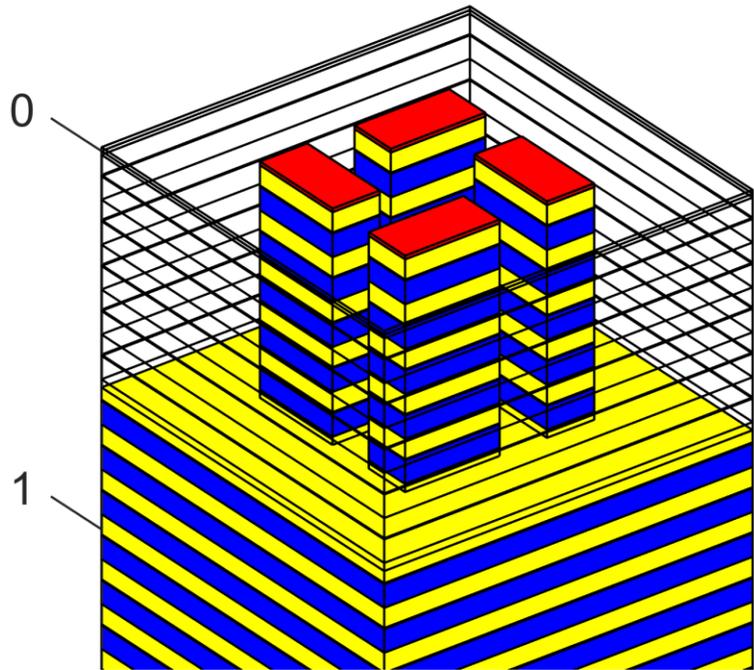
ПЛАН ДОКЛАДА

1. Введение
2. Циркулярно-поляризованная фотолюминесценция и лазеры циркулярно-поляризованного излучения на основе хиральных фотонных структур
3. Свойства резонансных экситон-поляритонных мод в хиральном микрорезонаторе вблизи Γ -точки хирального фотонного кристалла и порог лазерной генерации
4. Мультистабильности в хиральных микрорезонаторах при резонансной оптической накачке
5. 2D хиральные метамембраны с максимальным циркулярным дихроизмом отражения и пропускания и хиральные Фабри-Перо микрорезонаторы
6. Заключение

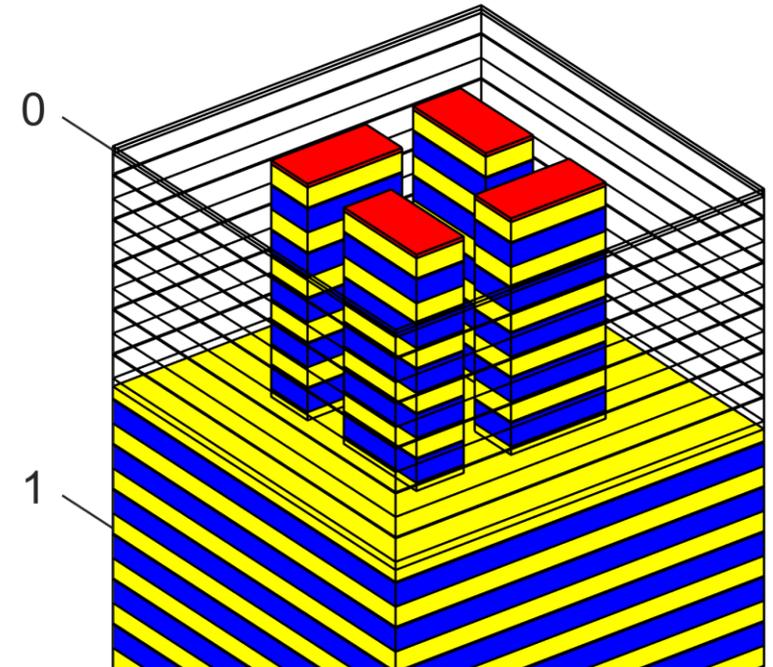
Хиральность: объект не совпадает со своим отражением



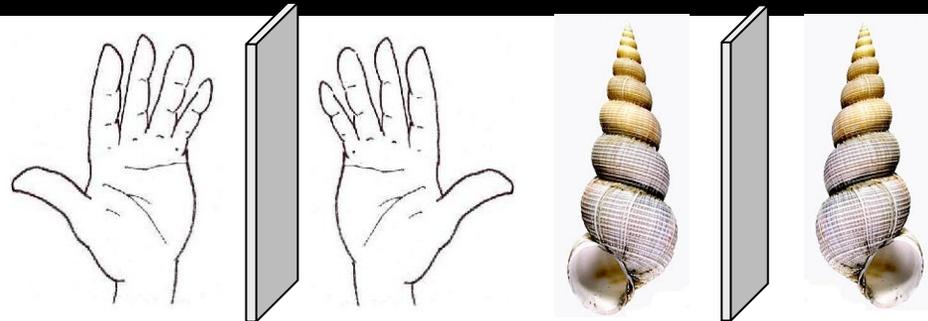
Left enantiomer



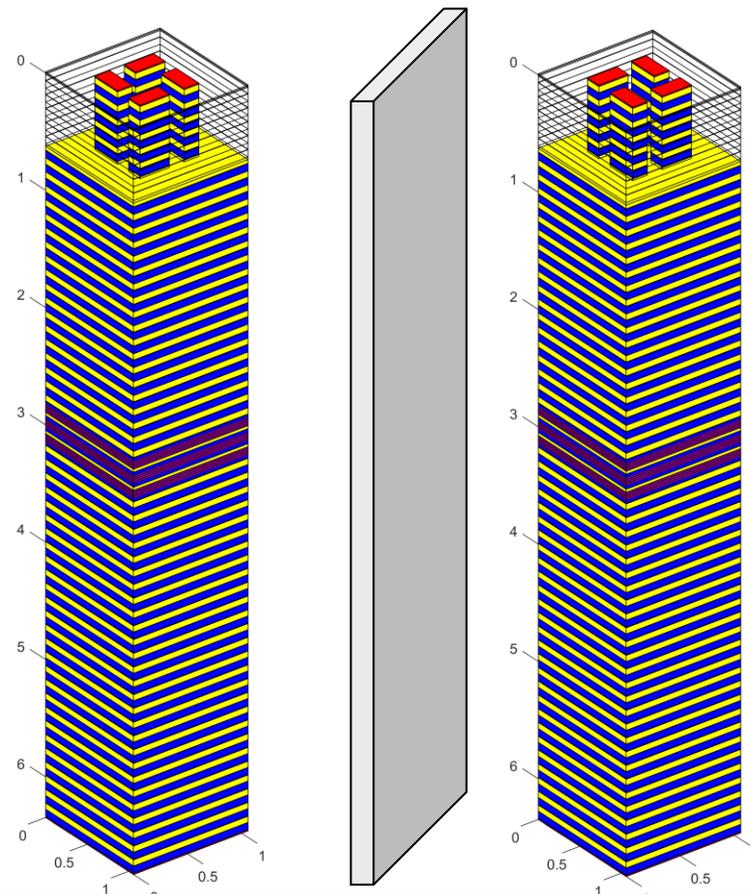
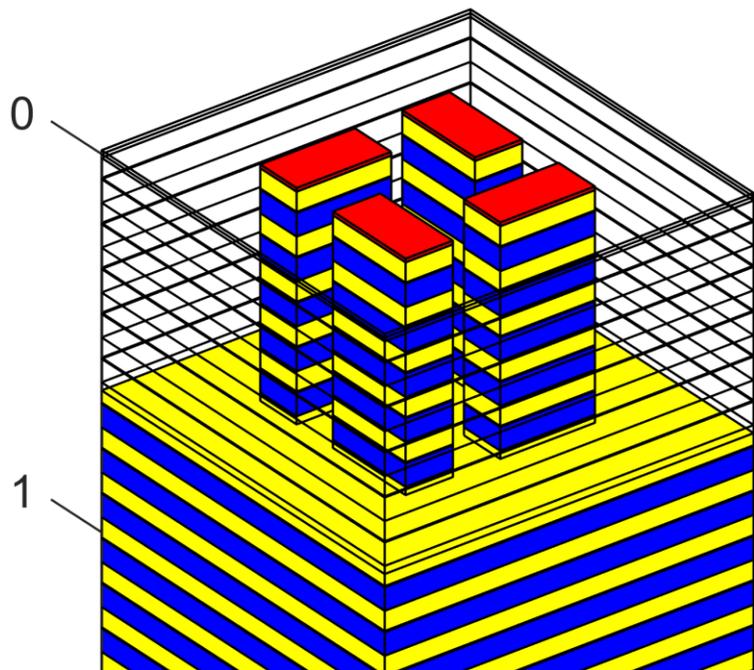
Right enantiomer



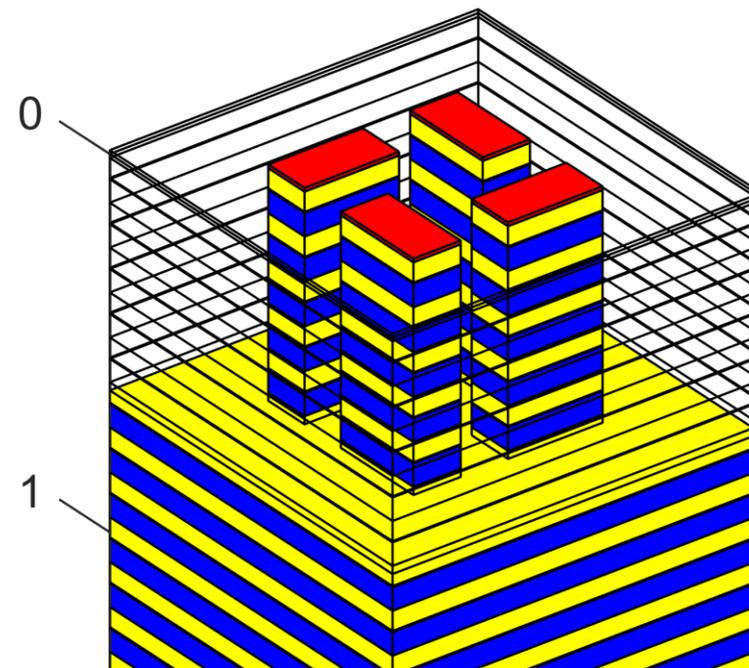
Хиральность: объект не совпадает со своим отражением



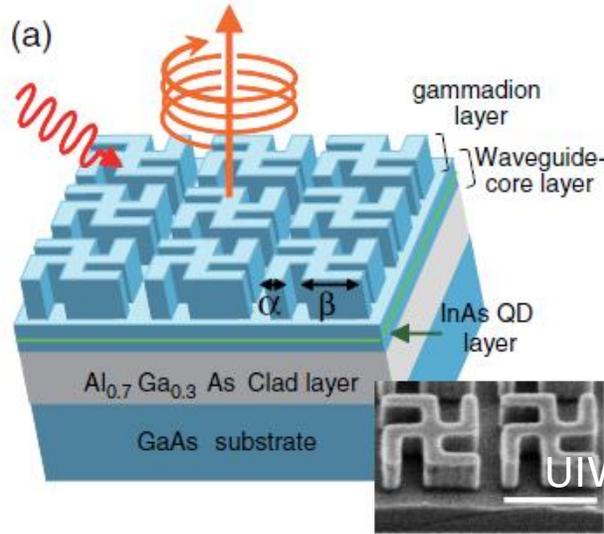
Right enantiomer



Right enantiomer



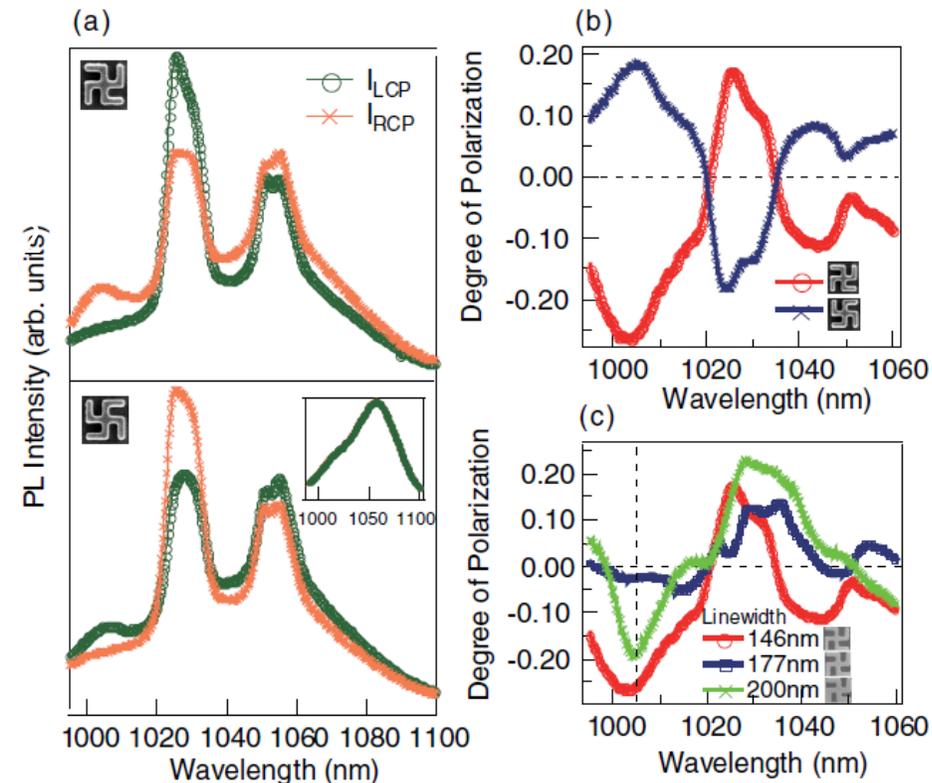
Хиральный GaAs волновод с ахиральными InAs квантовыми точками: фотолюминесценция КТ может стать циркулярно-поляризованной



$p = 1.29 \mu\text{m}$
 $\lambda \sim 1 \mu\text{m}$
 $\alpha \sim 0.14\text{-}0.2 \mu\text{m}$

K.Konishi *et al.*, PRL **106**, 057402 (2011)

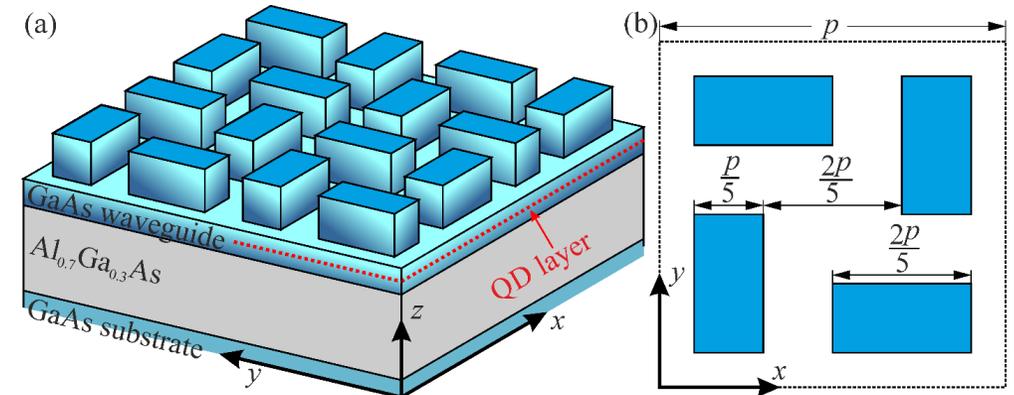
- Фотолюминесценция ахиральных InAs КТ из хирального GaAs волновода может быть частично циркулярно поляризована
- Направление вращения поля меняется на противоположное в зеркальной структуре
- Измеренная ρ_c была максимум 26%



$$\rho_c = \frac{I^+ - I^-}{I^+ + I^-}$$

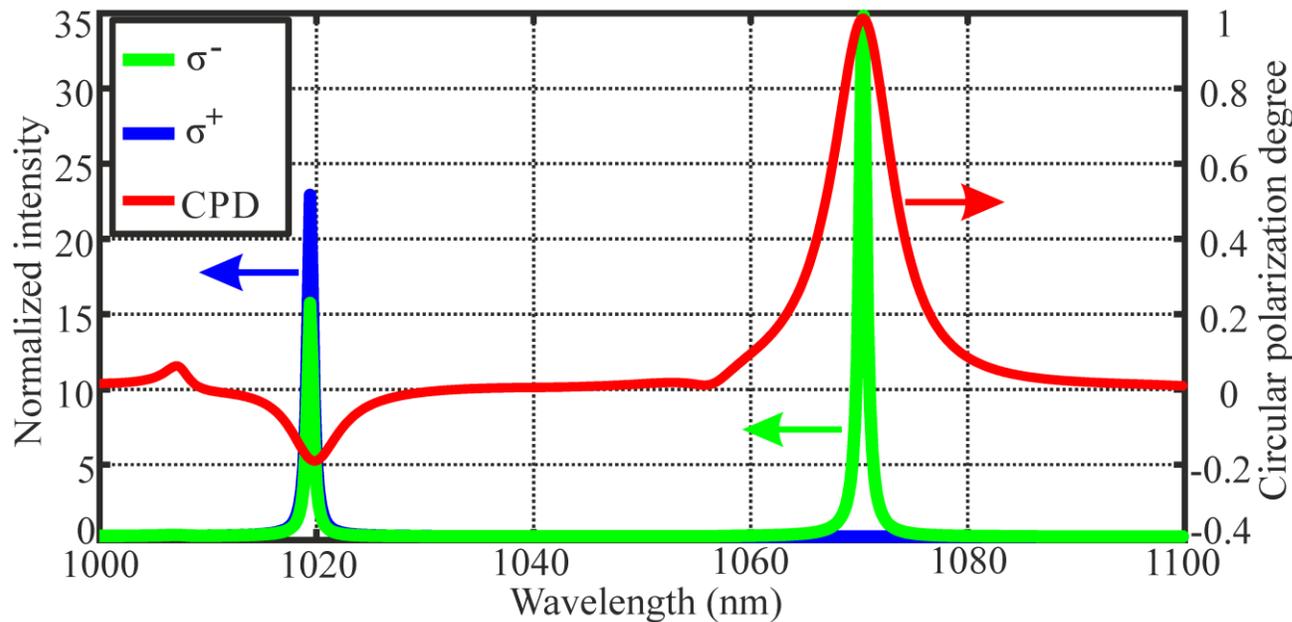
Хиральный GaAs волновод с InAs квантовыми точками: оптимизированная структура, расчёт

S. V. Lobanov *et al.* *Opt. Lett.* **40**, 1528 (2015)



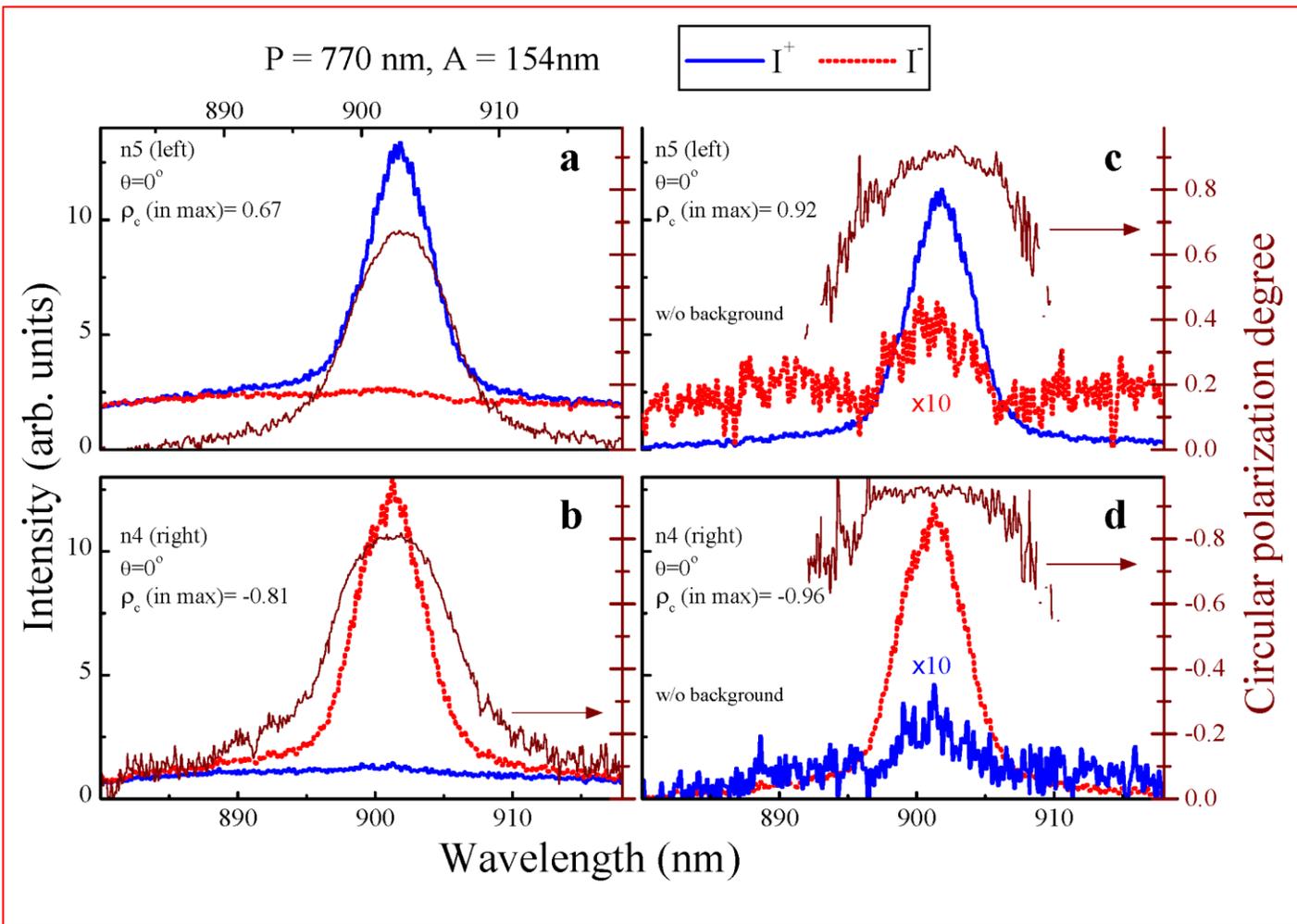
$p = 920 \text{ nm}$
 $h_{\text{PCS}} = 520 \text{ nm}$
 $h_{\text{WG}} = 310 \text{ nm}$

Ахиральные КТ могут излучать
циркулярно-поляризованный
свет благодаря резонансу
квазиволноводных мод в
хиральном фотонно-
кристаллическом слое

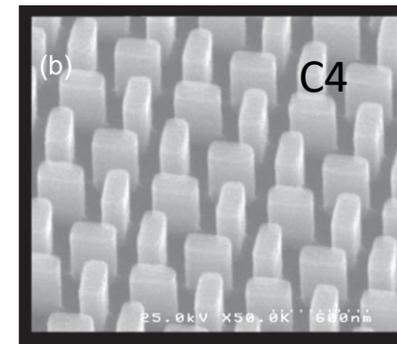


Оптимизированный хиральный GaAs волновод с InAs квантовыми точками: эксперимент

S.V.Lobanov *et al.*, PRB **92**, 205309 (2015)

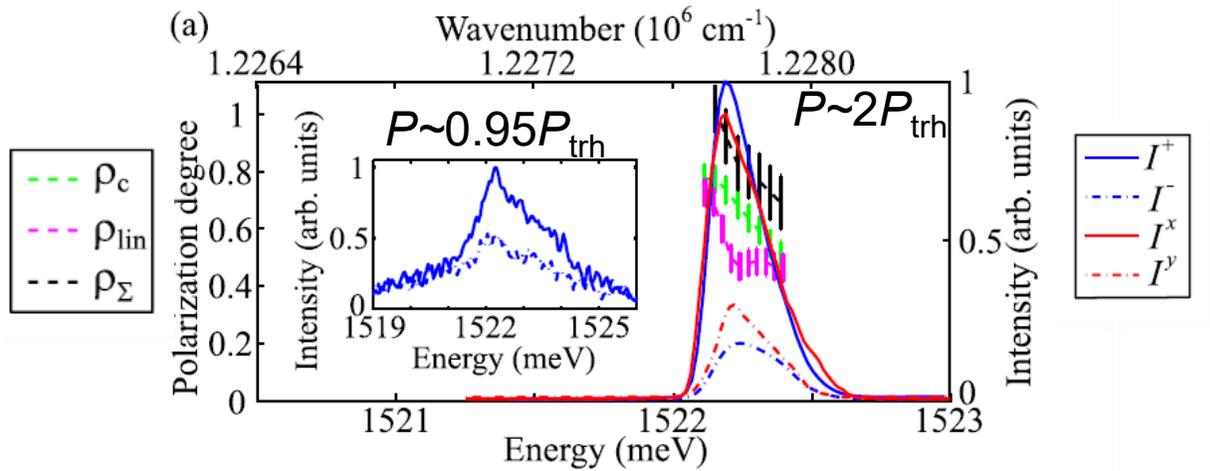
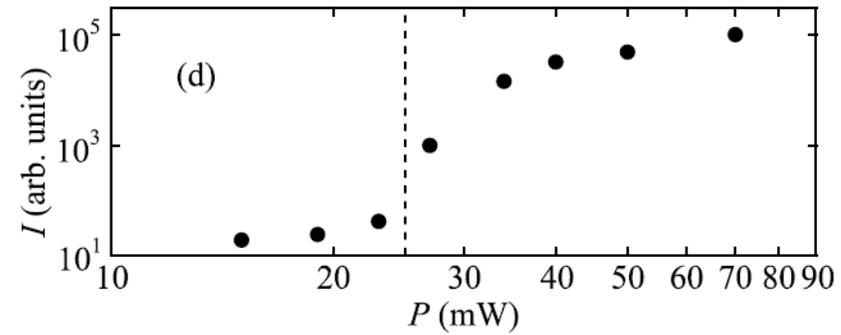
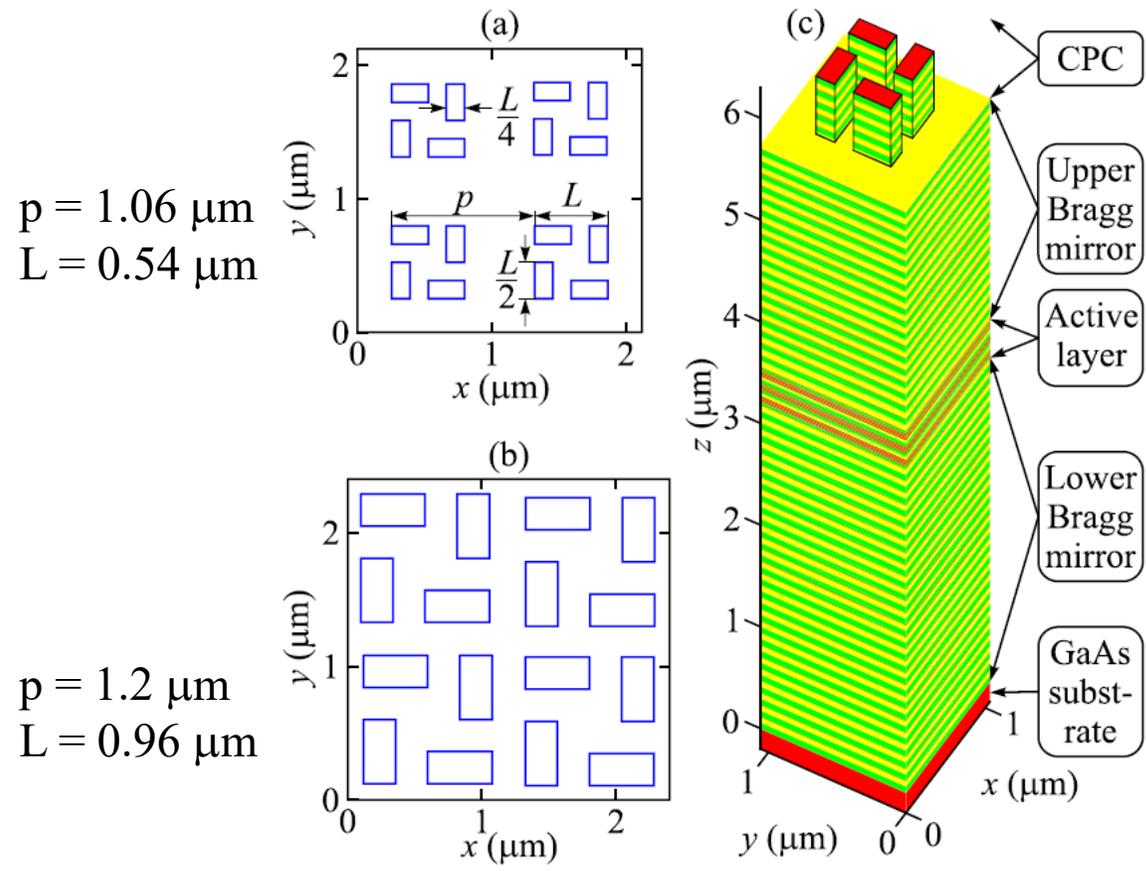


- Экспериментально достигнутое значение ρ_c превосходит 80%.
- Имеется неполяризованный фон, вследствие несовершенства изготовления.
- ρ_c порядка 96% если просто вычесть этот неполяризованный фон.



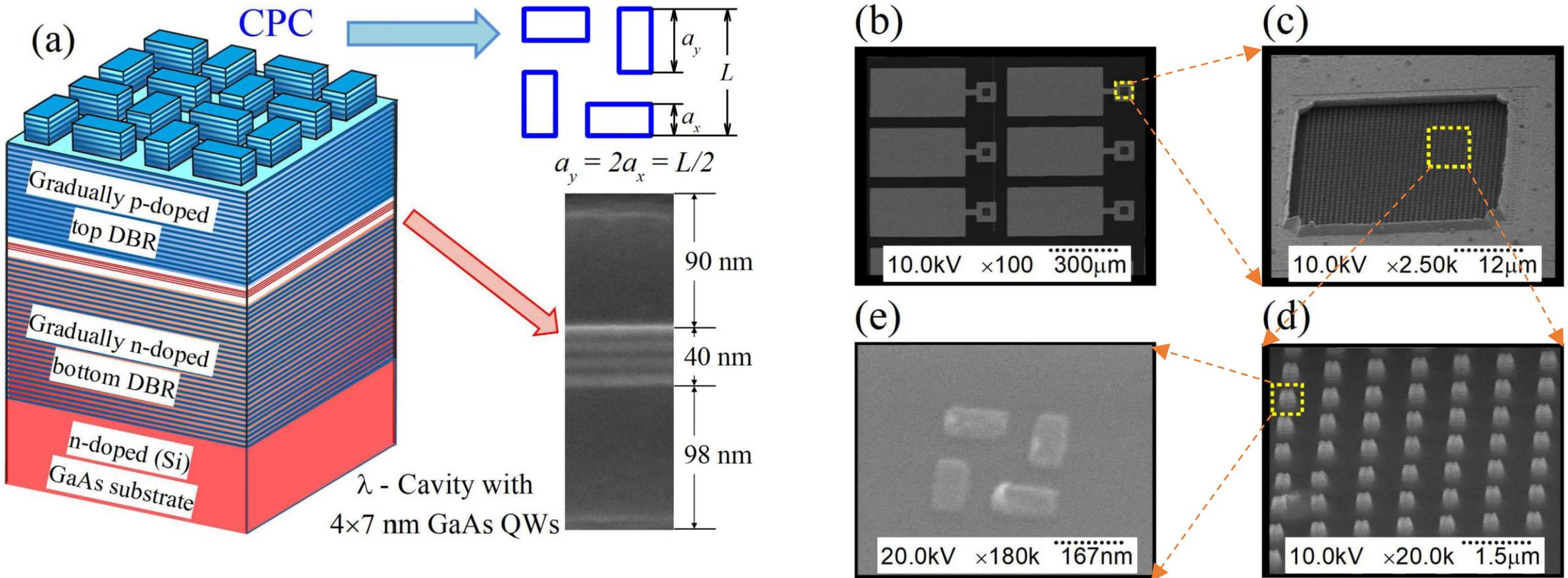
Лазер циркулярно-поляризованного излучения на основе AlGaAs брэгговских микрорезонаторов, оптическая накачка

A.A. Demenev *et al.* *Appl. Phys. Lett.* **109**, 171106 (2016)



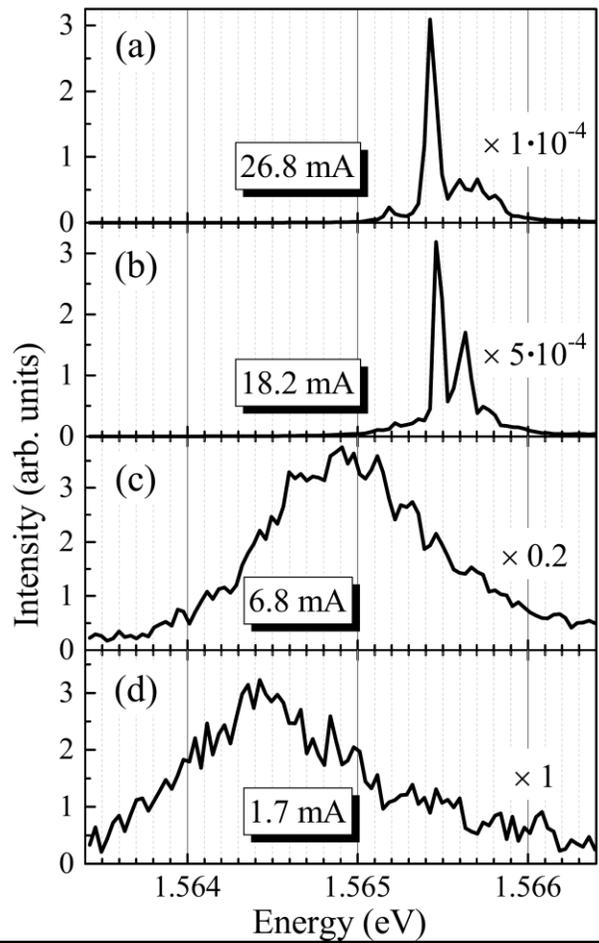
Лазер циркулярно-поляризованного излучения на основе AlGaAs брэгговских микрорезонаторов, электрическая накачка

A.A.Maksimov *et al. Phys. Rev. Appl.* **17**, L021001 (2022)



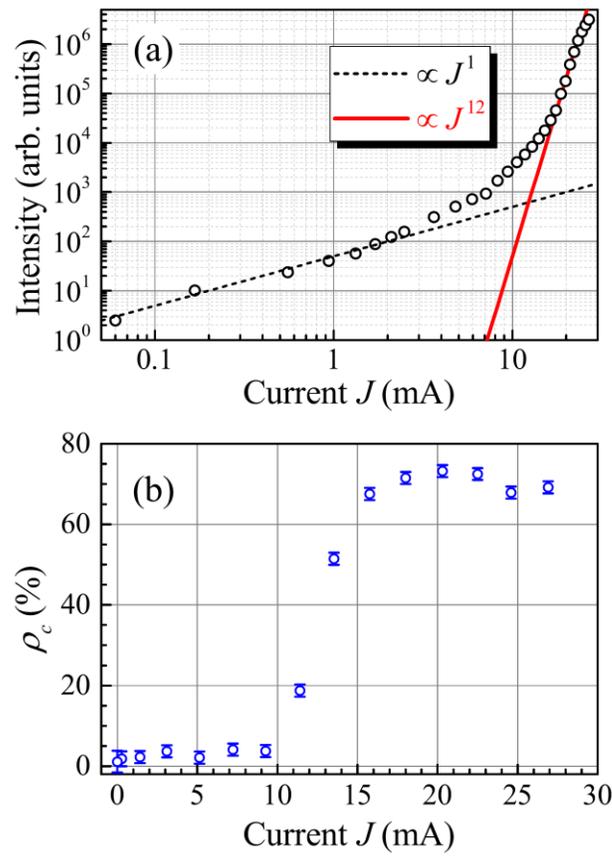
Лазер циркулярно-поляризованного излучения на основе AlGaAs брэгговских микрорезонаторов, электрическая накачка

A.A.Maksimov *et al. Phys. Rev. Appl.* **17**, L021001 (2022)



Спектры излучения киральной структуры выше (a, b) и ниже (c, d) порогового тока $J_{th} \approx 10$ mA.

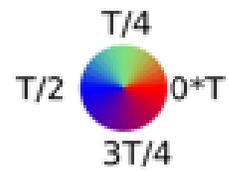
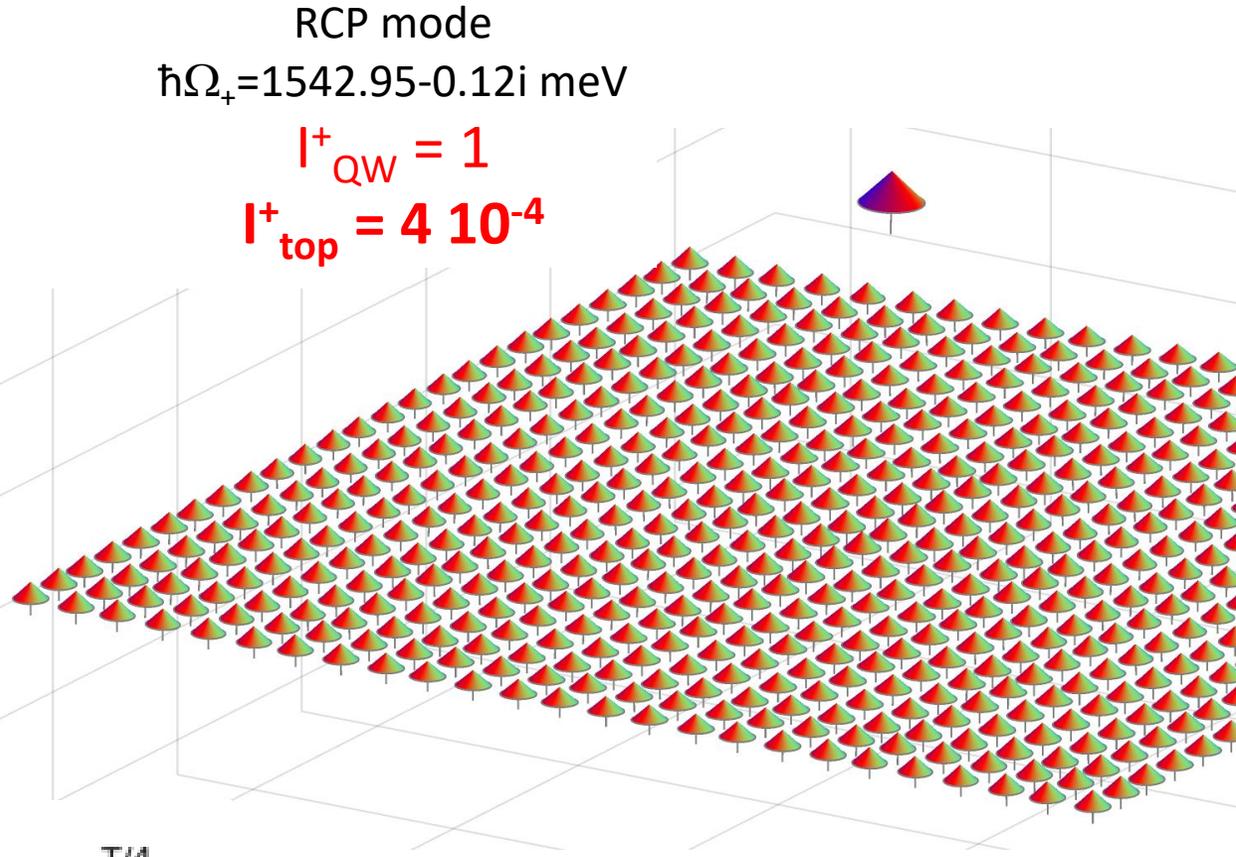
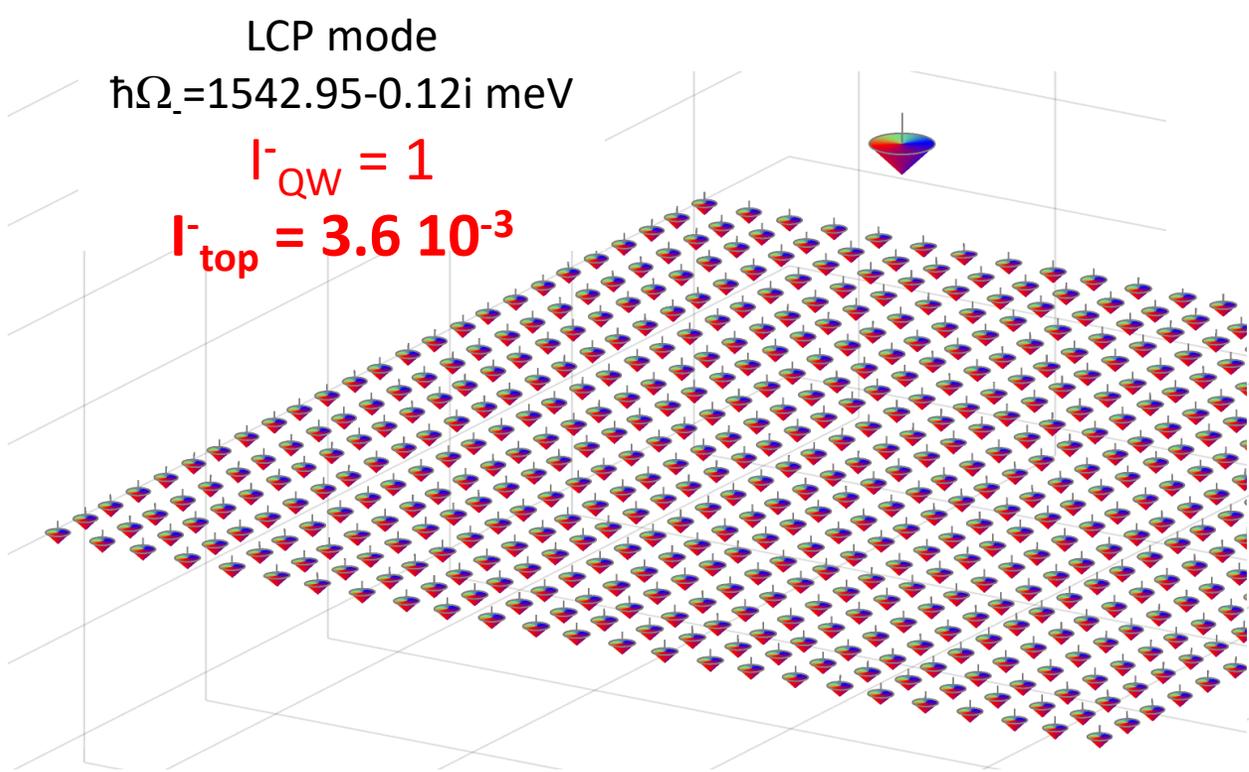
- (a) Зависимость интенсивности излучения киральной структуры от возбуждающего тока J
- (b) Типичная зависимость степени циркулярной поляризации излучения киральной структуры ρ_c от тока J .



ПЛАН ДОКЛАДА

1. Введение
2. Циркулярно-поляризованная фотолюминесценция и лазеры циркулярно-поляризованного излучения на основе хиральных фотонных структур
3. Свойства резонансных экситон-поляритонных мод в хиральном микрорезонаторе вблизи Γ -точки хирального фотонного кристалла и порог лазерной генерации
4. Мультистабильности в хиральных микрорезонаторах при резонансной оптической накачке
5. 2D хиральные метамембраны с максимальным циркулярным дихроизмом отражения и пропускания и хиральные Фабри-Перо микрорезонаторы
6. Заключение

AlGaAs брэгговский микрорезонатор с GaAs квантовыми ямами и киральной модуляцией верхнего зеркала: РЕЗОНАНСНЫЕ МОДЫ



© Н.А.Гиппиус

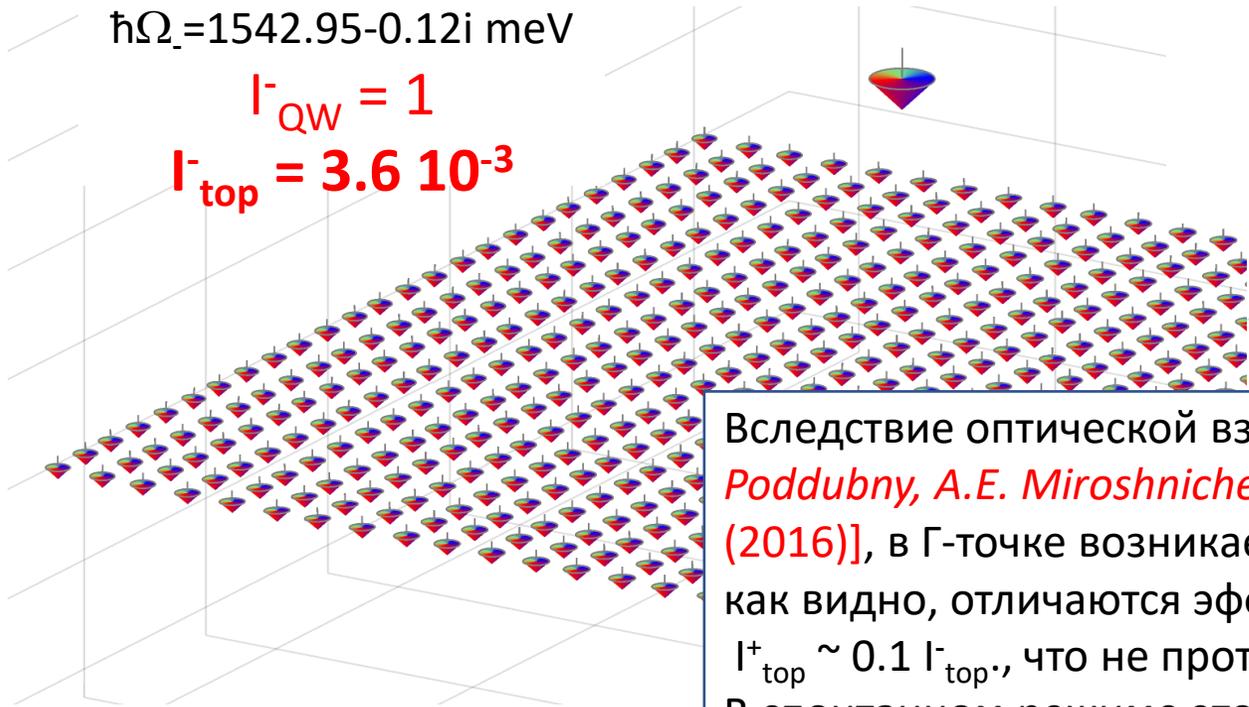
AlGaAs брэгговский микрорезонатор с GaAs квантовыми ямами и киральной модуляцией верхнего зеркала: РЕЗОНАНСНЫЕ МОДЫ

LCP mode

$$\hbar\Omega_{-} = 1542.95 - 0.12i \text{ meV}$$

$$\Gamma_{\text{QW}}^{-} = 1$$

$$\Gamma_{\text{top}}^{-} = 3.6 \cdot 10^{-3}$$

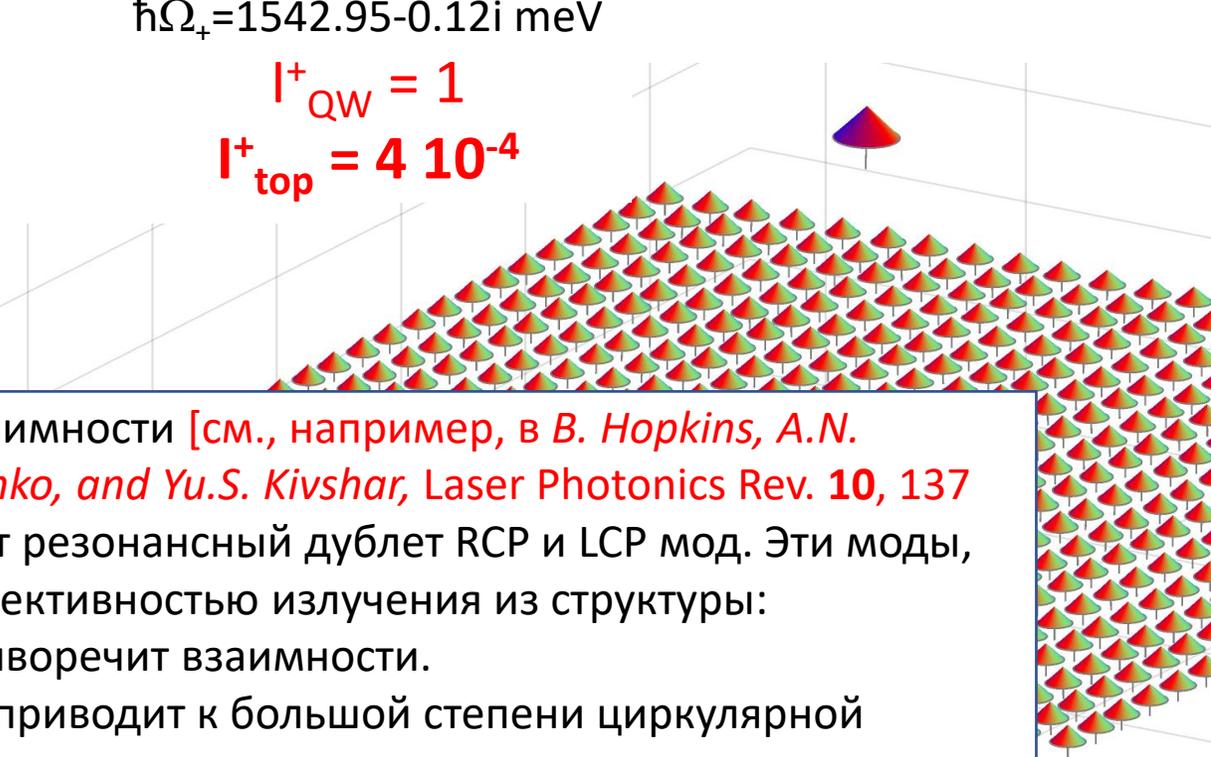


RCP mode

$$\hbar\Omega_{+} = 1542.95 - 0.12i \text{ meV}$$

$$\Gamma_{\text{QW}}^{+} = 1$$

$$\Gamma_{\text{top}}^{+} = 4 \cdot 10^{-4}$$



Вследствие оптической взаимности [см., например, в *B. Hopkins, A.N. Poddubny, A.E. Miroschnichenko, and Yu.S. Kivshar, Laser Photonics Rev. 10, 137 (2016)*], в Γ -точке возникает резонансный дублет RCP и LCP мод. Эти моды, как видно, отличаются эффективностью излучения из структуры:

$\Gamma_{\text{top}}^{+} \sim 0.1 \Gamma_{\text{top}}^{-}$, что не противоречит взаимности.

В спонтанном режиме это приводит к большой степени циркулярной поляризации фотолюминесценции по нормали к структуре:

$$\rho_{C,\text{sp}} = \frac{I_{\text{top}}^{+} - I_{\text{top}}^{-}}{I_{\text{top}}^{+} + I_{\text{top}}^{-}} \approx -0.8$$

AlGaAs брэгговский микрорезонатор с GaAs квантовыми ямами и киральной модуляцией верхнего зеркала: РЕЗОНАНСНЫЕ МОДЫ

LCP mode

$$\hbar\Omega_- = 1542.95 - 0.12i \text{ meV}$$

$$\Gamma_{\text{QW}}^- = 1$$

$$\Gamma_{\text{top}}^- = 3.6 \cdot 10^{-3}$$

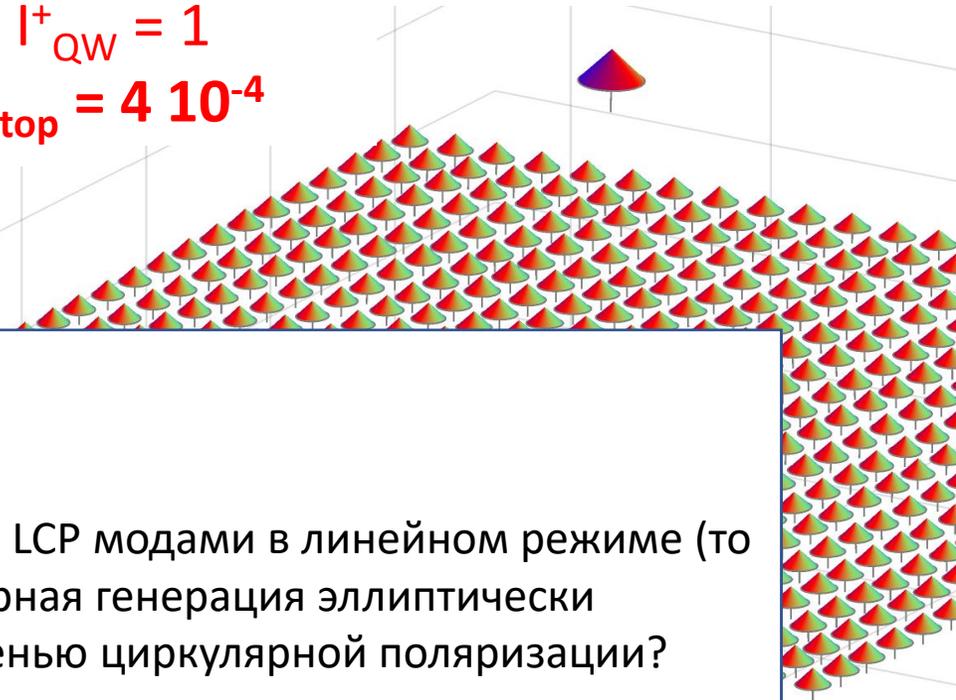


RCP mode

$$\hbar\Omega_+ = 1542.95 - 0.12i \text{ meV}$$

$$\Gamma_{\text{QW}}^+ = 1$$

$$\Gamma_{\text{top}}^+ = 4 \cdot 10^{-4}$$



Возникают вопросы:

Как в структуре с вырожденными RCP и LCP модами в линейном режиме (то есть, вплоть до порога) возникает лазерная генерация эллиптически поляризованного света с высокой степенью циркулярной поляризации?

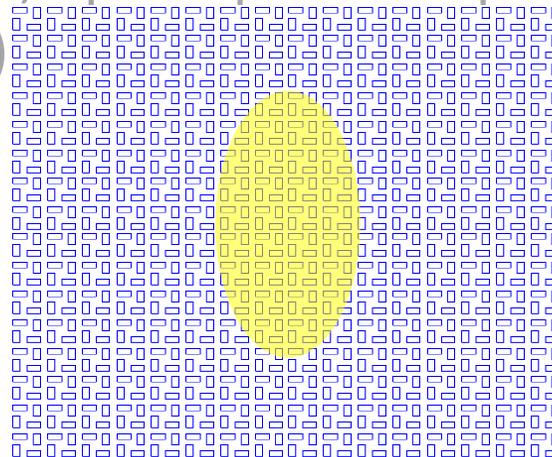
Почему знак циркулярной поляризации до и после порога лазерной генерации совпадают?

Нарушение C4 симметрии

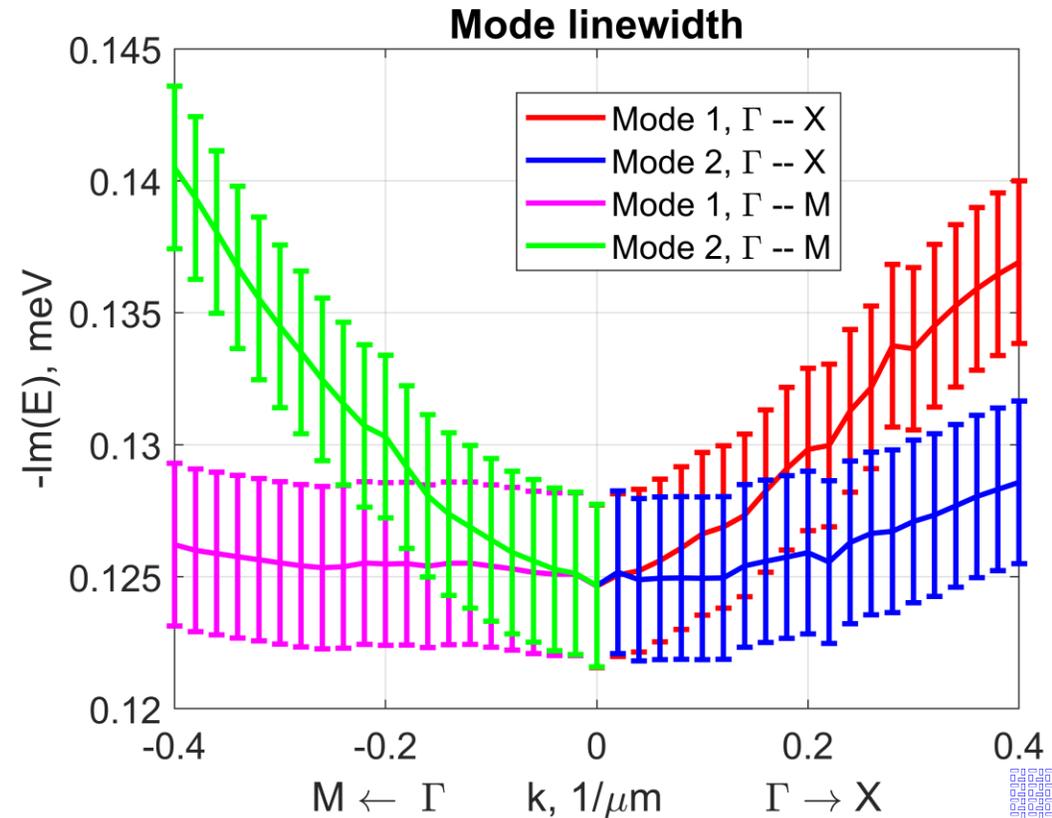
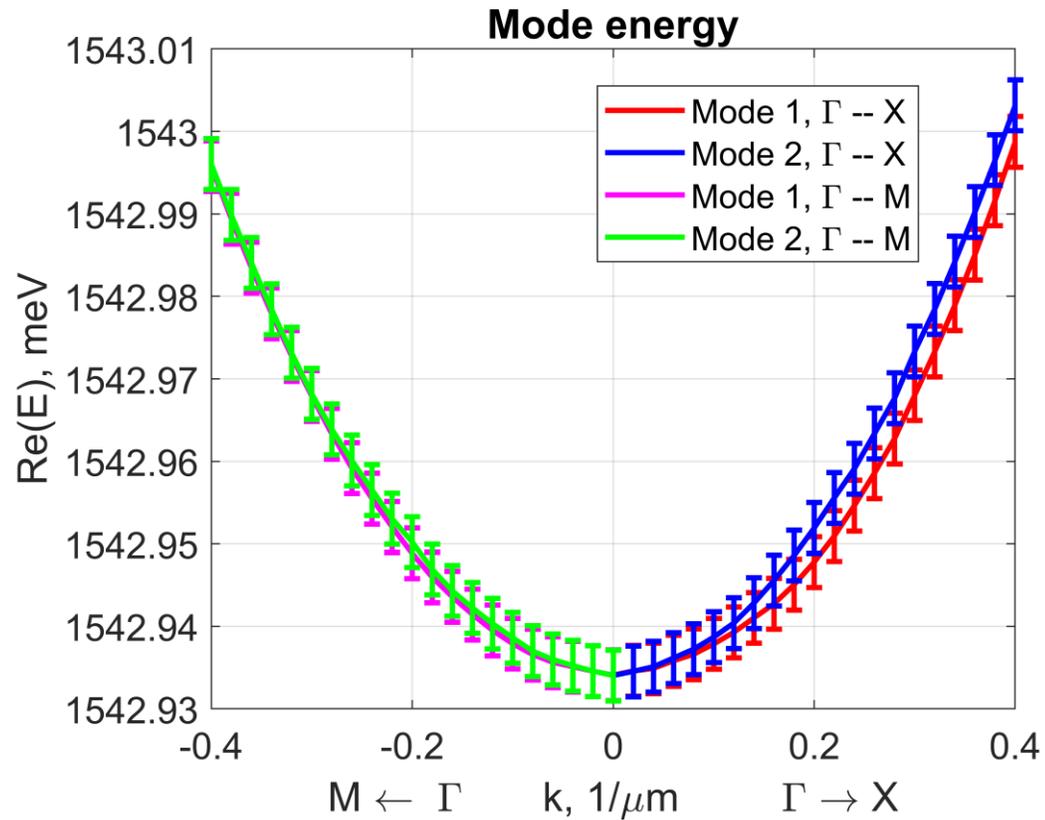
Н.В.Валенко и др. *Письма в ЖЭТФ* **121**, 876 (2025)

Возможные причины понижения C4 симметрии и снятия вырождения дублета:

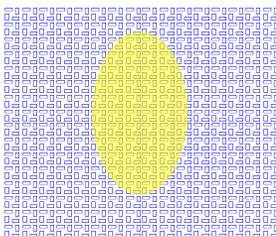
- Отклонение решетки или формы микропилларов от квадратной;
- Наклон плоскостей зеркал или квантовых ям в микрорезонаторе;
- Отклонение направления излучения от нормали к поверхности;
- Отклонение формы области возбуждения от цилиндрической (например, эллиптическая)
- Нелинейность системы (например, при пороговом развитии лазерной генерации или резонансной оптической накачке)



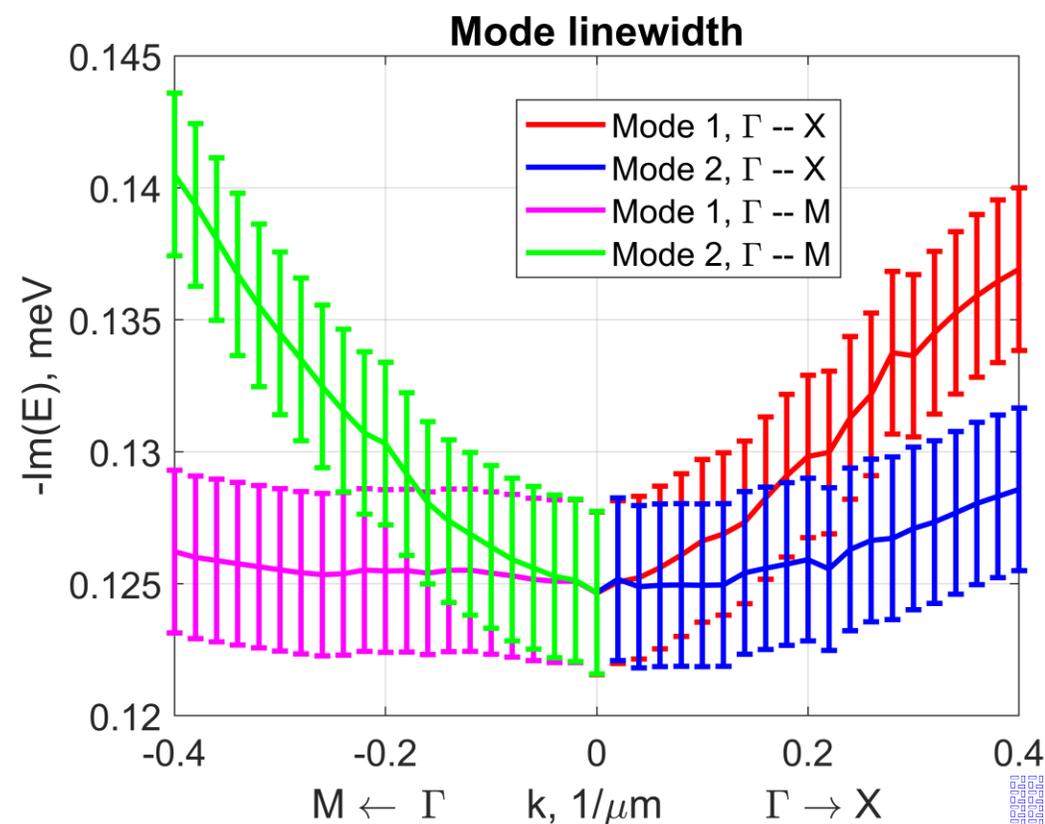
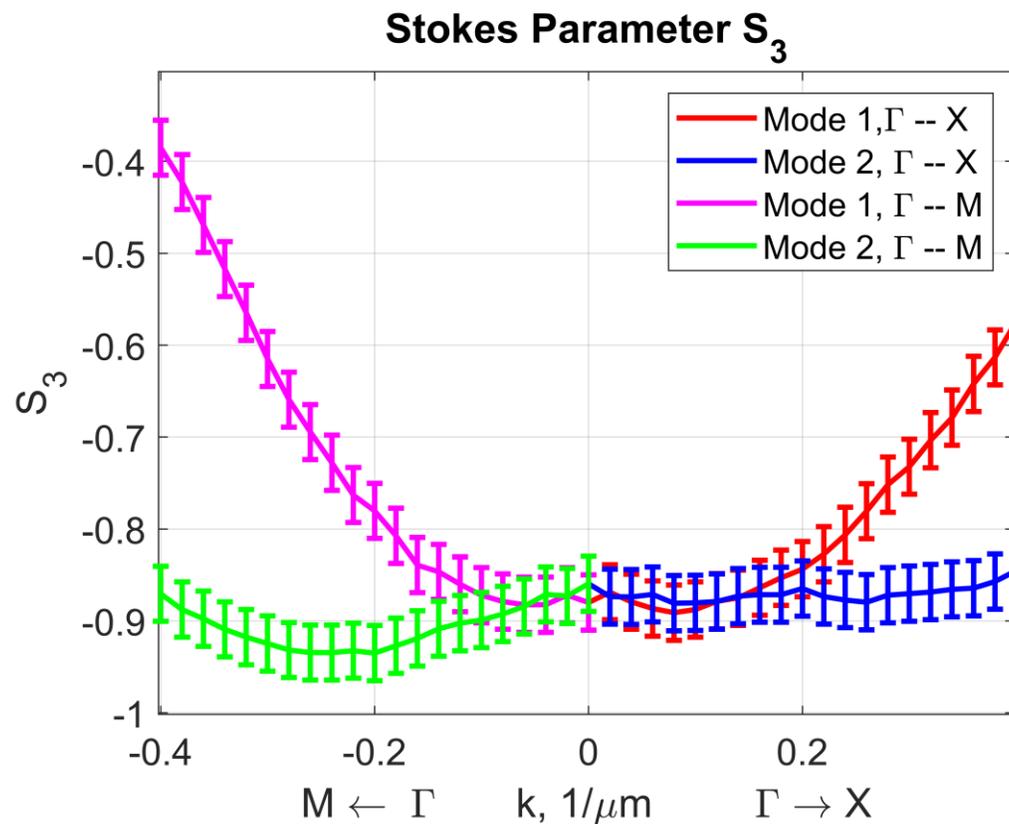
Frequency and width dispersion of resonant modes near the Γ -point



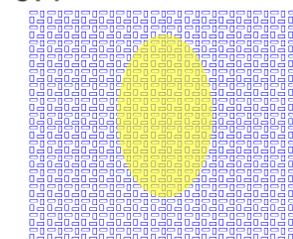
$k=0.4 \mu\text{m}^{-1}$ соответствует угловой апертуре пучка примерно $\theta=3^\circ$



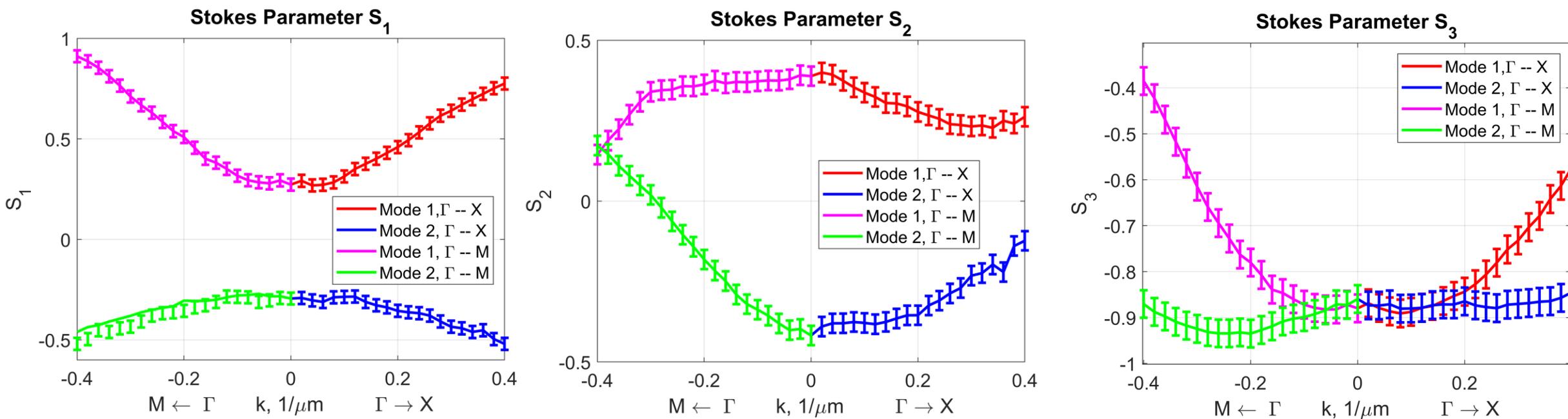
Dispersion of the Stokes parameter S_3 and widths of resonant modes near the Γ -point



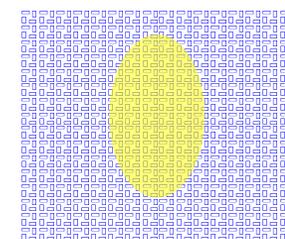
$k=0.4 \mu\text{m}^{-1}$ соответствует угловой апертуре пучка примерно $\theta=3^\circ$



Dispersion of the Stokes parameter S_1 , S_2 and S_3



$k=0.4 \mu\text{m}^{-1}$ соответствует угловой апертуре пучка примерно $\theta=3^\circ$



ПЛАН ДОКЛАДА

1. Введение
2. Циркулярно-поляризованная фотолюминесценция и лазеры циркулярно-поляризованного излучения на основе хиральных фотонных структур
3. Свойства резонансных экситон-поляритонных мод в хиральном микрорезонаторе вблизи Γ -точки хирального фотонного кристалла и порог лазерной генерации
- 4. Мультистабильности в хиральных микрорезонаторах при резонансной оптической накачке**
5. 2D хиральные метамембраны с максимальным циркулярным дихроизмом отражения и пропускания и хиральные Фабри-Перо микрорезонаторы
6. Заключение

Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке

О.А. Дмитриева и др. *ЖЭТФ* **169**, 181 (2026)

$$\begin{cases} (\omega - \omega_C)\mathcal{E}_{\pm} = \alpha_{\pm}\mathcal{E}_{\text{ext},\pm} + \beta\mathcal{P}_{\pm}, \\ (\omega - \omega_X)\mathcal{P}_{\pm} = A\mathcal{E}_{\pm} + F|\mathcal{P}_{\pm}|^2\mathcal{P}_{\pm} \end{cases}$$

(1): **линейное** уравнение Максвелла в резонансном приближении

(2) **нелинейное** уравнение Гросса-Питаевского.

Оба уравнения написаны в σ^{\pm} базисе.

N.A.Gippius et al., PRL **98**, 236401 (2007)

В линейном режиме взаимность уравнений Максвелла приводит к вырождению Фано резонансов по спину: резонансные частоты ω_C и ω_X , в том числе их мнимые части – ширины резонансов, – а также константы связи β и A **НЕ ЗАВИСЯТ** от знака циркулярной поляризации [*B. Hopkins et al., Laser Photonics Rev.* **10**, 137 (2016)].

Только α^{\pm} , константа связи внешнего поля и поля внутри резонатора зависит от знака циркулярной поляризации.

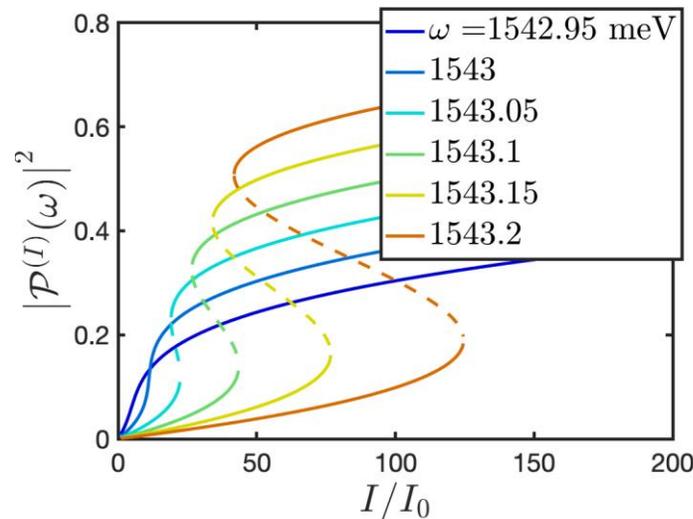
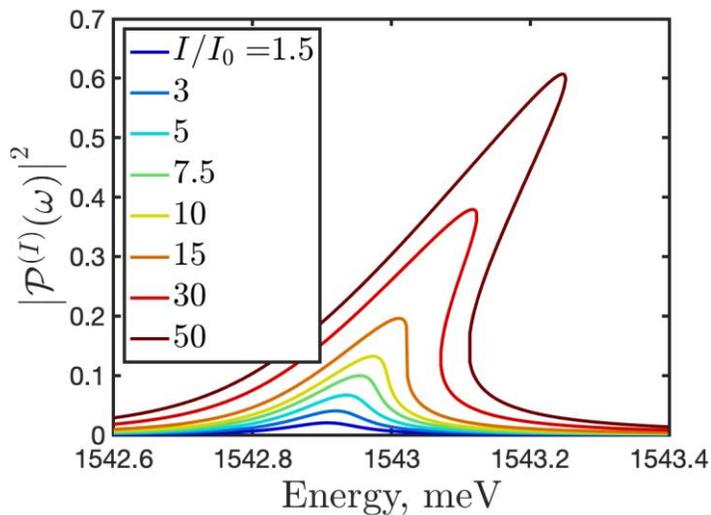
В нелинейном случае ($F \neq 0$) **это приводит к снятию вырождения между лево- и право-поляризованными состояниями!**

Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке

Кубическое уравнение для зависимости амплитуды внешнего поля от амплитуды экситонной поляризации

$$\mathcal{P}_{\pm} \left[(\omega - \omega_C)(\omega - \omega_X - F |\mathcal{P}_{\pm}|^2) - \Omega_R^2 \right] = A \alpha_{\pm} \mathcal{E}_{\text{ext}\pm}$$

приводит к хорошо известной S-образности отклика поляритонов на интенсивность внешнего поля и оптической бистабильности



Все вычисления сделаны для акирального микрорезонатора с

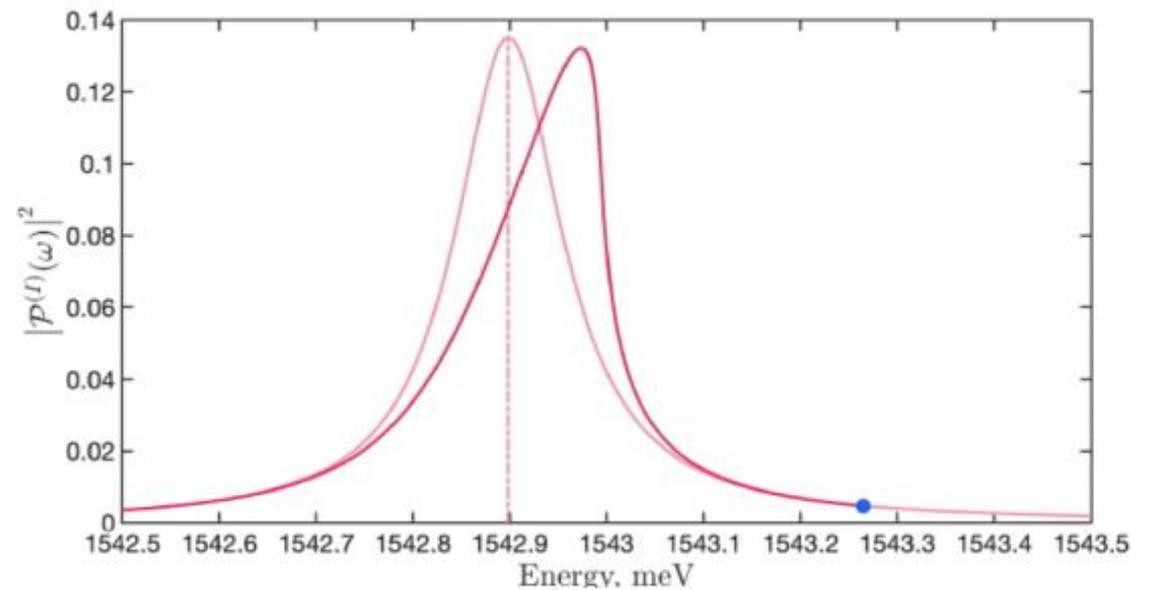
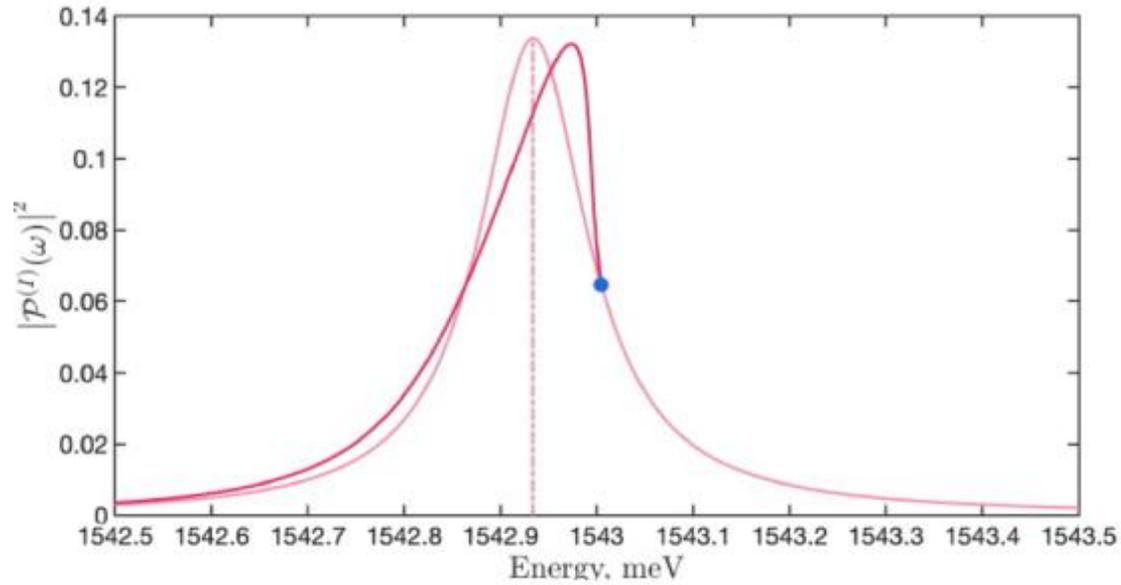
$$\alpha_+ = \alpha_-$$

$$I_0 = \frac{c}{8\pi} \frac{A}{F} \approx 3.5 \text{ W/cm}^2$$

N.A.Gippius et al., EPL 67, 997 (2004)

Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке

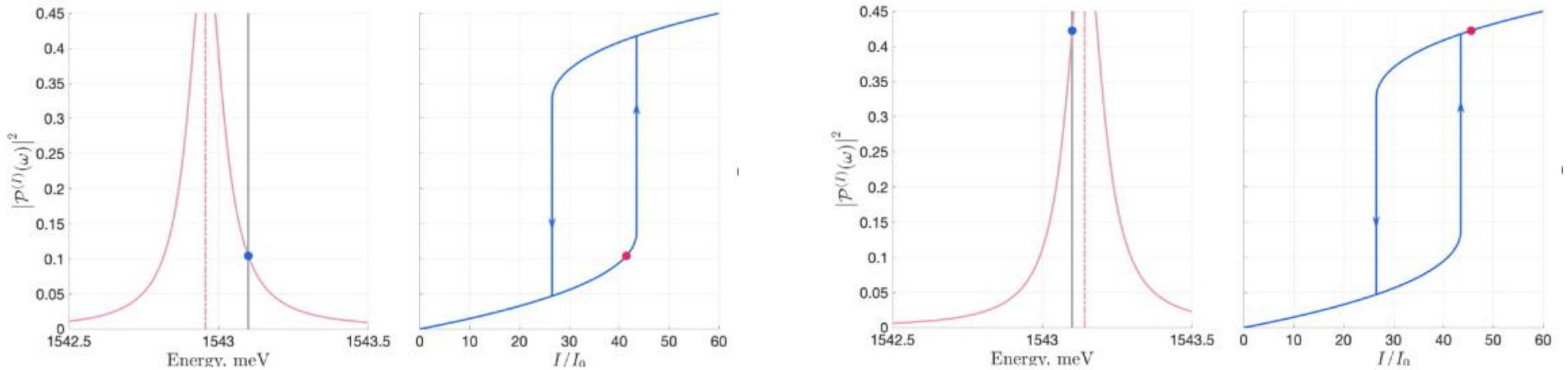
$$\mathcal{P}_{\pm} \left[(\omega - \omega_C)(\omega - \omega_X - F |\mathcal{P}_{\pm}|^2) - \Omega_R^2 \right] = A \alpha_{\pm} \mathcal{E}_{\text{ext}\pm}$$



Интенсивность накачки фиксирована, меняется отстройка от резонанса

Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке

$$\mathcal{P}_{\pm} \left[(\omega - \omega_C)(\omega - \omega_X - F |\mathcal{P}_{\pm}|^2) - \Omega_R^2 \right] = A \alpha_{\pm} \mathcal{E}_{\text{ext}\pm}$$



Отстройка от резонанса фиксирована, меняется интенсивность накачки

Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке

$$\mathcal{P}_{\pm} \left[(\omega - \omega_C)(\omega - \omega_X - F |\mathcal{P}_{\pm}|^2) - \Omega_R^2 \right] = A\alpha_{\pm} \mathcal{E}_{\text{ext}\pm}$$

В киральном микрорезонаторе $\alpha_+ \neq \alpha_-$

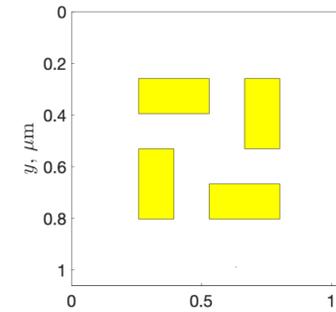
S-кривые для правой и левой циркулярной поляризации отличаются только масштабом по горизонтальной оси интенсивности!

При **линейно-поляризованной** резонансной накачке это приводит к разным интенсивностям скачков:

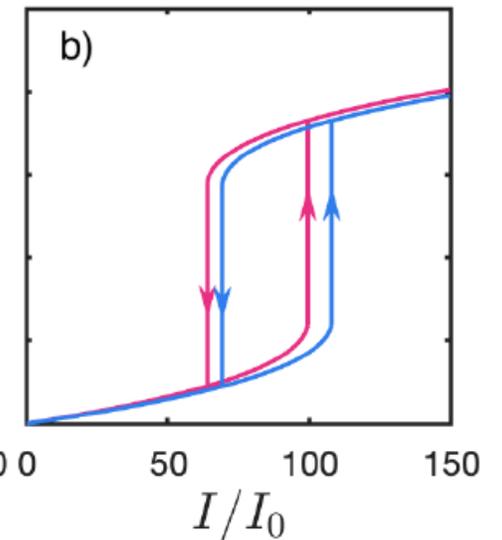
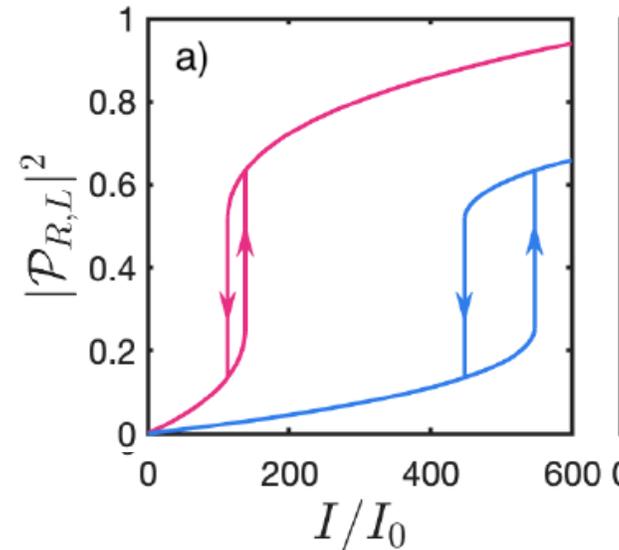
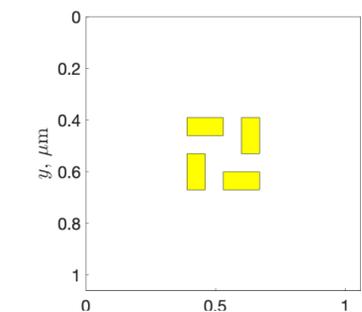
панель (a) показывает ситуацию с большой разницей между α_+ и α_- (оптимизированный киральный микрорезонатор).

панель (b) - для мало отличающихся α_+ и α_- (неоптимизированный микрорезонатор)

Оптимизированный микрорезонатор



Неоптимизированный микрорезонатор

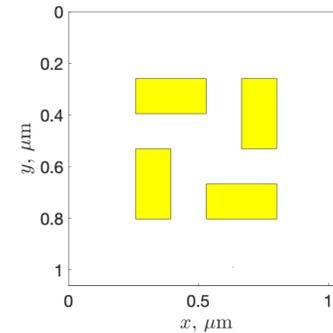


Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке

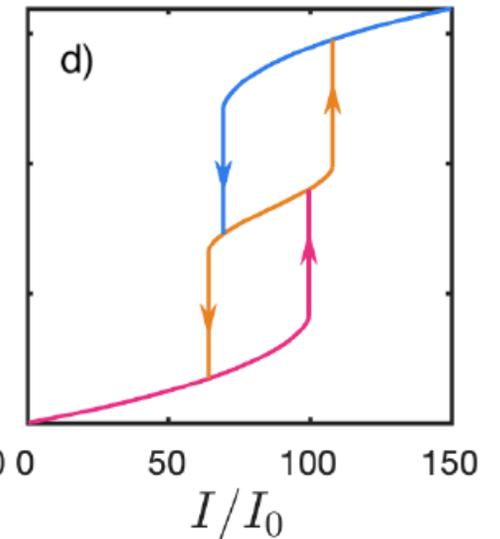
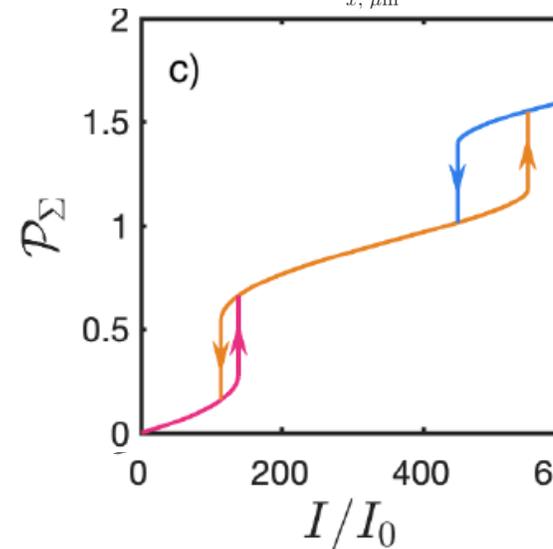
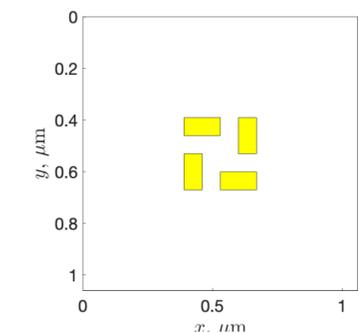
В результате при линейно-поляризованной накачке возникает мультистабильность

N.A.Gippius et al., PRL 98, 236401 (2007)

Оптимизированный микрорезонатор



Неоптимизированный микрорезонатор



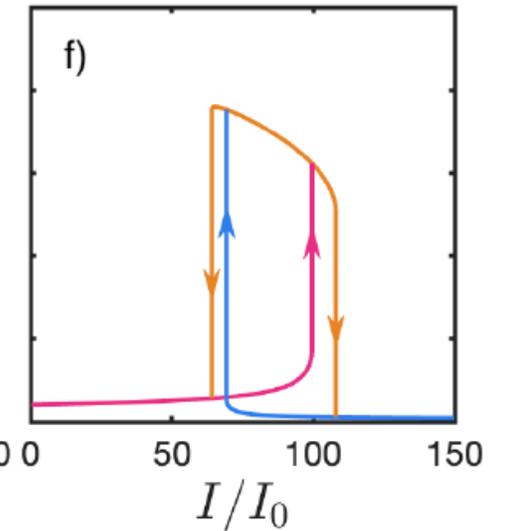
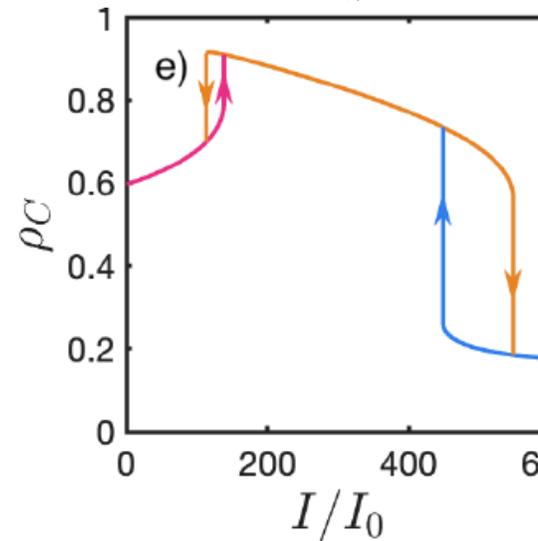
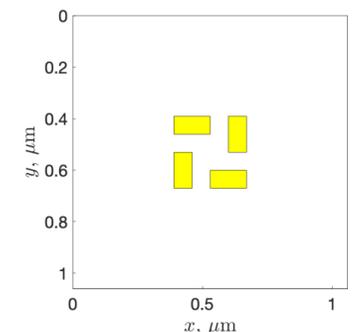
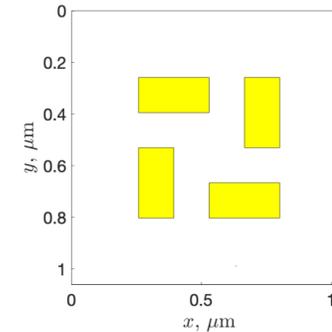
Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке

Мультистабильность проявляется в резких скачках степени циркулярной поляризации поляритонов

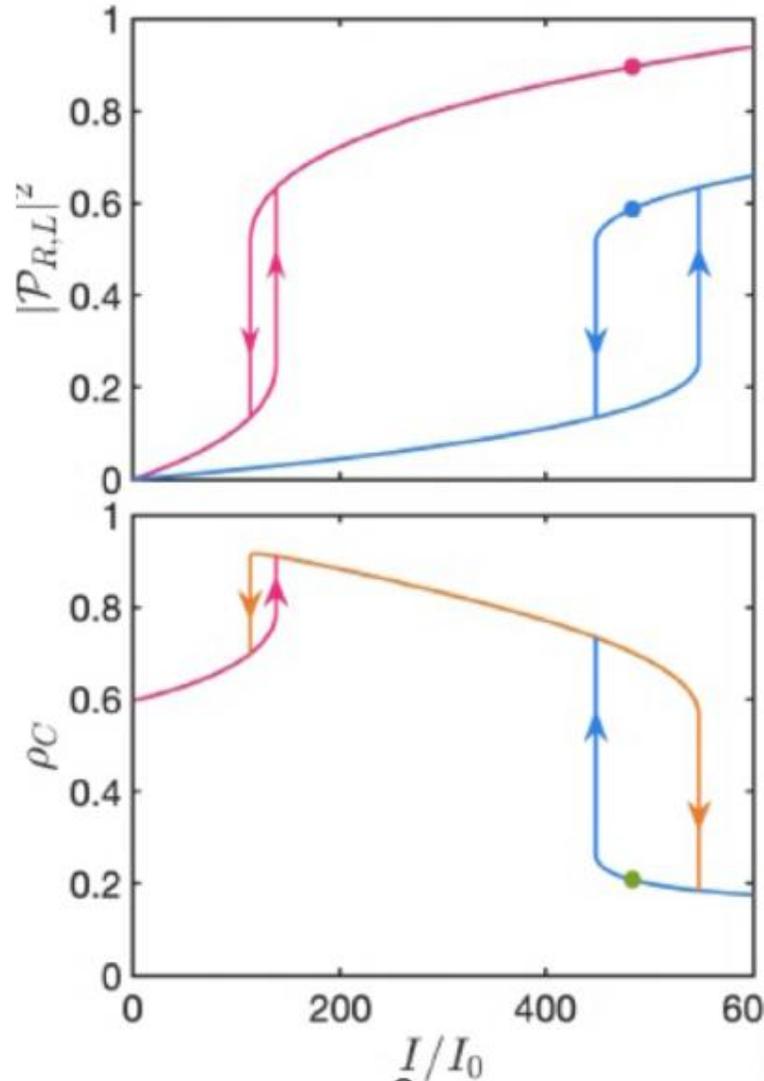
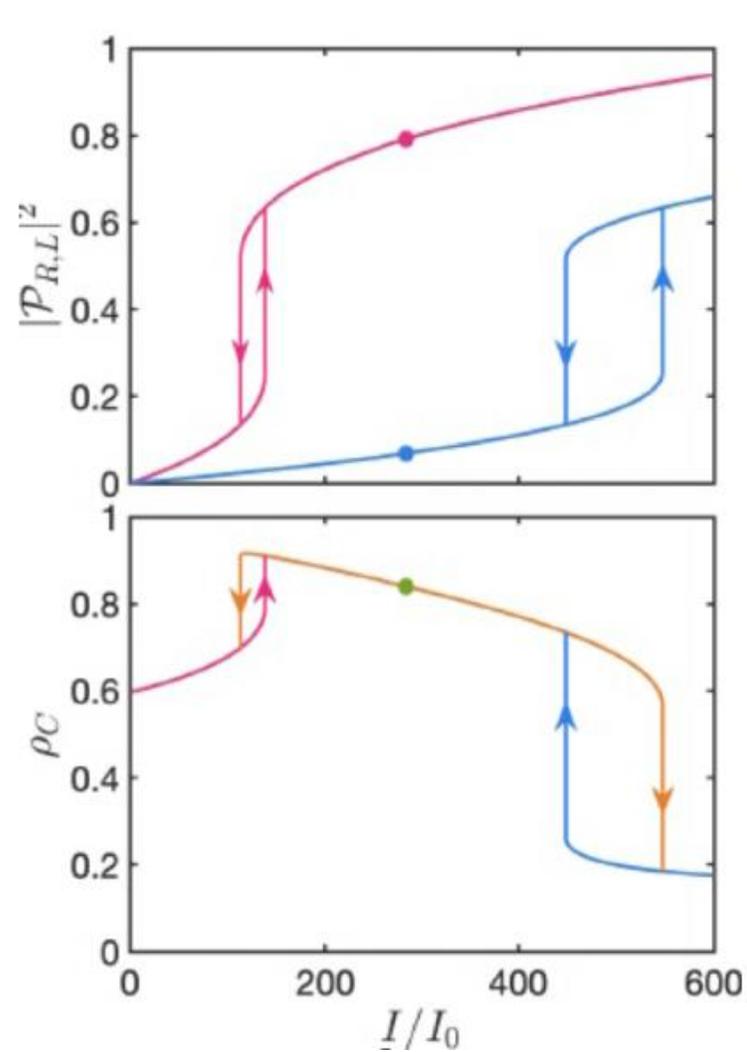
$$\rho_c = \frac{|\mathcal{P}_R|^2 - |\mathcal{P}_L|^2}{|\mathcal{P}_R|^2 + |\mathcal{P}_L|^2}$$

Отметим, что амплитуда изменения степени циркулярной поляризации поляритонов при скачках даже больше в неоптимизированном микрорезонаторе, чем в оптимизированном

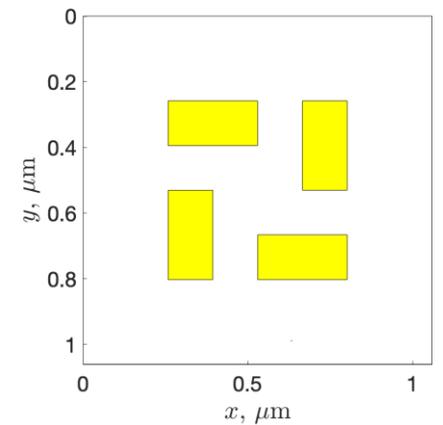
Оптимизированный микрорезонатор Неоптимизированный микрорезонатор



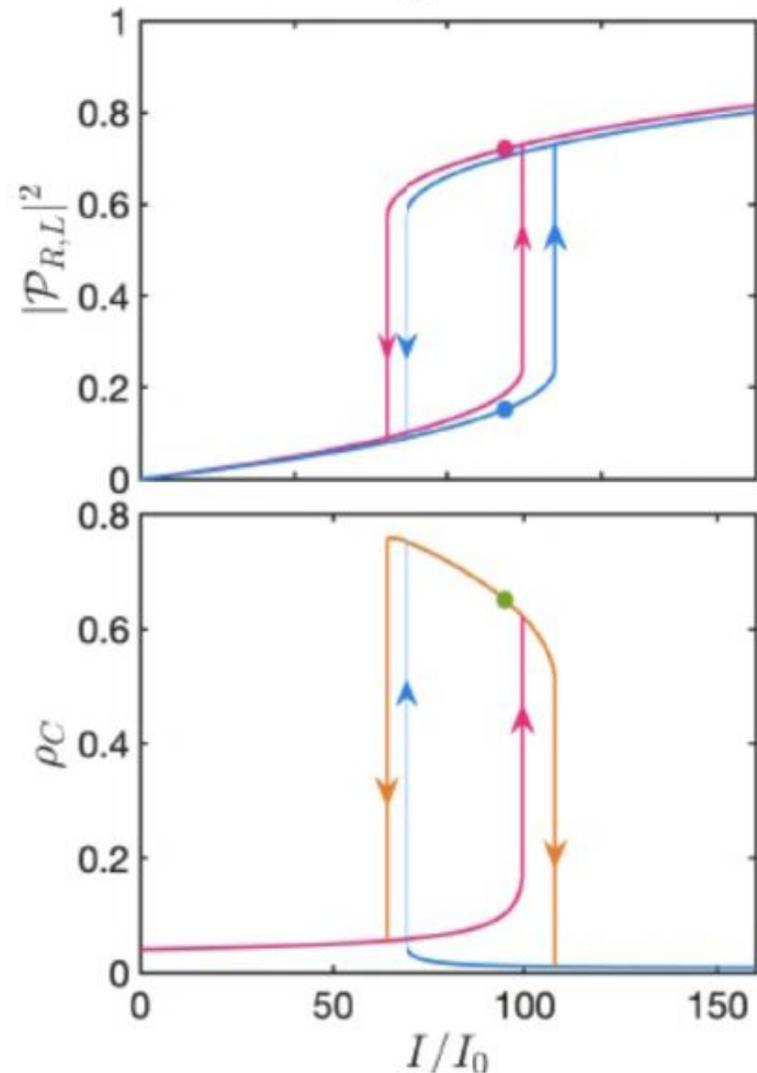
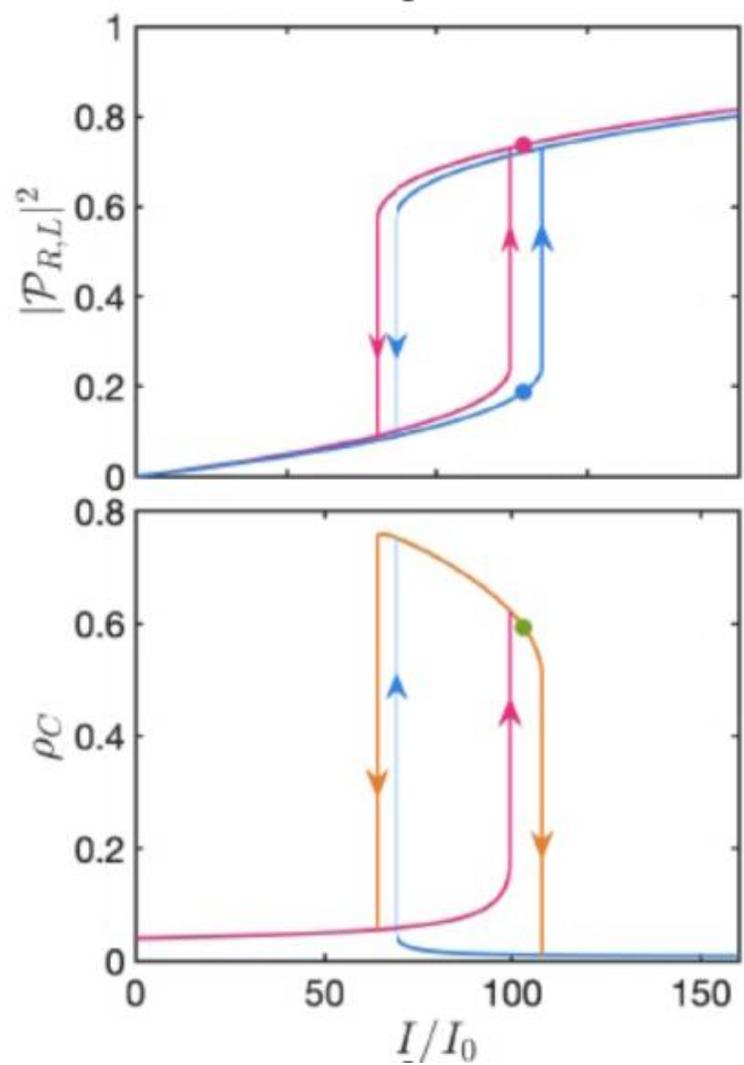
Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке



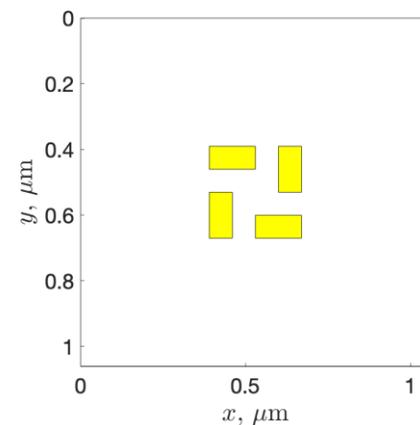
Оптимизированный микрорезонатор



Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе при резонансной оптической накачке

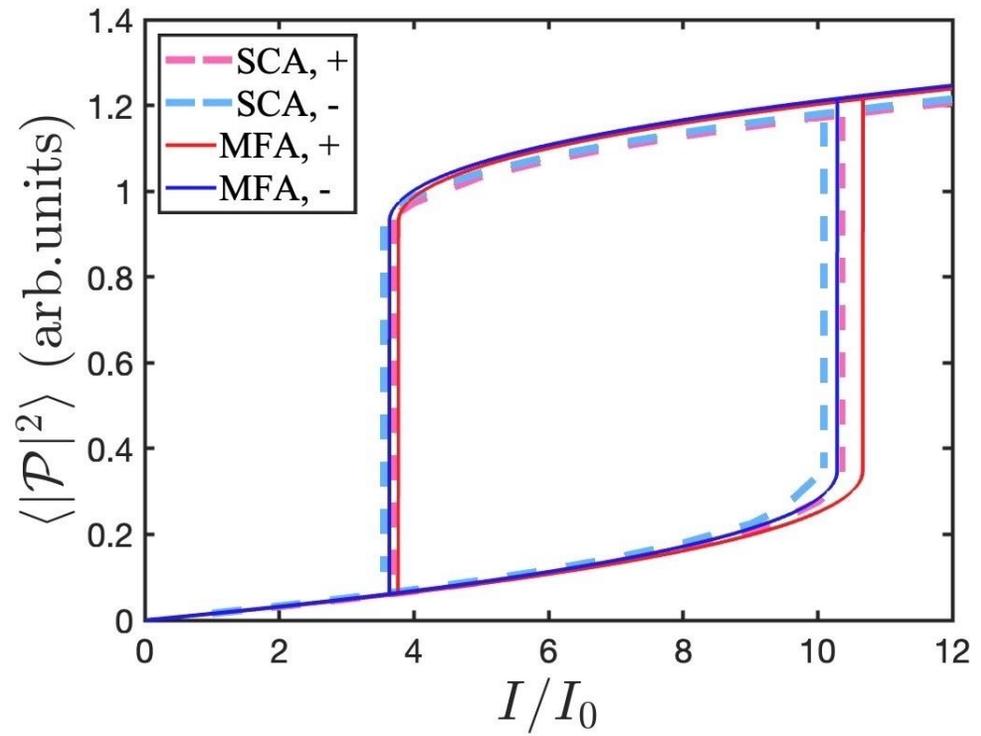
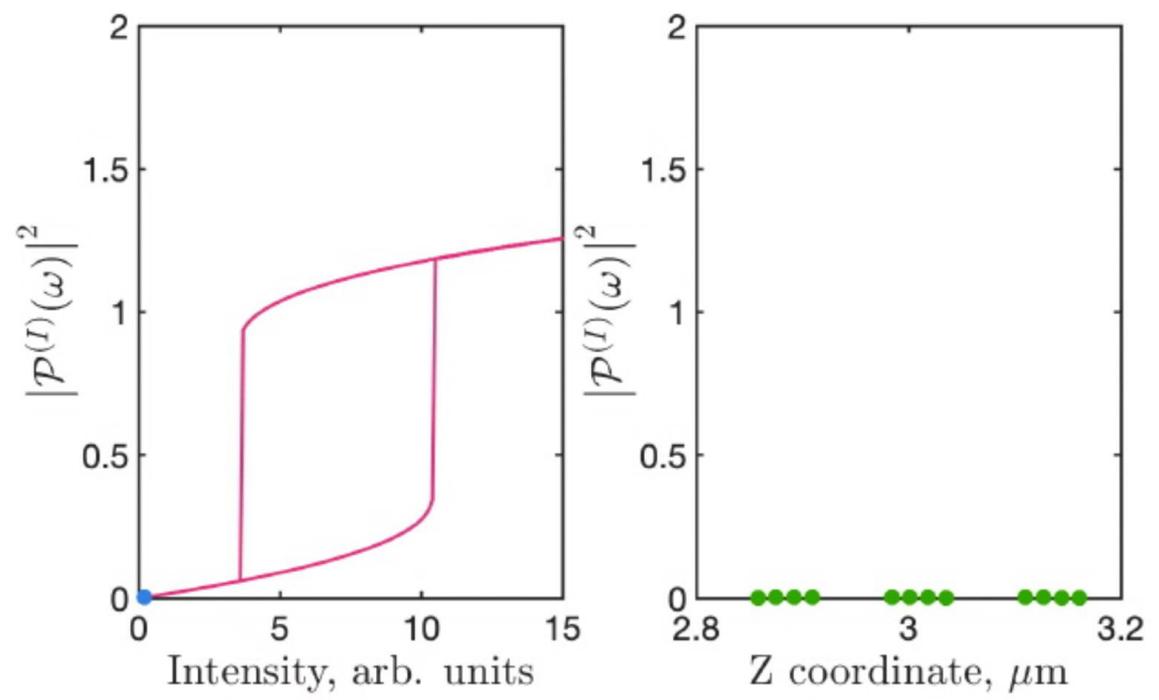


Неоптимизированный микрорезонатор



Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе: самосогласованный расчёт

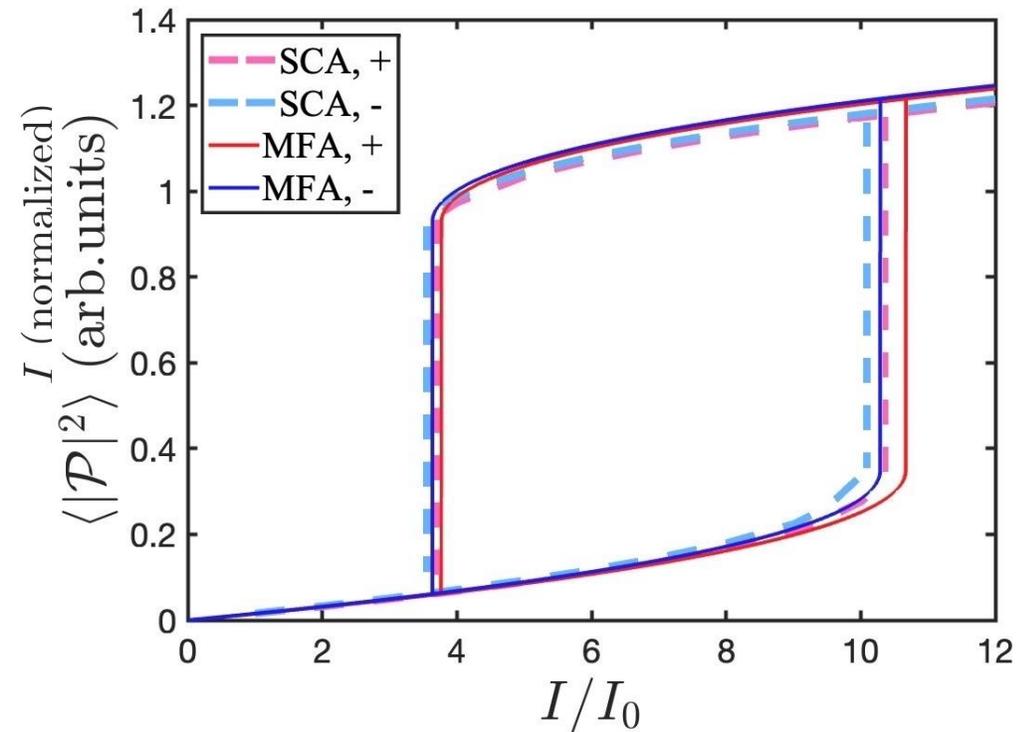
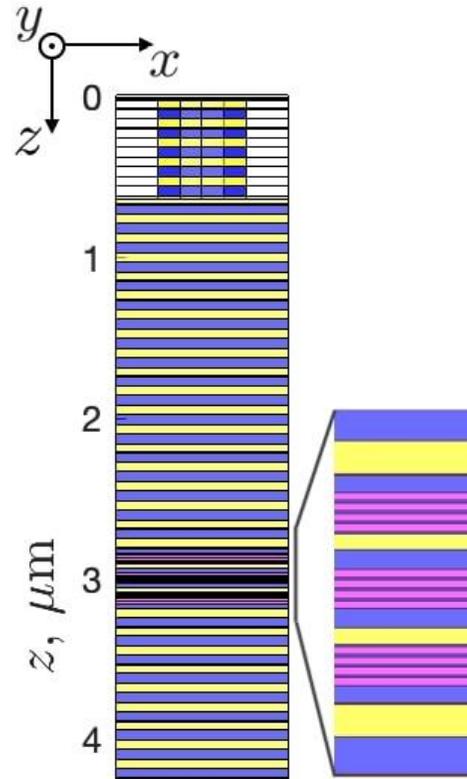
Все предыдущие результаты были вычислены в приближении «среднего поля», в котором 12 реальных квантовых ям реального микрорезонатора были заменены одной «эффективной» квантовой ямой с усредненным по всем ямам средним электрическим полем. В реальности эти поля сильно различаются. Однако самосогласованный учёт этих различий не приводит к каким-либо существенным изменениям гистерезисов



Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе: самосогласованный расчёт

Все предыдущие результаты были вычислены в приближении «среднего поля», в котором 12 реальных квантовых ям реального микрорезонатора были заменены одной «эффективной» квантовой ямой с усредненным по всем ямам средним электрическим полем. В реальности эти поля сильно различаются.

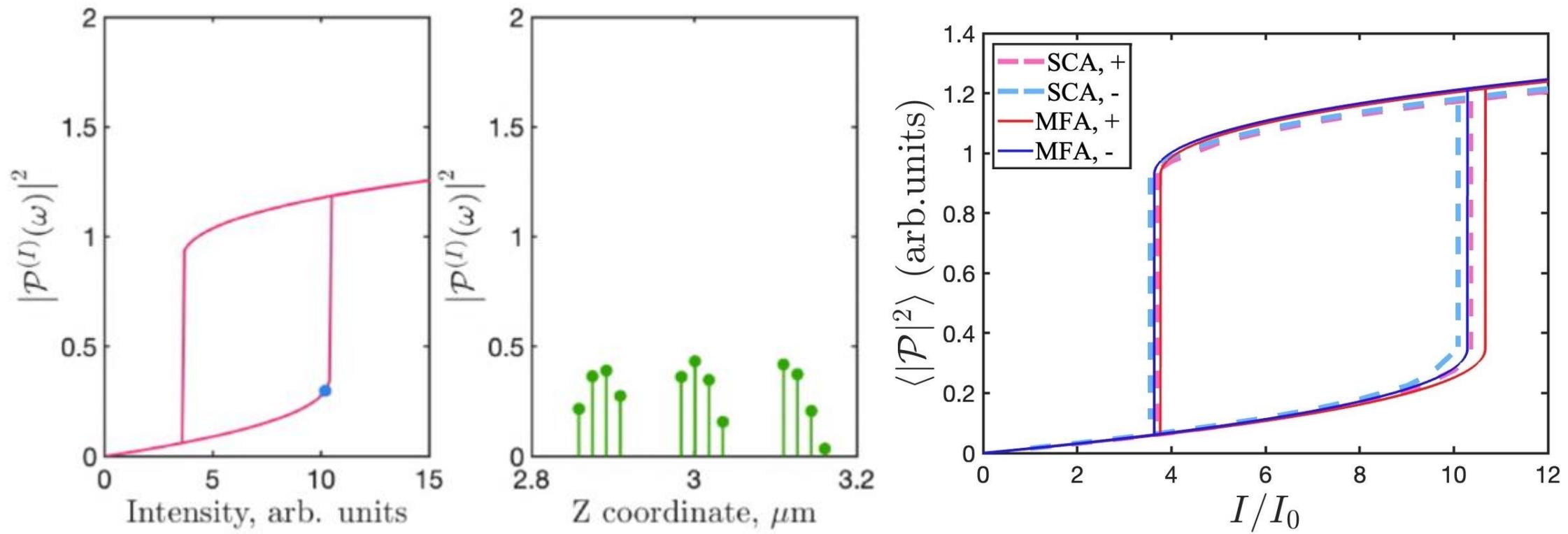
Однако самосогласованный учёт этих различий не приводит к каким-либо существенным изменениям гистерезисов



Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе: самосогласованный расчёт

Все предыдущие результаты были вычислены в приближении «среднего поля», в котором 12 реальных квантовых ям реального микрорезонатора были заменены одной «эффективной» квантовой ямой с усредненным по всем ямам средним электрическим полем. В реальности эти поля сильно различаются.

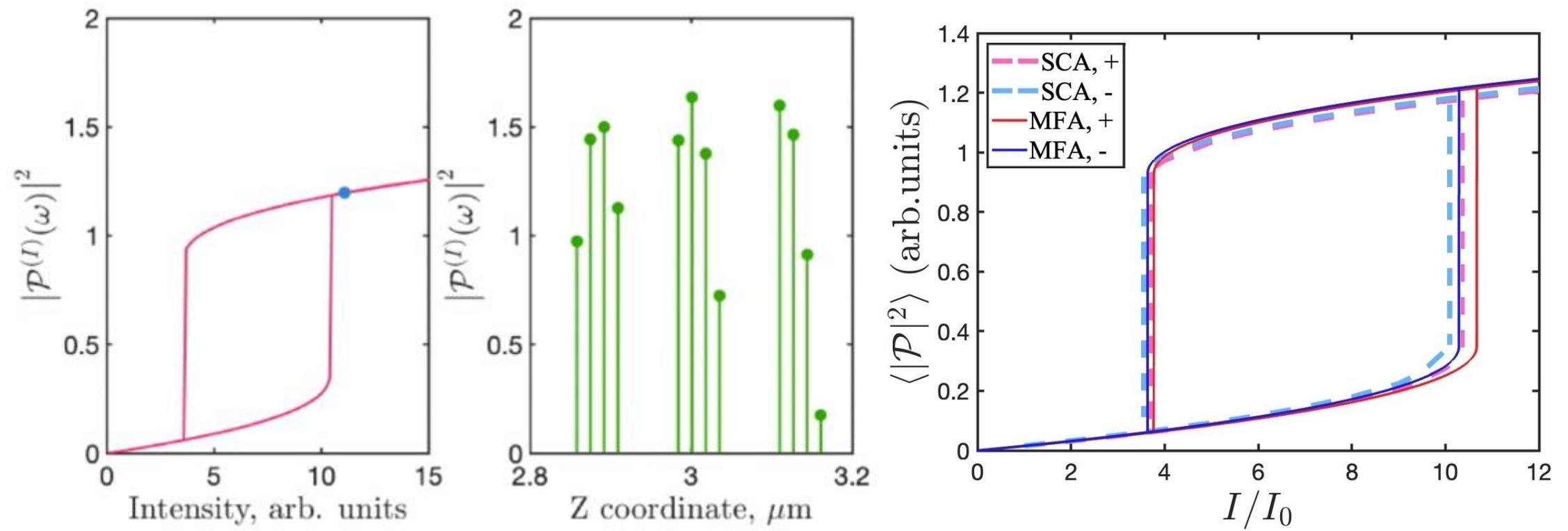
Однако самосогласованный учёт этих различий не приводит к каким-либо существенным изменениям гистерезисов



Экситон-поляритонная мультистабильность в киральном полупроводниковом микрорезонаторе: самосогласованный расчёт

Все предыдущие результаты были вычислены в приближении «среднего поля», в котором 12 реальных квантовых ям реального микрорезонатора были заменены одной «эффективной» квантовой ямой с усредненным по всем ямам средним электрическим полем. В реальности эти поля сильно различаются.

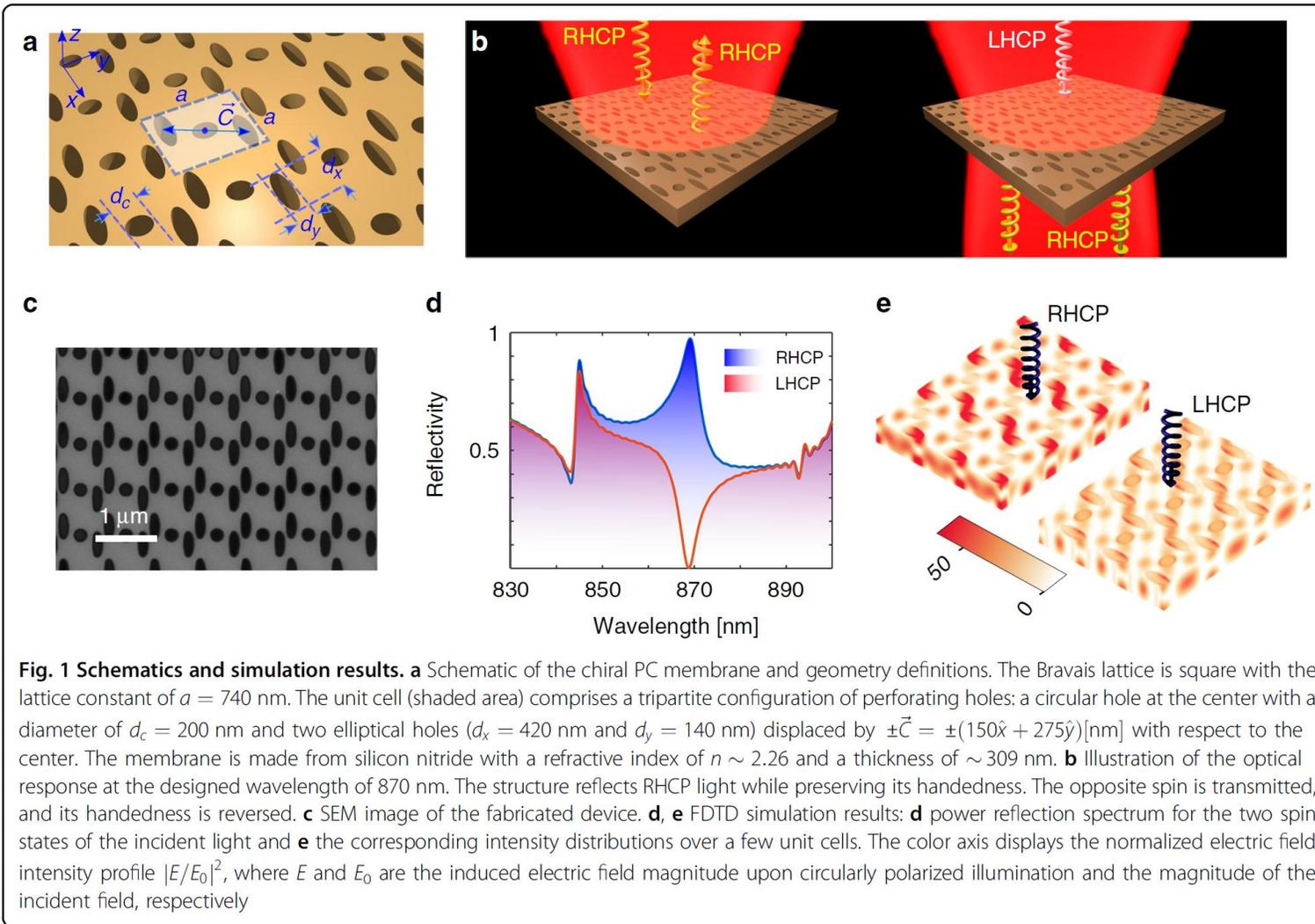
Однако самосогласованный учёт этих различий не приводит к каким-либо существенным изменениям гистерезисов



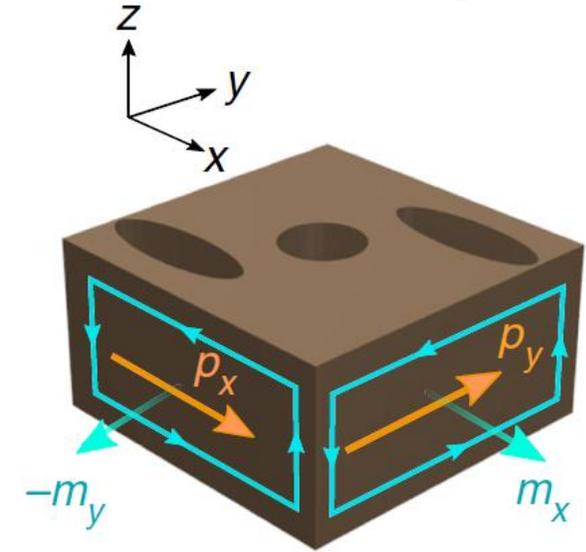
ПЛАН ДОКЛАДА

1. Введение
2. Циркулярно-поляризованная фотолюминесценция и лазеры циркулярно-поляризованного излучения на основе хиральных фотонных структур
3. Свойства резонансных экситон-поляритонных мод в хиральном микрорезонаторе вблизи Γ -точки хирального фотонного кристалла и порог лазерной генерации
4. Мультистабильности в хиральных микрорезонаторах при резонансной оптической накачке
5. 2D хиральные метамембраны с максимальным циркулярным дихроизмом отражения и пропускания и хиральные Фабри-Перо микрорезонаторы
6. Заключение

2D хиральные метамембраны



Point symmetry C_{2h} is also interesting



Experimental realization for optical range on SiN

C_{2h} symmetry allows conversion of circular polarization

B.Semnani, J.Flannery, R.Al Maruf, M. Bajcsy. Spin-preserving chiral photonic crystal mirror. Light: Sci & Appl. 9, 23 (2020)

C_{2h} симметрия, падение света по нормали.

Циркулярный дихроизм пропускания и отражения

Circular dichroism (CD) of transmission and reflection in **circular cross- and co-polarization** of a structure with C_{2h} symmetry at normal light incidence

$$CDT_{\text{cross}} = \frac{T_{rl} - T_{lr}}{T_{rl} + T_{lr}} \neq 0$$

$$CDR_{\text{cross}} = \frac{R_{rl} - R_{lr}}{R_{rl} + R_{lr}} = 0$$

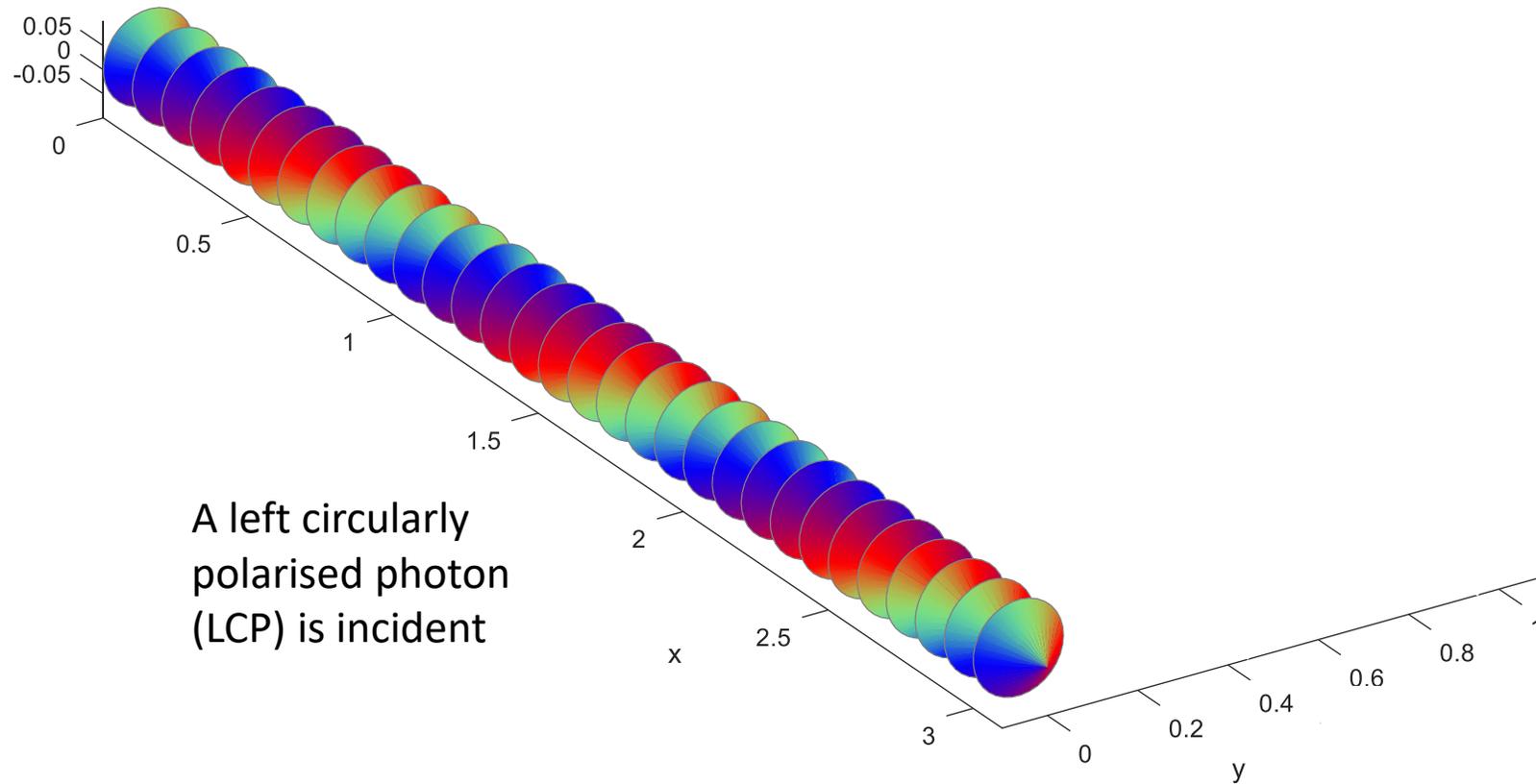
$$CDT_{\text{co}} = \frac{T_{rr} - T_{ll}}{T_{rr} + T_{ll}} = 0$$

$$CDR_{\text{co}} = \frac{R_{rr} - R_{ll}}{R_{rr} + R_{ll}} \neq 0$$

I. Toftul, P. Tonkaev, K. Koshelev, F. Lai, Q. Song, M. Gorkunov, Y. Kivshar

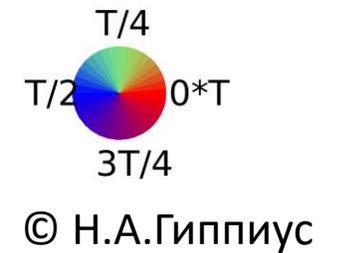
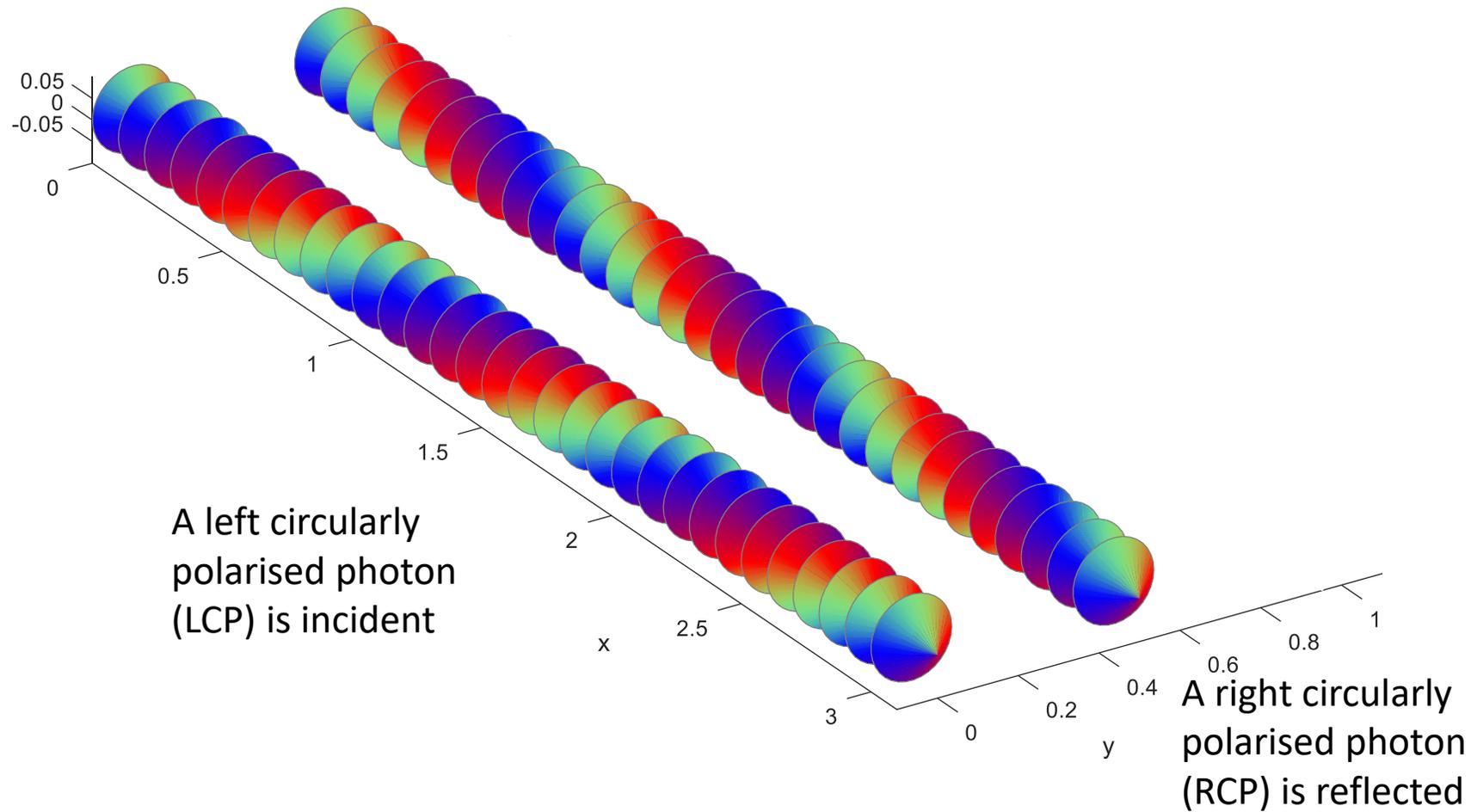
Chiral Dichroism in Resonant Metasurfaces with Monoclinic Lattices. *Phys. Rev. Lett.* 133, 216901 (2024)

Отражение циркулярно-поляризованной волны от плоского изотропного зеркала



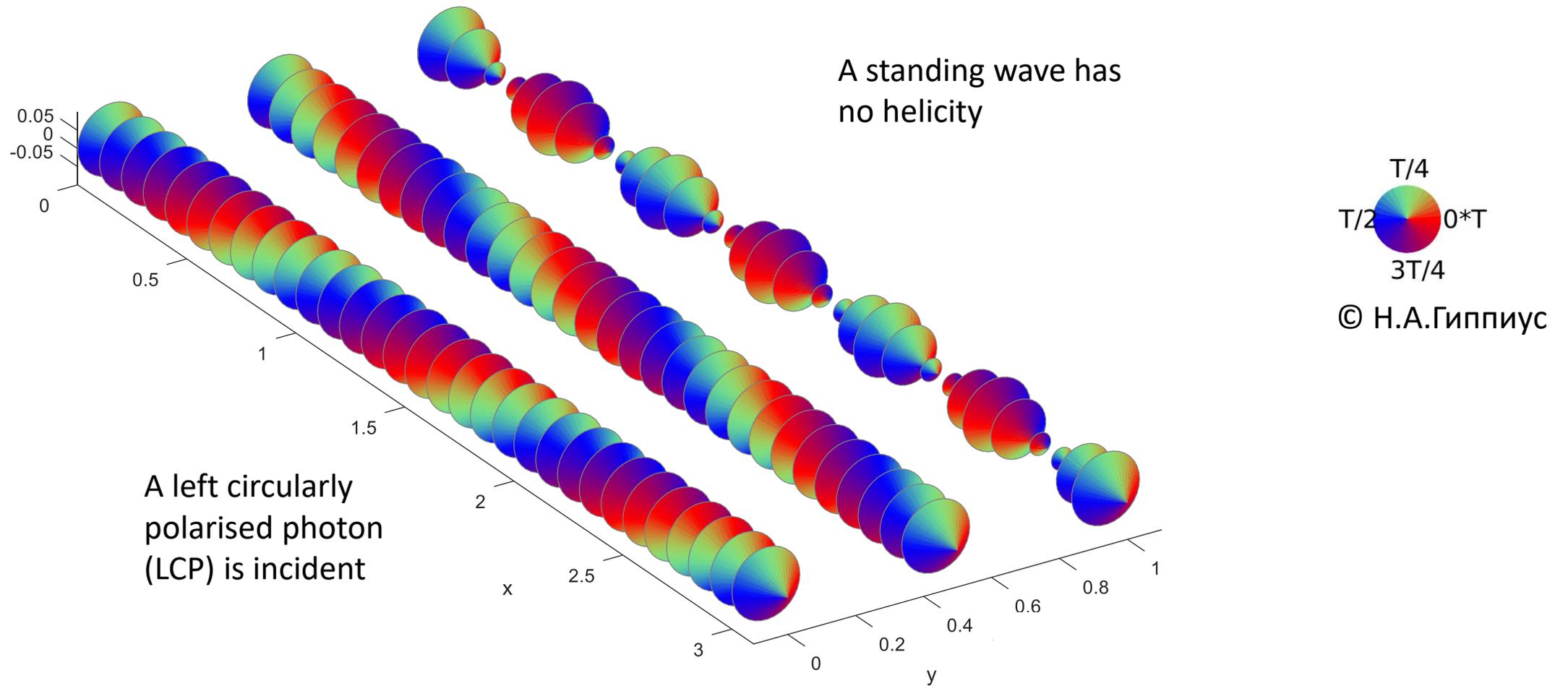
Total reflection from a flat mirror

Отражение циркулярно-поляризованной волны от плоского изотропного зеркала



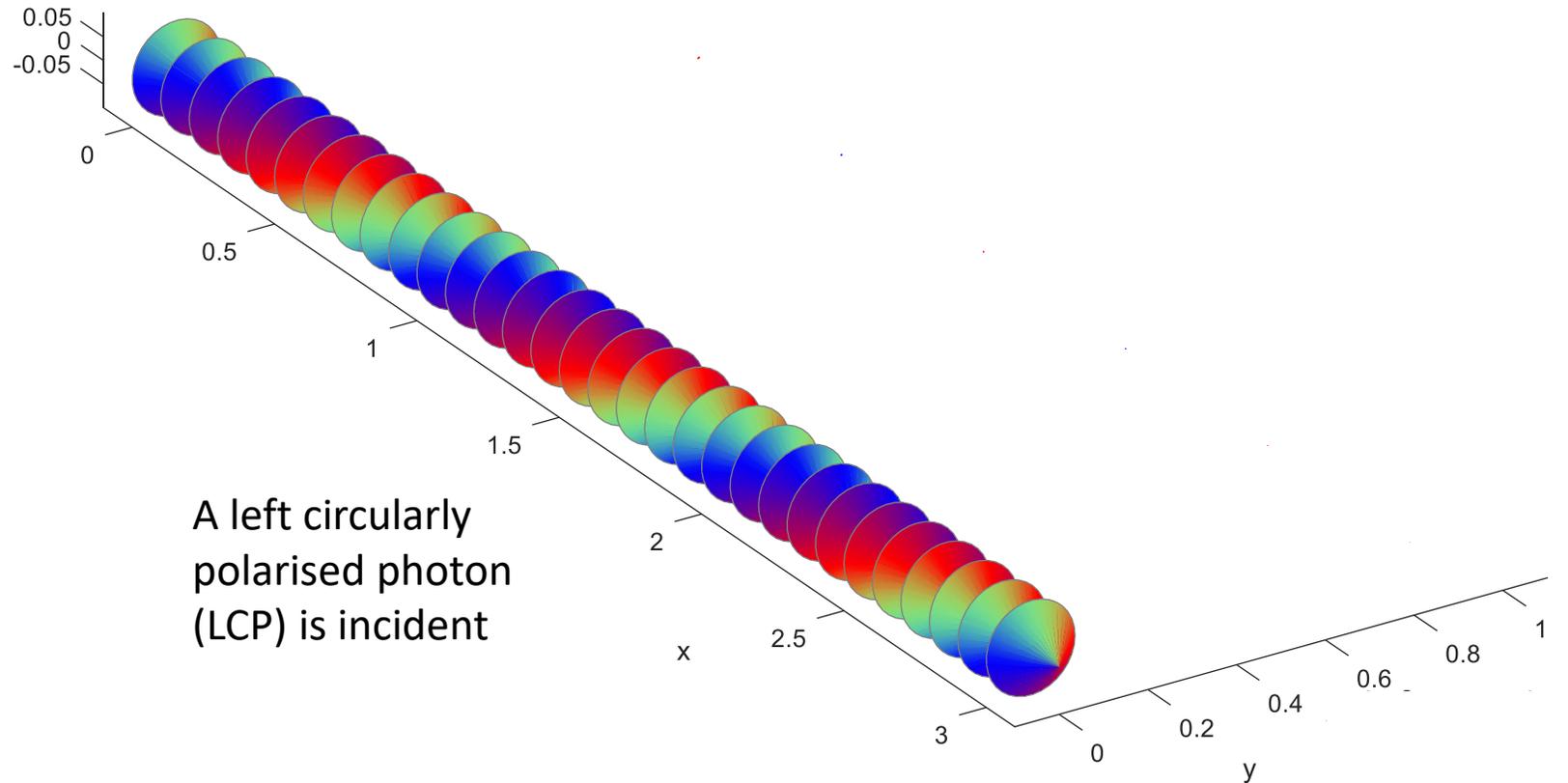
Total reflection from a flat mirror

Отражение циркулярно-поляризованной волны от плоского изотропного зеркала



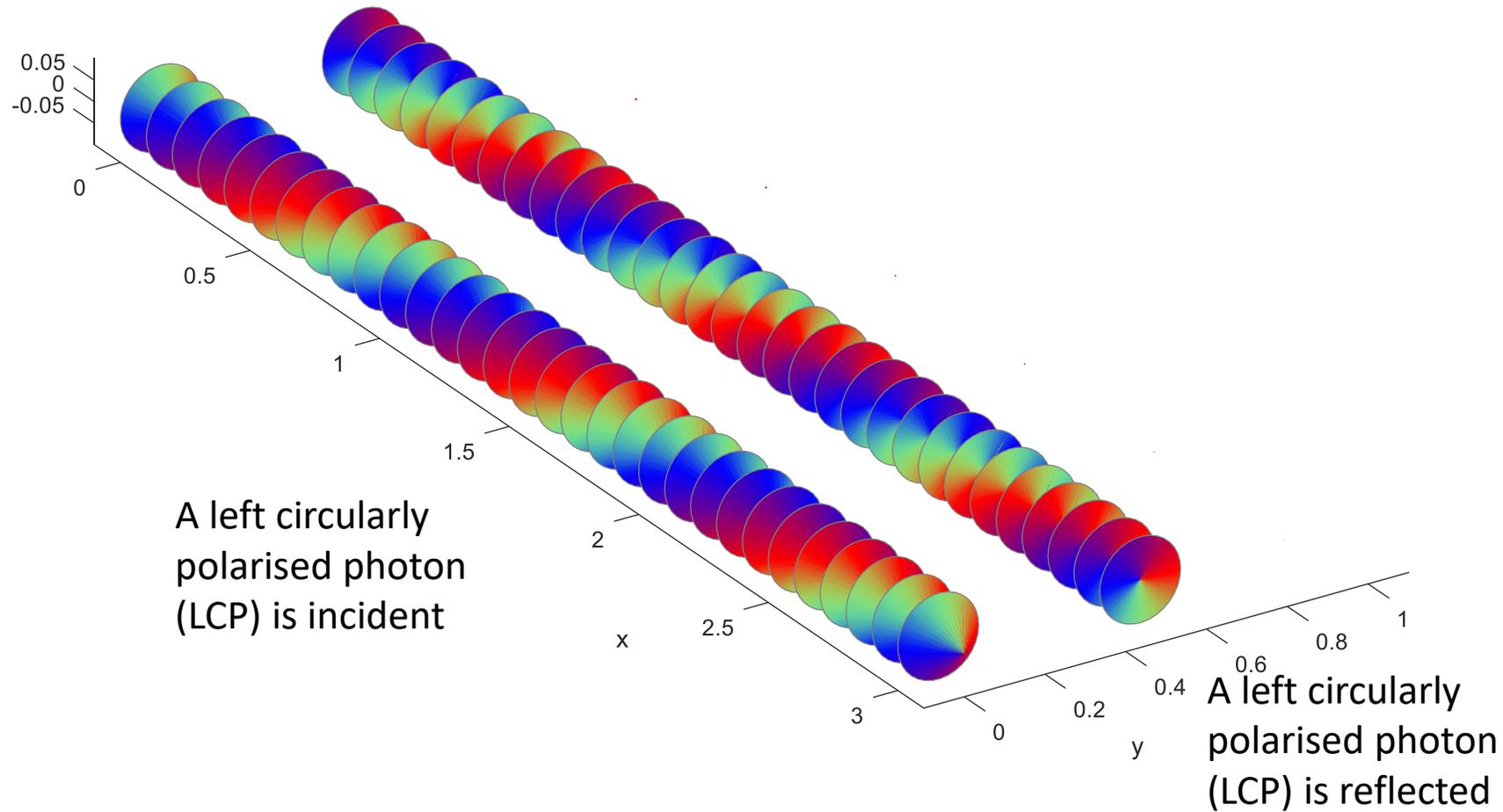
Total reflection from a flat mirror

Отражение циркулярно-поляризованной волны от 2D хиральной метаповерхности



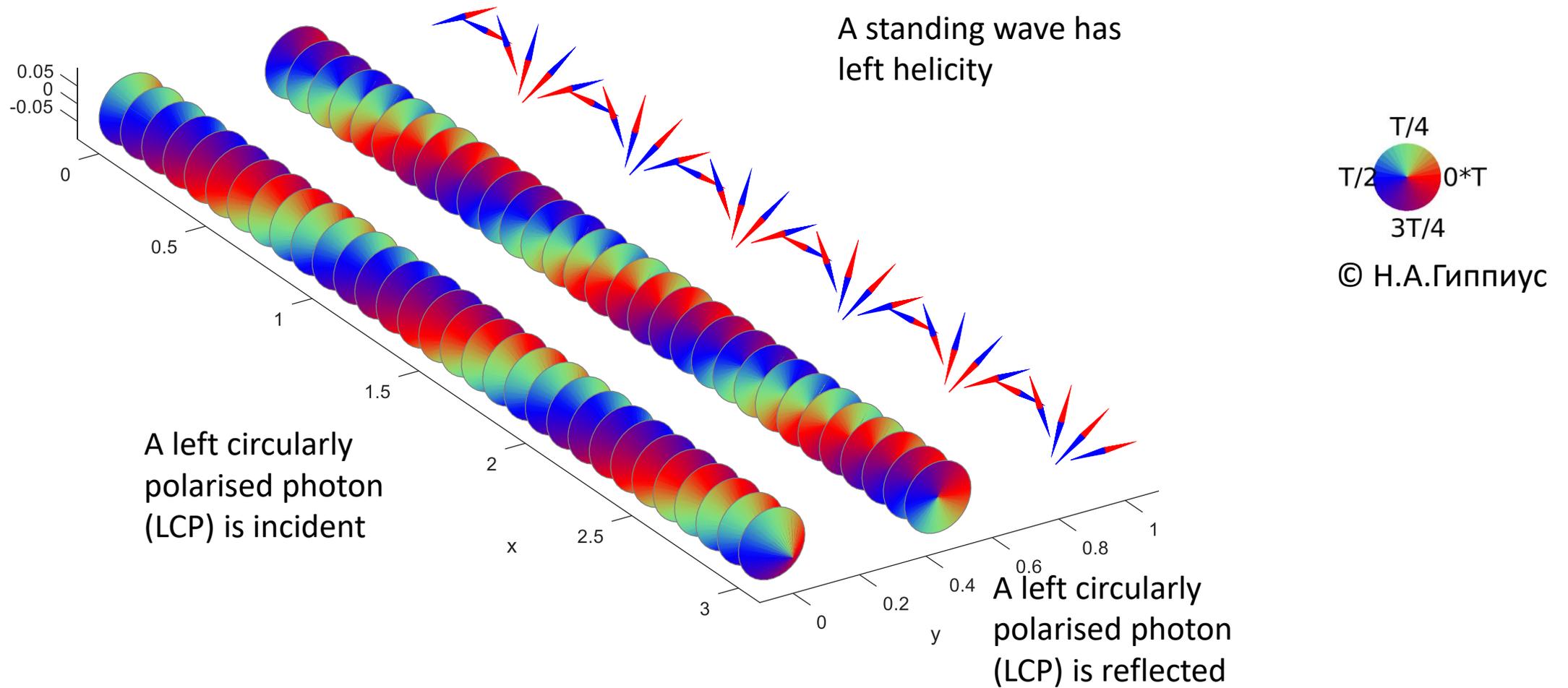
Total reflection from a C2h metasurface with maximum CDR

Отражение циркулярно-поляризованной волны от 2D хиральной метаповерхности



Total reflection from a C2h metasurface with maximum CDR

Отражение циркулярно-поляризованной волны от 2D хиральной метаповерхности



Total reflection from a C2h metasurface with maximum CDR

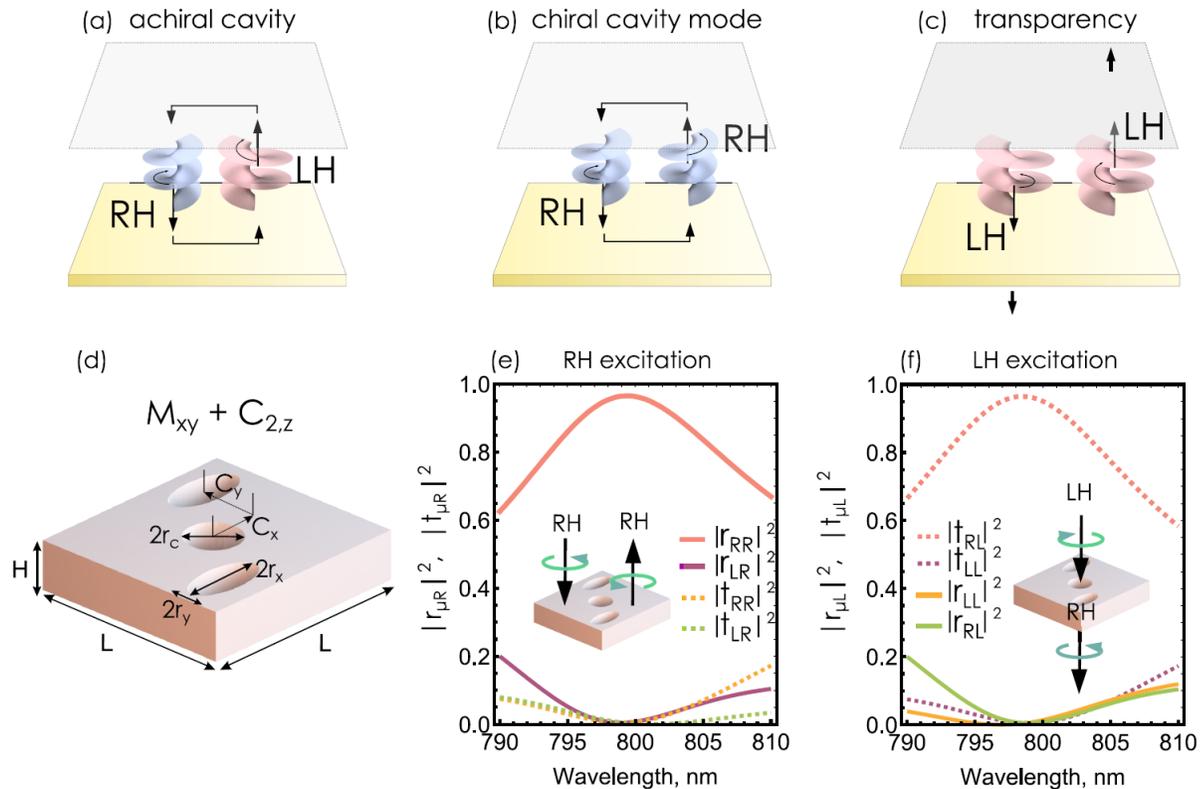
Хиральные микрорезонаторы

K. Voronin et al. *ACS Photonics* **2022**, 9, 2652–2659

ACS Photonics

pubs.acs.org/journal/apchd5

Article



Chiral cavity with two mirrors with point symmetry C_{2h}

Figure 1. (a–c) Concept of a single-handedness cavity. An ordinary achiral cavity, (a), does not support chiral eigenmodes due to handedness flipping of the standing wave inside the cavity. A single-handedness optical cavity supports a mode of a well-defined handedness, (b), and does not support a mode of the opposite handedness at the same wavelength, (c). (d) The unit cell of the photonic crystal slab mirror featuring handedness-preserving reflection at normal incidence. (e) Reflection and transmission coefficients of the optimized mirror in the circular polarization basis for right-handed incident light exhibiting near-unity reflection with preserved handedness. (f) Reflection and transmission coefficients of the optimized mirror for left-handed incident light exhibiting near-complete transmission accompanied by handedness flipping.

Chiral Light in Twisted Fabry–Pérot Cavities

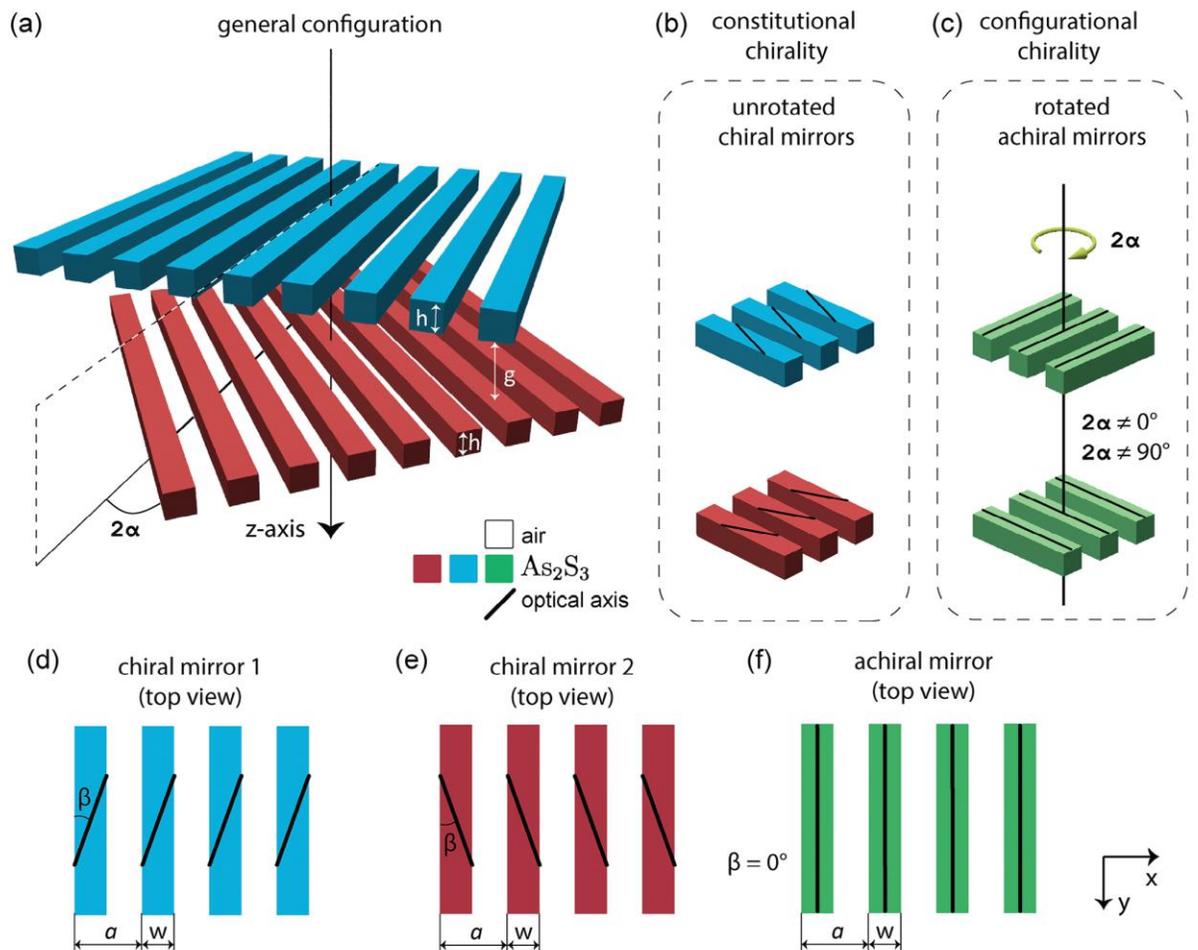


Figure 1. a) The most general configuration of a chiral resonator with twisted one-dimensional gratings. b) Chiral resonators formed by chiral and non-chiral mirrors. c) A top view of the unrotated chiral and non-chiral mirrors. In (a–f) color represents the orientation of optical axis.

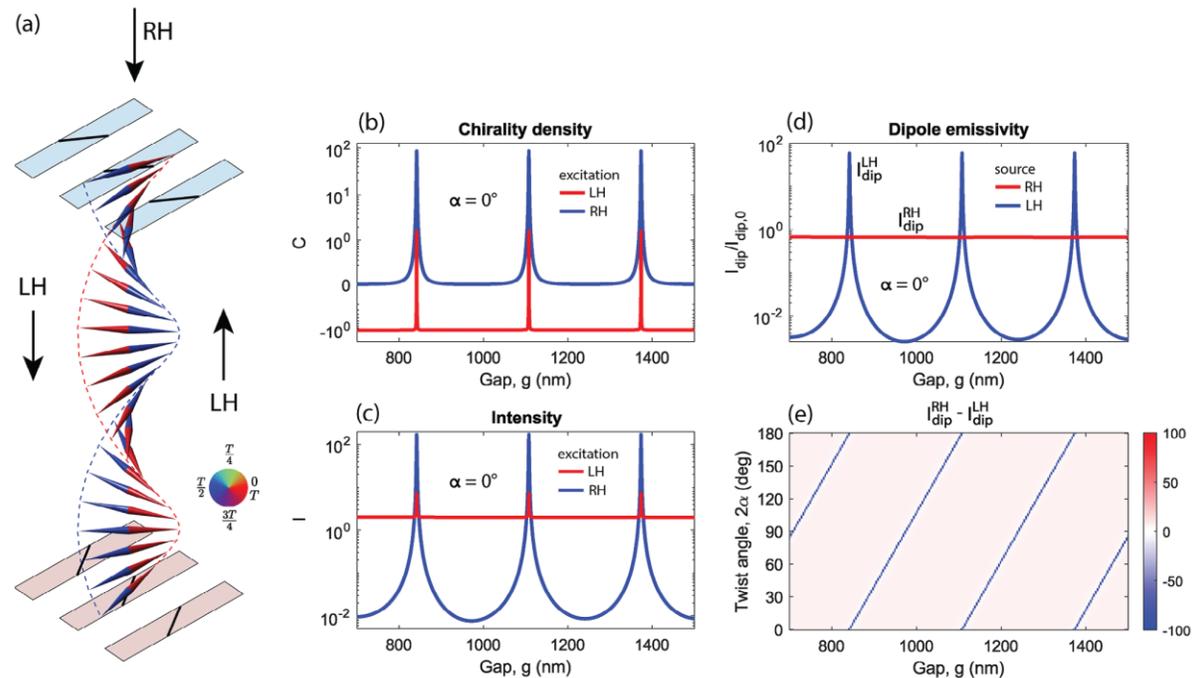
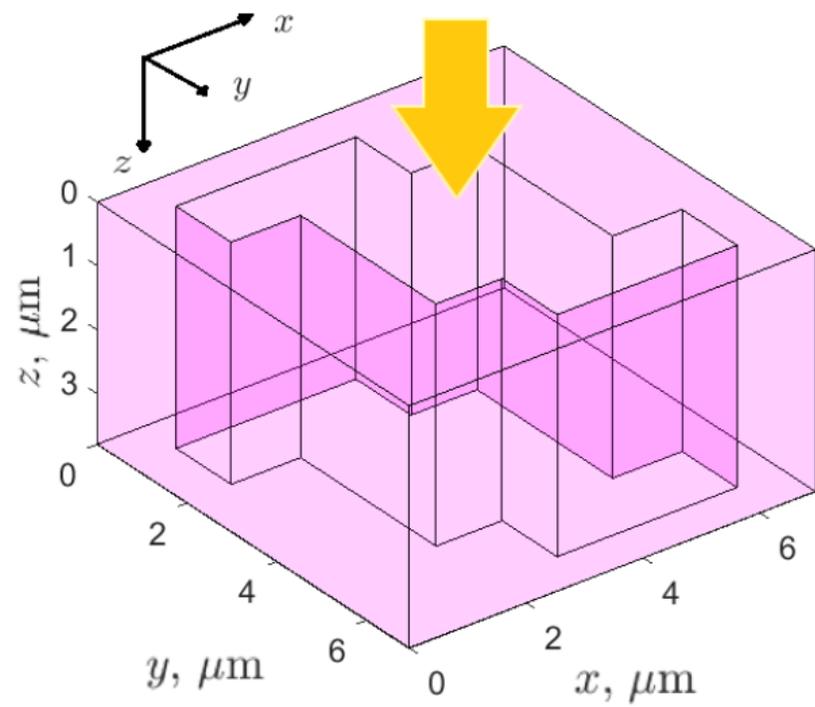
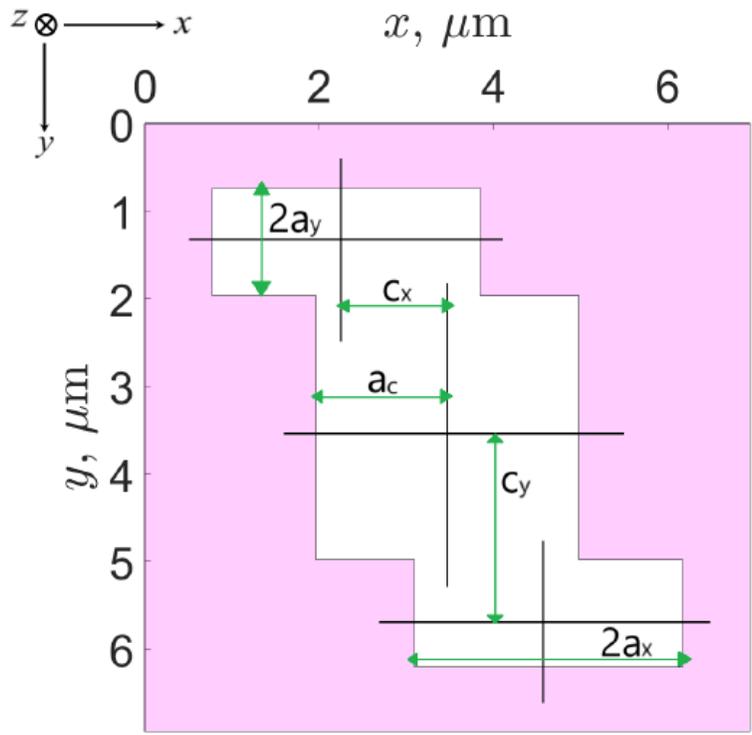


Figure 3. a) Sketch view of a chiral resonator supporting LH Fabry–Pérot modes. The cones represent electric vectors of the incident wave settled in the gap between the mirrors, with phases specified by the circular colorbar. The field distribution is calculated for the gap size $g \approx 575$ nm and the twist angle $2\alpha = 0^\circ$. The gap-size dependence of b) the time-average normalized chirality density and c) normalized intensity in the middle of the cavity. d) The gap-size dependence of the emissivity of RH and LH dipole sources placed in the middle of the cavity. e) The gap-size and twist-angle dependence of a difference between RH and LH dipole emissivities.

Алмазная метамембрана с максимумом CDR и CDT для $\lambda = 10-12 \mu\text{m}$

N.V. Valenko, O.A. Dmitrieva, SGT. *Comp. optics* 48, 816 (2024)



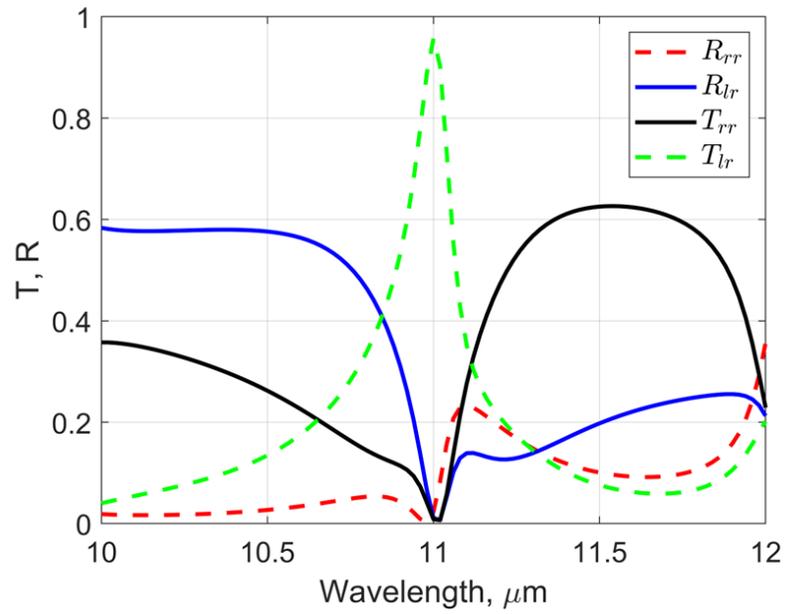
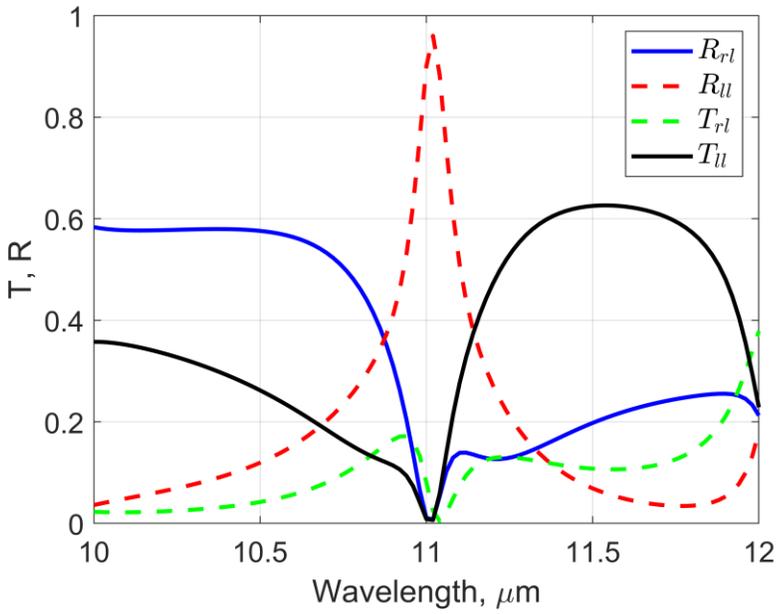
$$CDR = \frac{R_l - R_r}{R_l + R_r}$$

$$R_l = R_{rl} + R_{ll}$$

Структура из алмаза с $\epsilon_D = 5.76$ (показана одна элементарная ячейка метамембраны).
 Максимум циркулярного дихроизма отражения и пропускания достигается при $\lambda=11 \mu\text{m}$.
 $p_x = p_y = 6.95 \mu\text{m}$, $h = 4 \mu\text{m}$, $a_c = 1.51 \mu\text{m}$, $c_x = 1.16$, $c_y = 2.12 \mu\text{m}$, $a_x = 1.54 \mu\text{m}$, $a_y = 0.62 \mu\text{m}$.

Алмазная метамембрана с максимумом CDR и CDT для $\lambda = 10-12 \mu\text{m}$

Calculated spectra of transmission, reflection and absorption in circular polarization basis



Intensity optical coefficients (real numbers) are related to the corresponding amplitude coefficients (complex numbers)

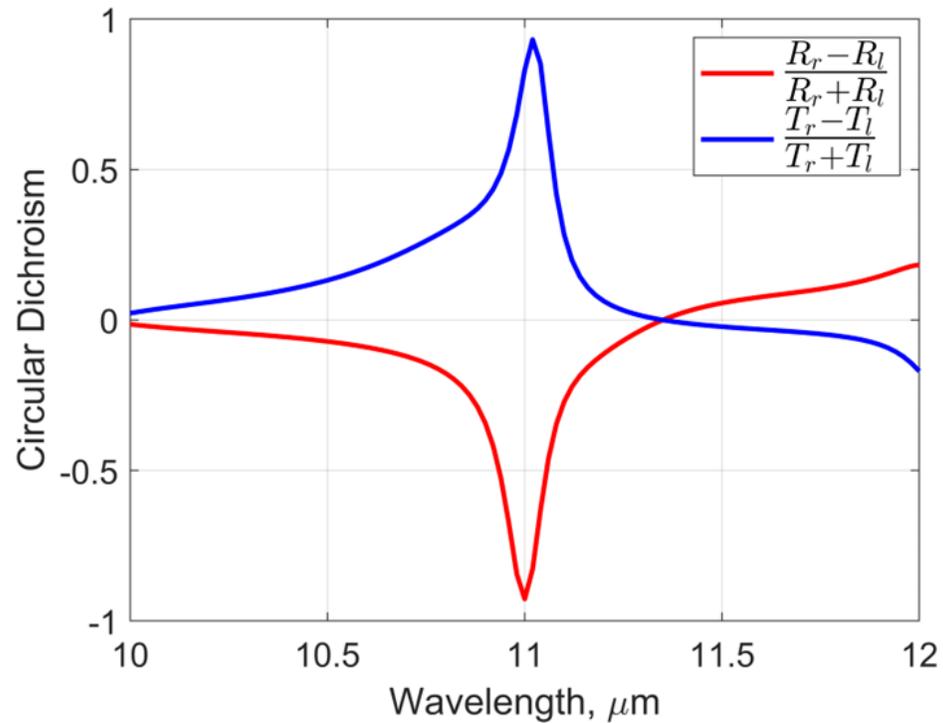
$$R_{ll} = |r_{ll}|^2, \quad T_{rl} = |t_{rl}|^2, \quad \dots$$

Electrodynamics reciprocity leads to:

$$r_{lr} = r_{rl}, \quad t_{rr} = t_{ll}$$

$$R_{lr} = R_{rl}, \quad T_{rr} = T_{ll}$$

Алмазная метамембрана с максимумом CDR и CDT для $\lambda = 10\text{-}12 \mu\text{m}$

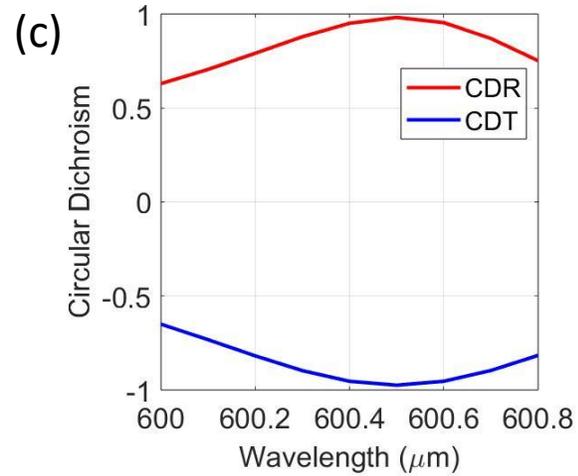
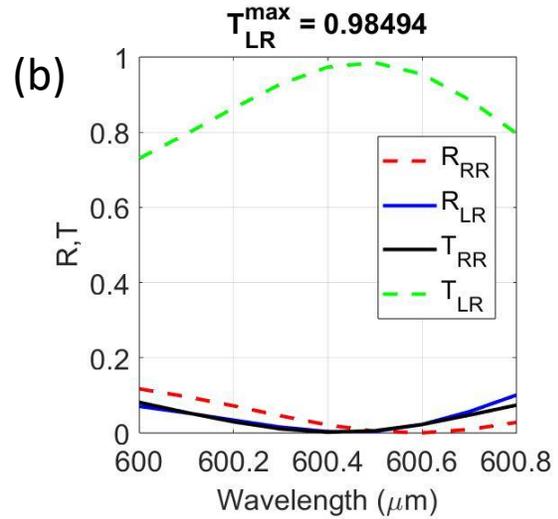
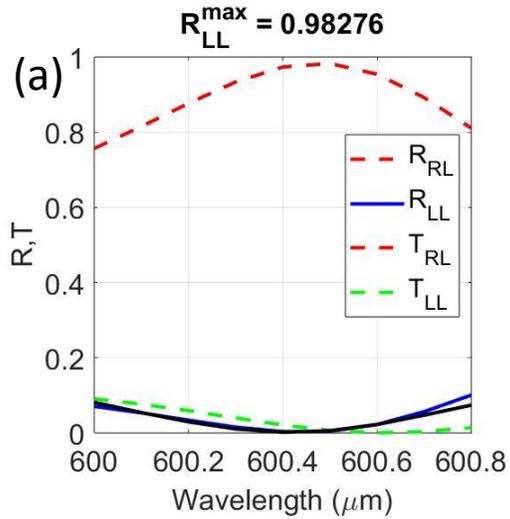


Calculated spectra of the circular dichroism of transmission, reflection and absorption in circular polarization basis

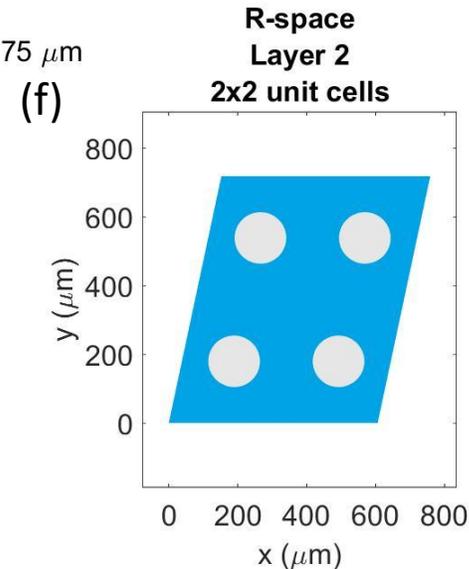
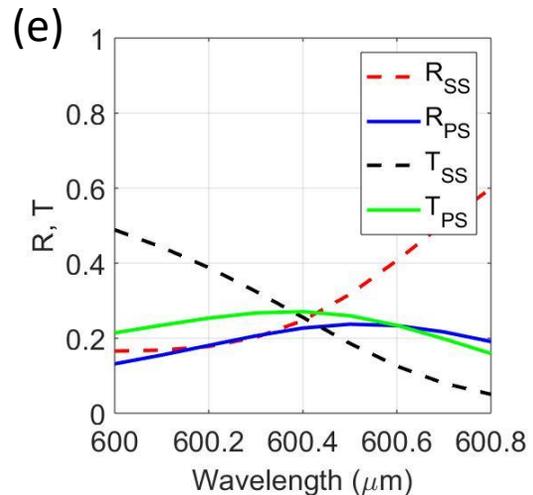
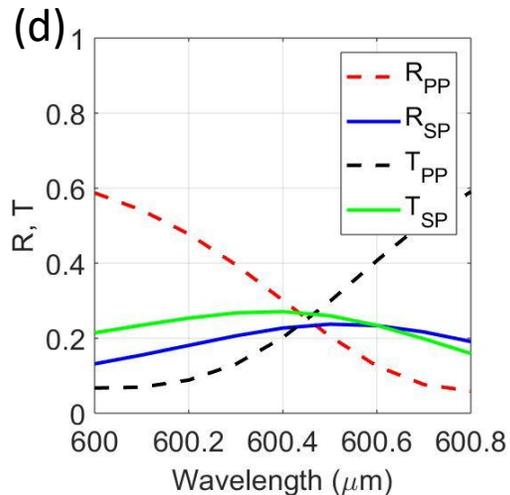
$$CDR = \frac{R_l - R_r}{R_l + R_r}$$

$$R_l = R_{rl} + R_{ll}$$

Кремниевая метамембрана с моноклинной решеткой цилиндрических отверстий для ТГц диапазона



$\epsilon = 11.6848; Ng^2 = 31^2, p = 303 \mu\text{m}, q = 367 \mu\text{m}, \alpha = 78^\circ, h = 200 \mu\text{m}, r = 75 \mu\text{m}$

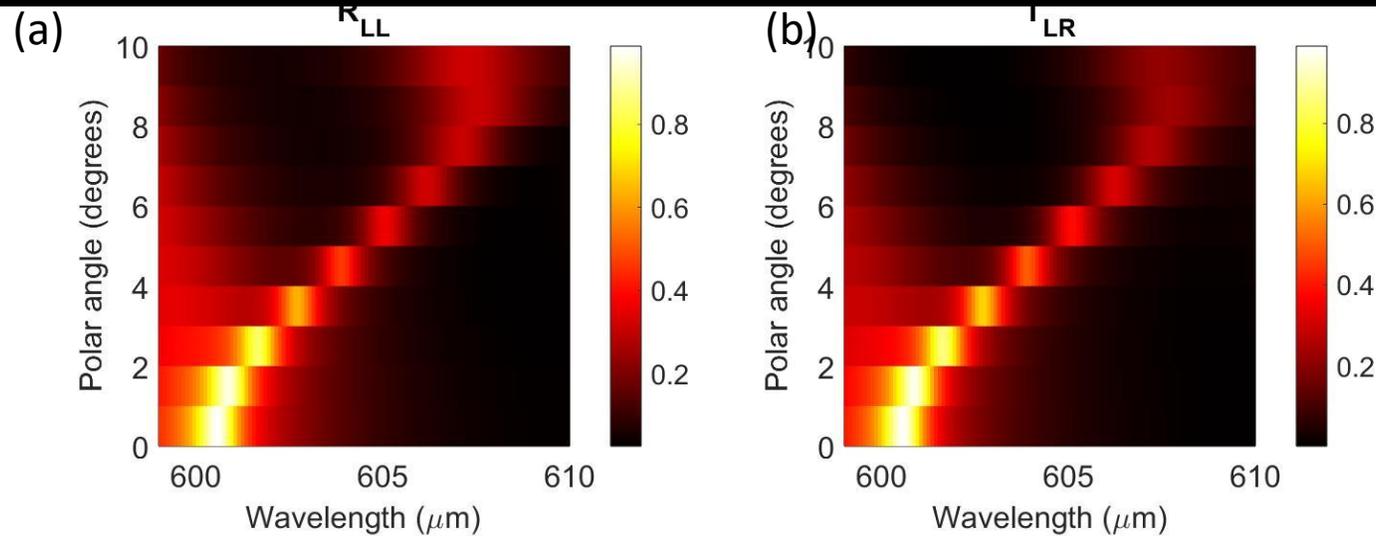


Calculated spectra of transmission, reflection and absorption in circular (a,b) and linear (d,e) polarization bases. Normal incidence of light.

(c) Calculated CDR and CDT spectra (top right panel).

(f) 2x2 unit cells of the optimized monoclinic metamembrane

Кремниевая метамембрана с моноклинной решеткой цилиндрических отверстий для ТГц диапазона

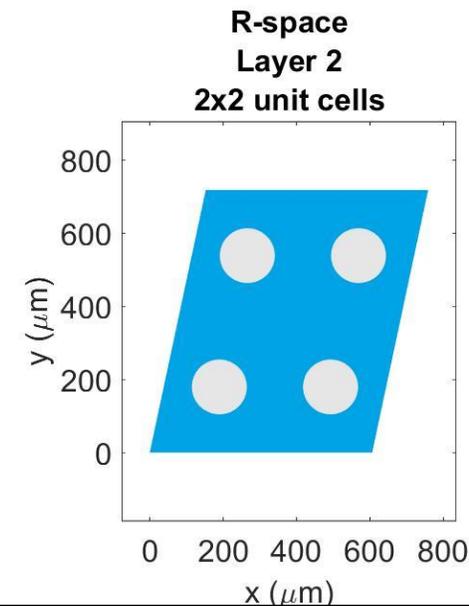
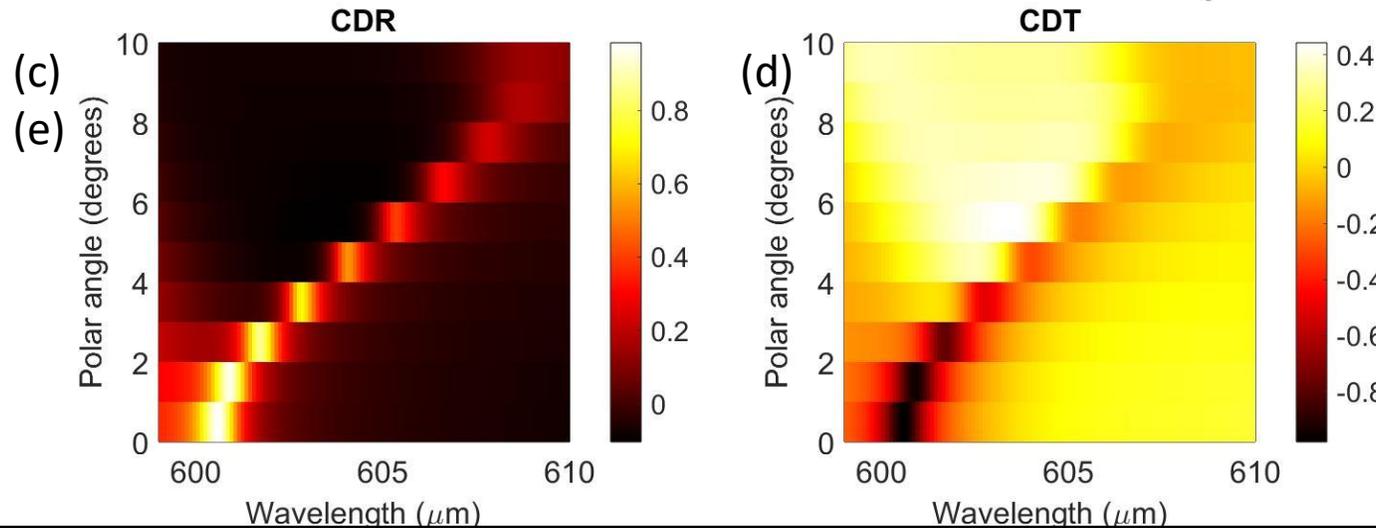


(a,b) Calculated dependences $R_{ll}(\lambda, \theta)$ and $T_{lr}(\lambda, \theta)$ on wavelength and polar angle

(c,d) Calculated CDR (λ, θ) and CDT (λ, θ)

(e) 2x2 unit cells of the optimized monoclinic metamembrane

$$\epsilon = 11.6848; p = 303 \mu\text{m}; q = 367 \mu\text{m}; \alpha = 78^\circ; h = 200 \mu\text{m}; r = 75 \mu\text{m}; N_g = [9 \ 9]^{19^2}$$



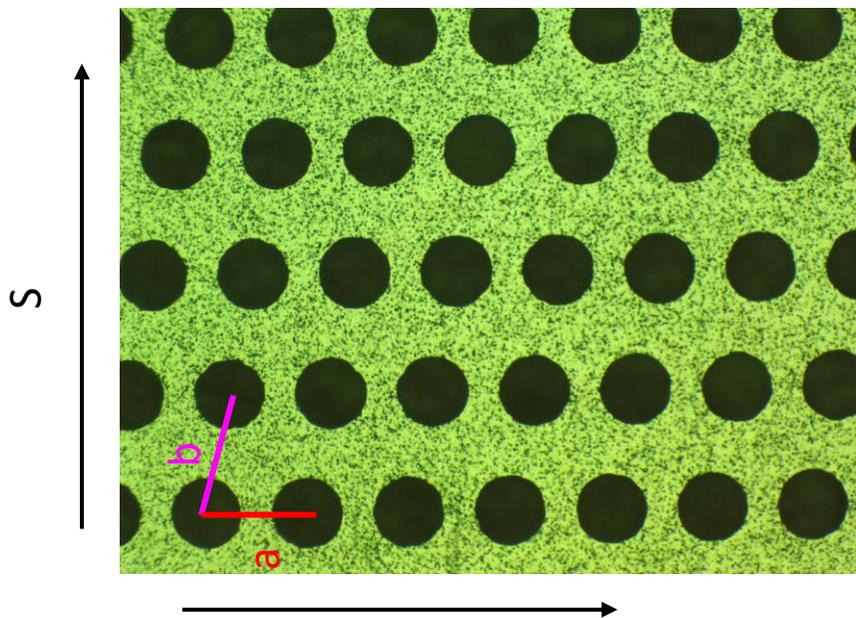
Кремниевая метамембрана с моноклинной решеткой цилиндрических отверстий для ТГц диапазона

Эксперимент S3:

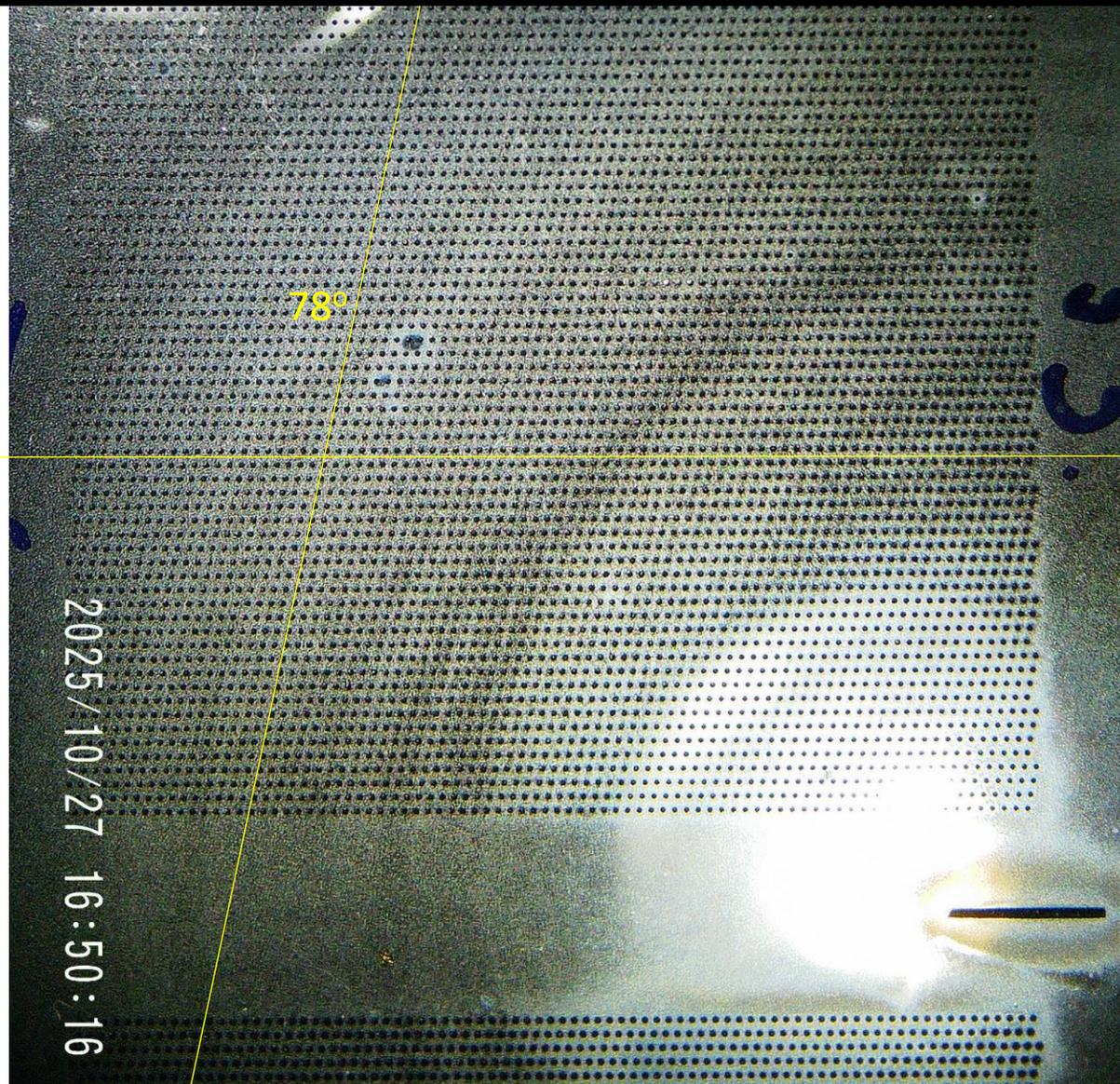
$a \sim 300 \text{ мкм}$, $b \sim 370 \text{ мкм}$,
 $d \sim (190-165) \text{ мкм}$

Расчет 1.1.1':

$a = 303 \text{ мкм}$, $b = 367 \text{ мкм}$,
 $d = 177.5 \text{ мкм}$



И.В.Кукушкин и др., готовится к печати



Кремниевая метамембрана с моноклинной решеткой цилиндрических отверстий для ТГц диапазона

Chiral resonance: $\nu \sim 530$ GHz

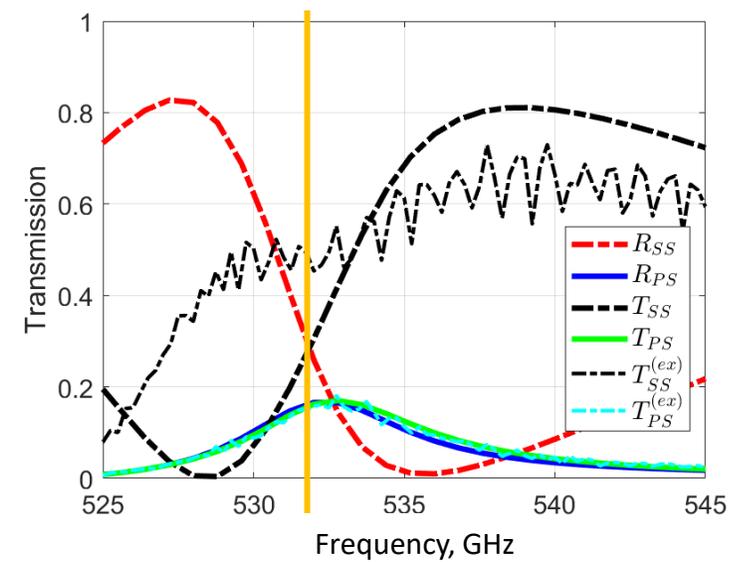
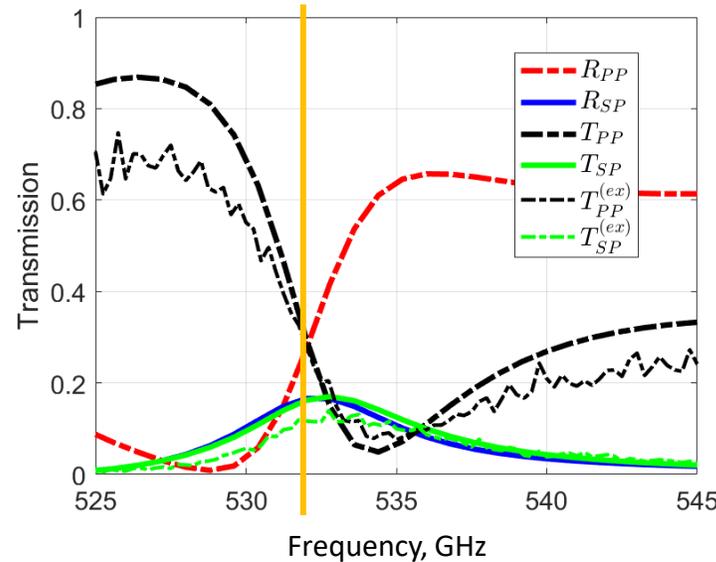
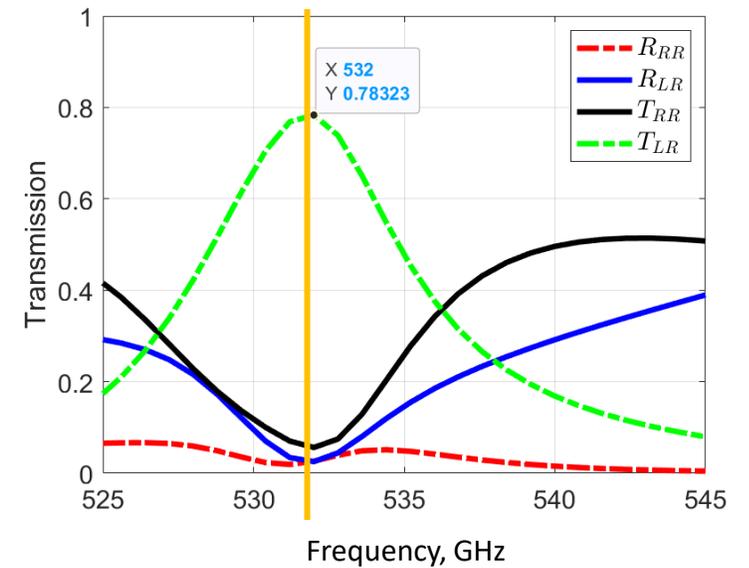
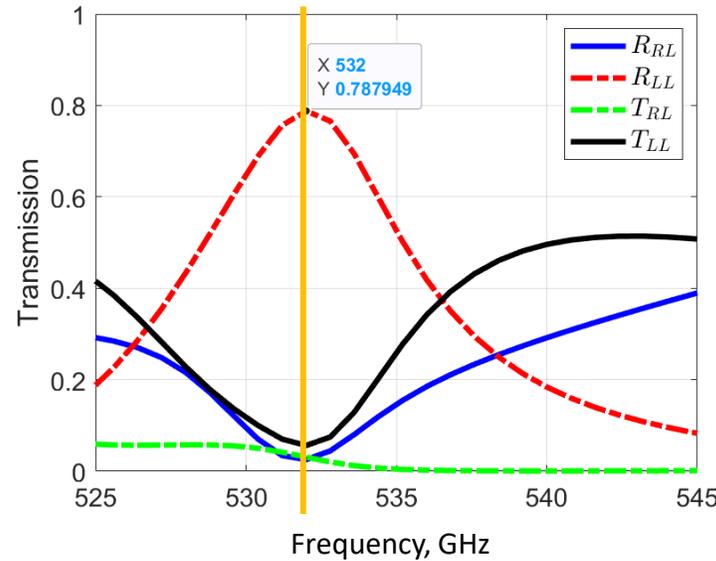
Эксперимент S3:

$a \sim 300$ мкм, $b \sim 370$ мкм,
 $d \sim (190-165)$ мкм

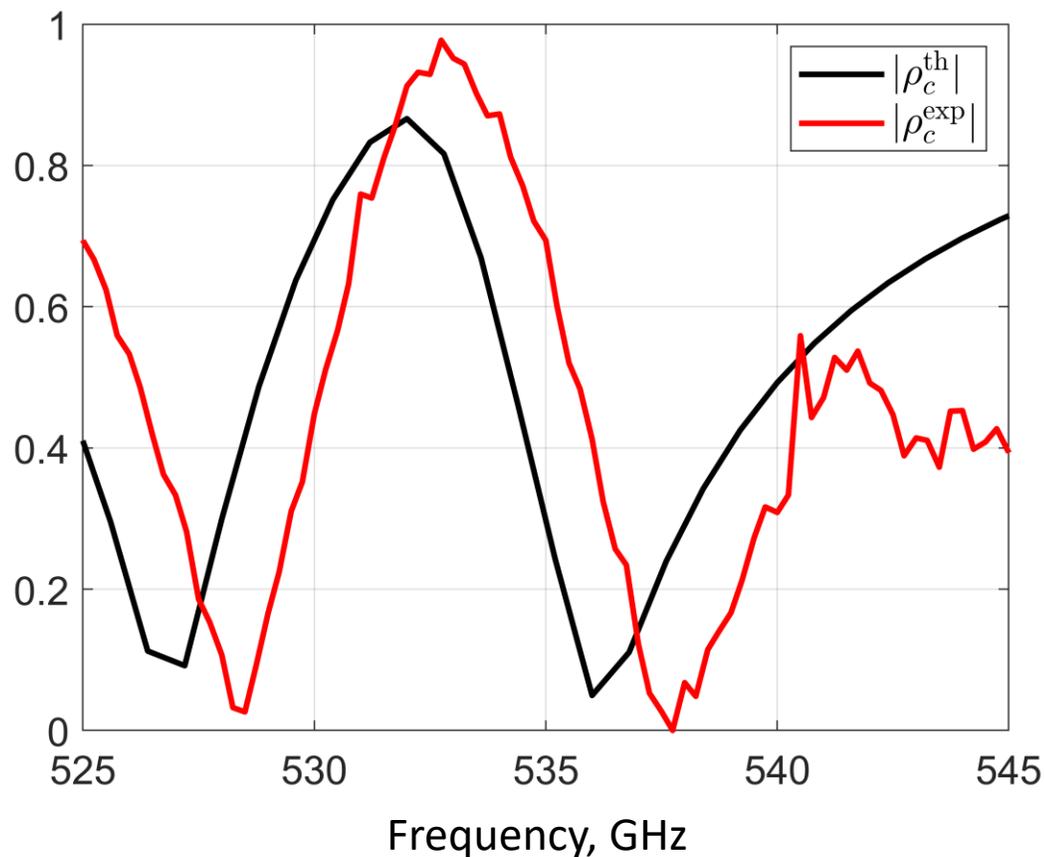
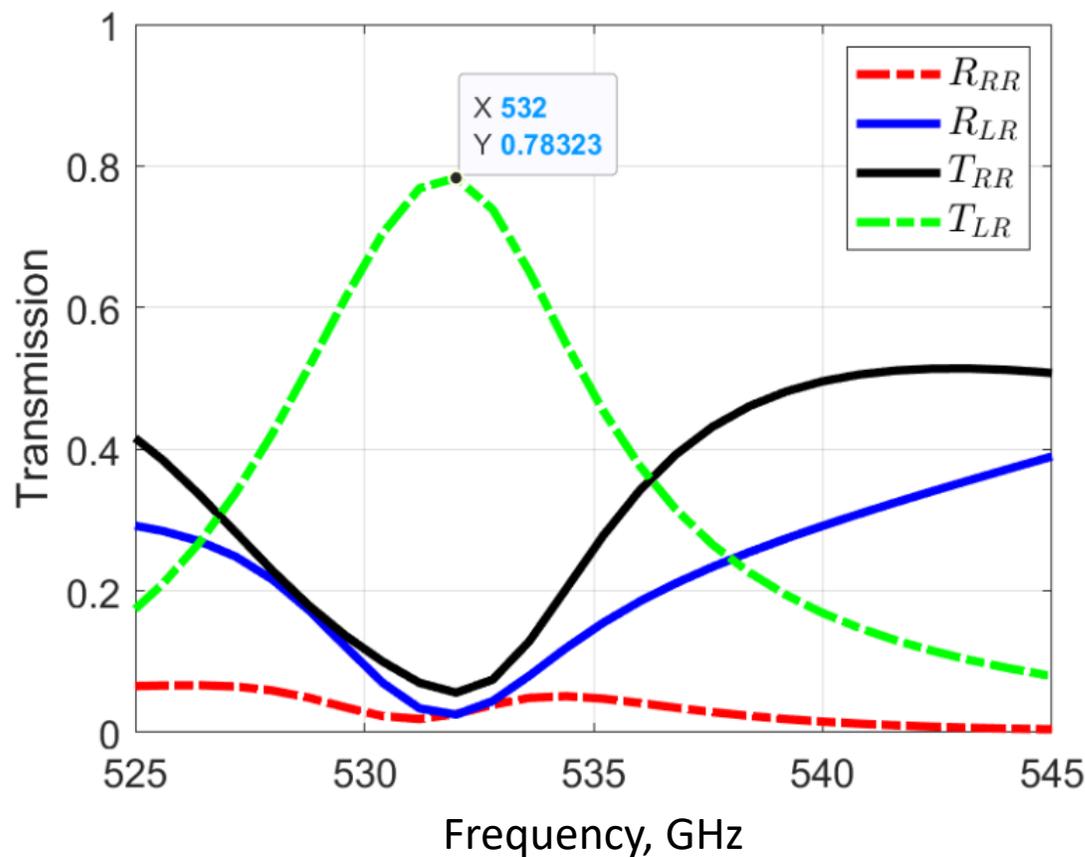
Расчет 1.1.1':

$a = 303$ мкм, $b = 367$ мкм,
 $d = 177.5$ мкм

Ожидаем, что в окрестности 530 ГГц для правой круговой поляризации на входе выходное излучение будет лево-поляризовано, а для левой круговой на входе пропускание будет слабым.



Кремниевая метамембрана с моноклинной решеткой цилиндрических отверстий для ТГц диапазона



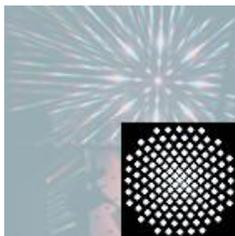
Слева: расчетные спектры пропускания и отражения RCP волны

Справа: сравнение расчетной (черная кривая) и измеренной (красная) эффективности конверсии циркулярной поляризации при пропускании RCP волны



О.А.Дмитриева, Н.В. Валенко, Р.О. Маликов
Физический факультет МГУ

С.А.Дьяков, И.М. Фрадкин, Н.А.Гиппиус
Сколковский институт науки и технологии



Thomas Weiss
Universität Graz, Austria & Universität Stuttgart, Germany

**А.А.Деменев, Е.В.Филатов, А.А.Максимов, И.И.Тартаковский,
В.Д. Кулаковский**
А.С. Астраханцева, К.Р. Джикирба, И.В.Кукушкин
Институт физики твердого тела РАН, г. Черноголовка



K. Konishi & M. Kuwata-Gonokami
The University of Tokyo, Tokyo, Japan



C. Schneider
Universität Oldenburg, Germany



S. Höfling
Technische Physik & Wilhelm-Conrad-Röntgen-Research Center for Complex Material Systems, Universität Würzburg, Germany

Выводы

- Хиральные фотонные структуры – компактные источники циркулярно-поляризованного света как в спонтанном, так и лазерном режимах.
- Пороги эллиптически-поляризованной лазерной генерации определяются нарушением $C4$ симметрии фотонного кристалла, за счет, например, отсутствия цилиндрической симметрии области возбуждения
- В хиральных микрорезонаторах возможны резкие мультистабильные переходы в состояния с высокой степенью циркулярной поляризации фотолюминесценции при резонансной когерентной линейно-поляризованной оптической накачке
- 2D хиральные метамембраны как фотонные структуры с максимальным циркулярным дихроизмом пропускания и отражения

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 22-12-00351-П).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

