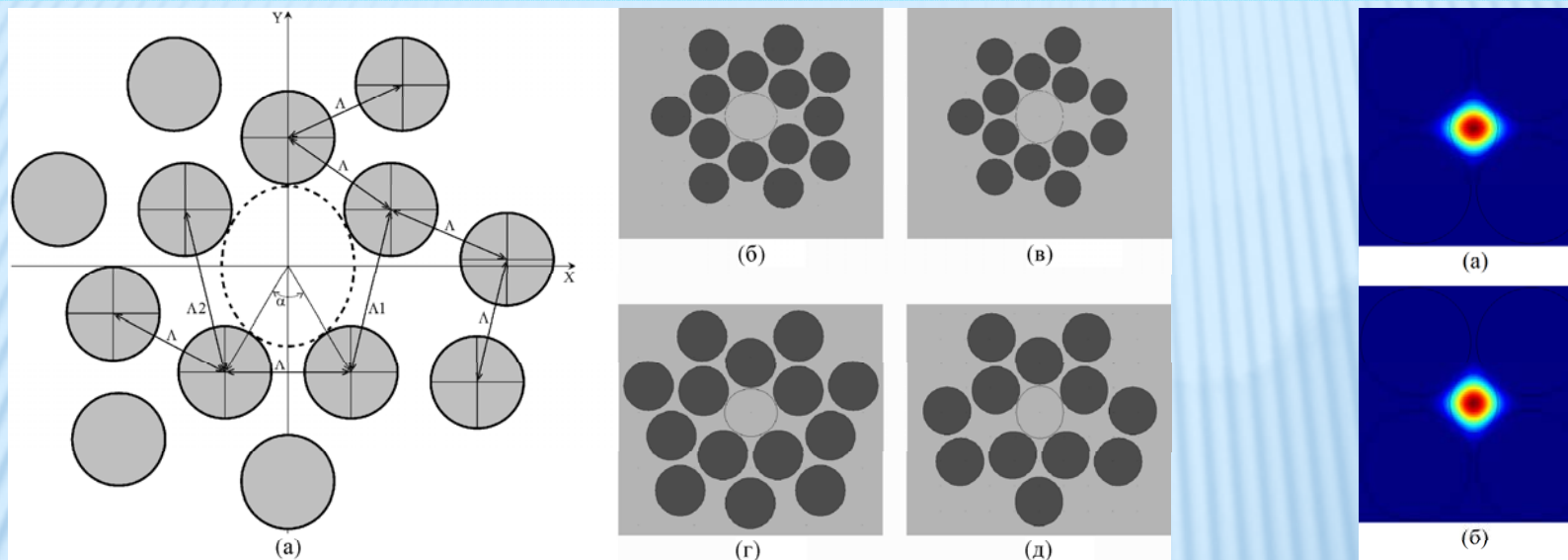


# АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛЬНЫХ СТРУКТУР ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩИХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Денисов А.Н., Левченко А.Е., Семенов С.Л., Дианов Е.М.

*Научный центр волоконной оптики РАН, г. Москва*

## Новый дизайн двулучепреломляющих микроструктурированных волоконных световодов (ДМС)



(а) ДМС **5235ес.**  $d/\Lambda = 0.75$ ;  $\Lambda_1/\Lambda = 1.33$ ;  $\Lambda_2/\Lambda = 1.33$ ;  $e \approx 0.83$ .  
 (б) ДМС **6117ес.**  $d/\Lambda = 0.9$ ;  $e = 1.1$ . (в) ДМС **6125ес.**  $d/\Lambda = 0.9$ ;  $e = 0.9$ .  
 (г) ДМС **5227ес.**  $d/\Lambda = 0.9$ ;  $e = 1.1$ . (д) ДМС **5243ес.**  $d/\Lambda = 0.9$ ;  $e = 0.9$ .

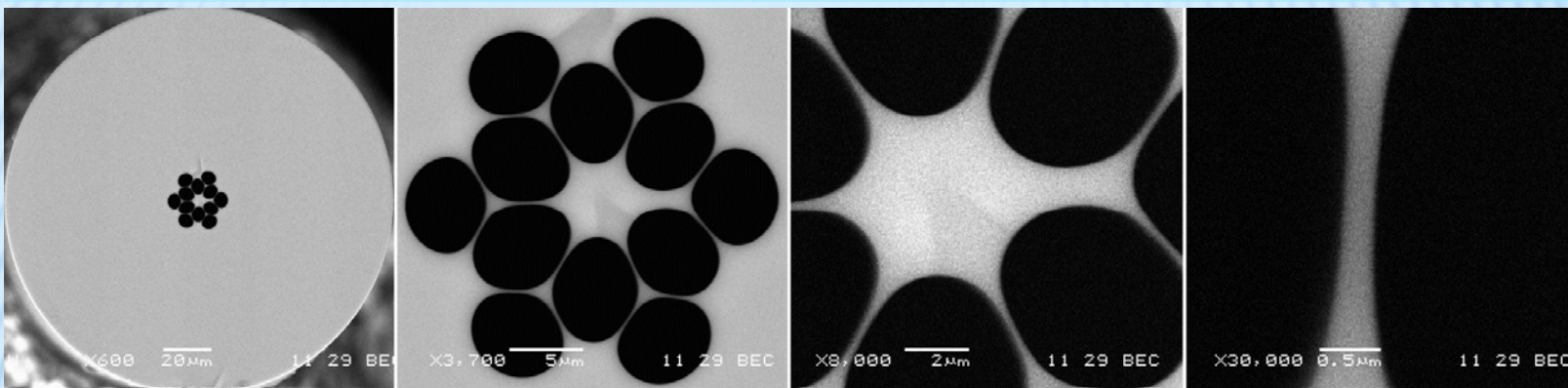
Профили интенсивностей  $x$ - (а) and  $y$ -поляризаций (б)  $LP_{01}$  моды для ДМС **4240ес.**  $e = 0.8$ ;  $\alpha = 85.8^\circ$ .

Предложенный дизайн ДМС позволяет получить большое двулучепреломление ( $\sim 7.2 \times 10^{-3}$ ), а при определенной эллиптичности сердцевины и величине зазоров возможна реализация ДМС с полем моды, имеющем равные размеры по двум ортогональным координатам при незначительном уменьшении двулучепреломления ( $\sim 2.3 \times 10^{-3}$ ).

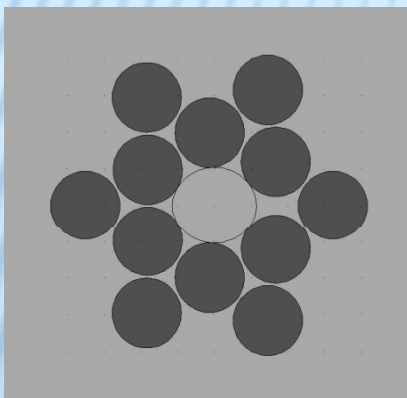
A.N. Denisov, A.E. Levchenko, S.L. Semjonov, E.M. Dianov, "Microstructured fiber with high birefringence and low mode field non-circularity", Proc. SPIE **7914**, 79142G (2011).

А.Н. Денисов, А.Е. Левченко, С.Л. Семенов, Е.М. Дианов, "Микроструктурированные волоконные световоды с большим двулучепреломлением и малой асимметрией поля моды", Квант. электроника **41**, 243 (2011).

## Изготовленный вариант ДМС



Фотографии поперечного сечения ДМС при разном увеличении электронного микроскопа.



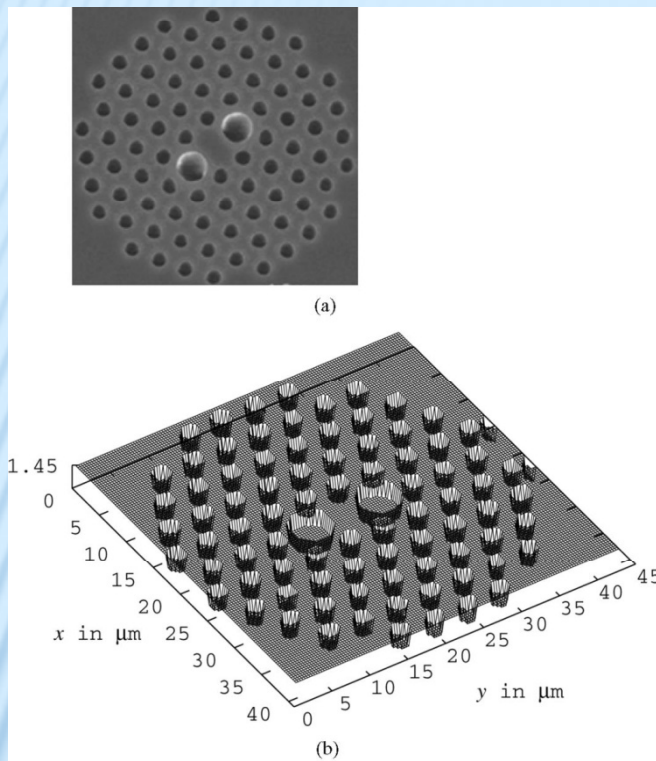
Моделирование сердцевины изготовленного световода структурой **6115с**. Для образца с  $D_{fiber} = 130$  мкм  $D_y = 4.02$  мкм;  $e = 1.09$ ;  $d/\Lambda = 0.96$  (Перемычки 220 нм);  $\alpha = 56.8^\circ$  (Зазор 980 нм).

Рассчитанное значение группового двулучепреломления для этого образца  $G_c = 4.2 \times 10^{-4}$  ( $\lambda = 1.53$  мкм).

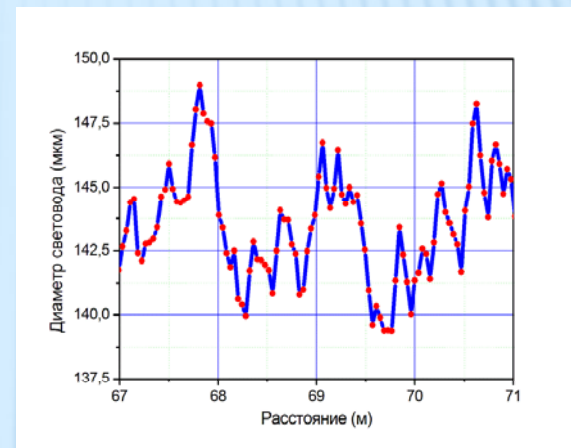
Измеренное значение группового двулучепреломления для этого образца  $G_m = (4.7 \pm 0.1) \times 10^{-4}$  ( $\lambda = 1.53$  мкм).

Для более корректного описания и повышения точности расчетов параметров изготовленных ДМС необходимо улучшение модельной структуры, используемой для аппроксимации реальных световодов.

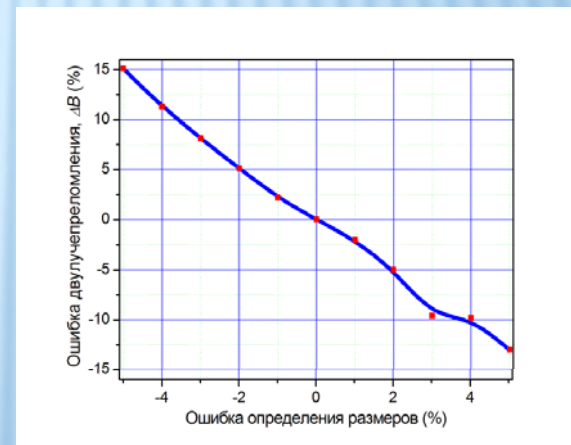
# Альтернативный вариант расчетов параметров ДМС



P. R. Chaudhuri and S. Roy, "Determining Properties of Fabricated Index-Guiding Photonic Crystal Fibers Using SEM Micrograph and Mode Convergence Algorithm", J. Lightwave Technol. **26**, 379 (2008).

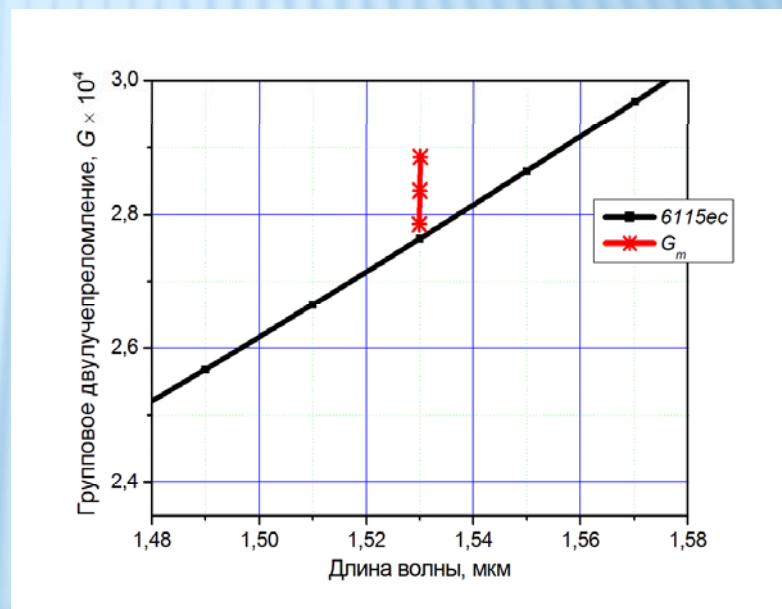
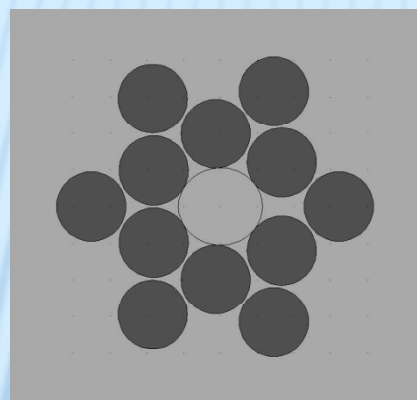
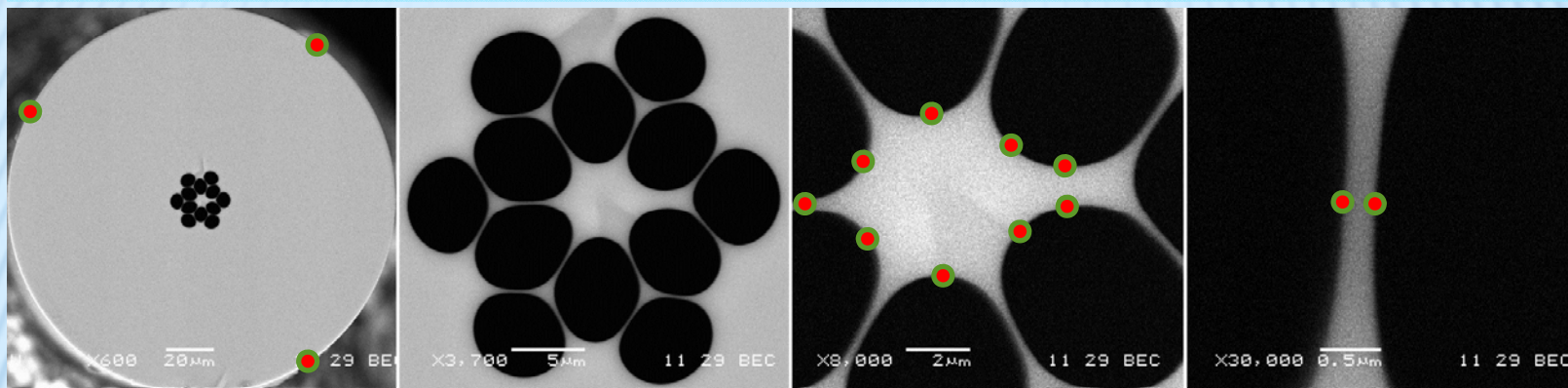


Вариации внешнего диаметра ДМС.



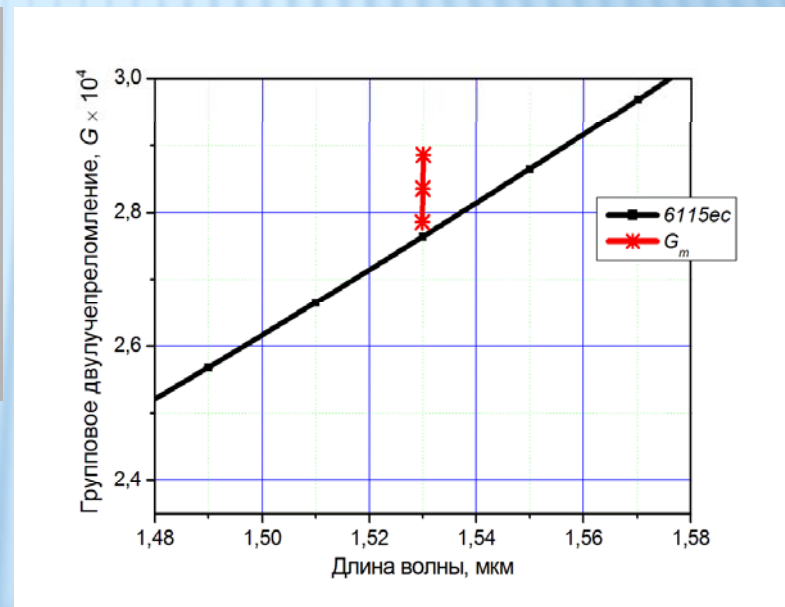
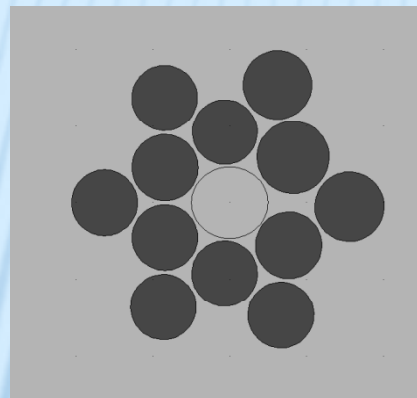
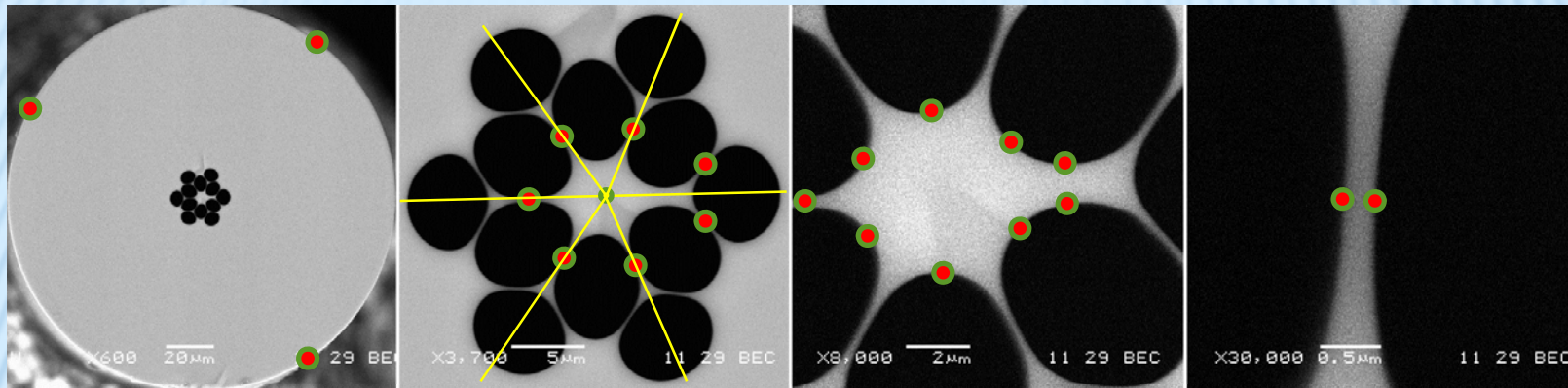
Изменение диаметра сердцевины на 5% приводит к изменению  $B$  на 15% и  $G$  на 27%.

## Структура 6115ec



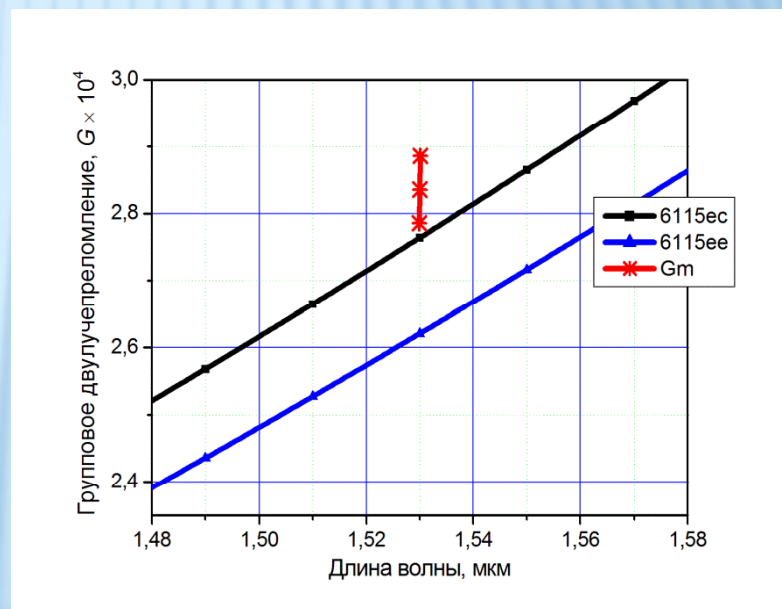
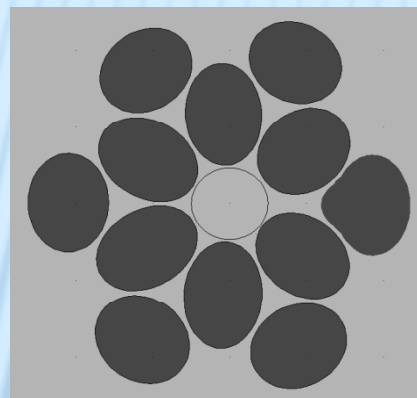
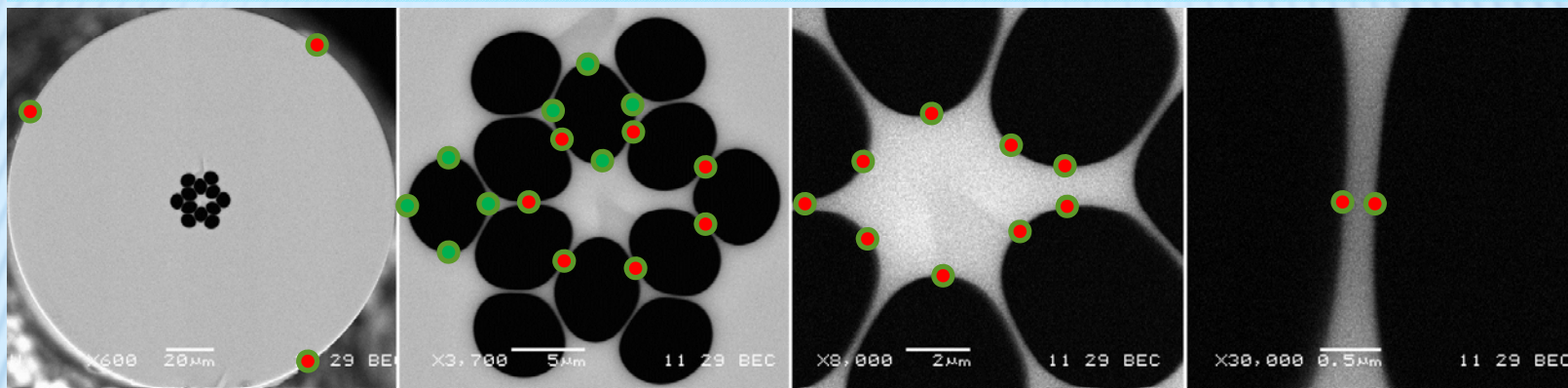
Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

## Структура 6115ec



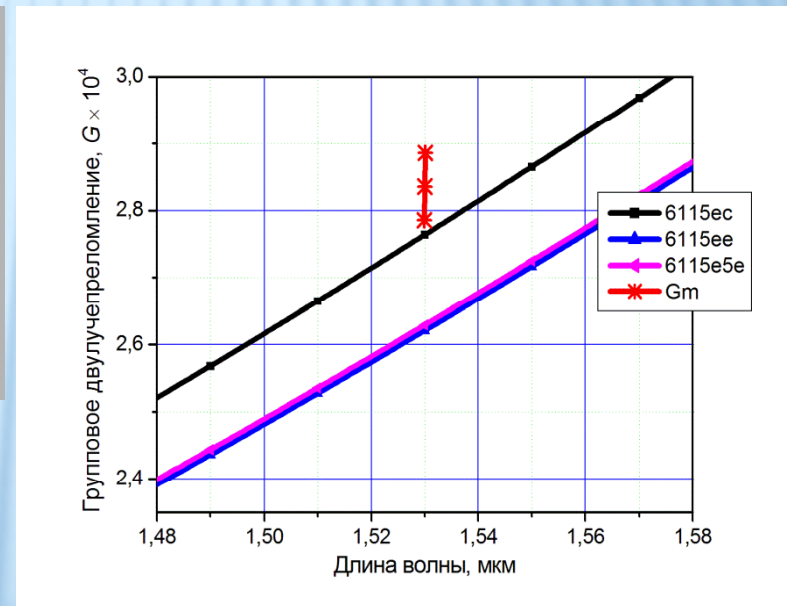
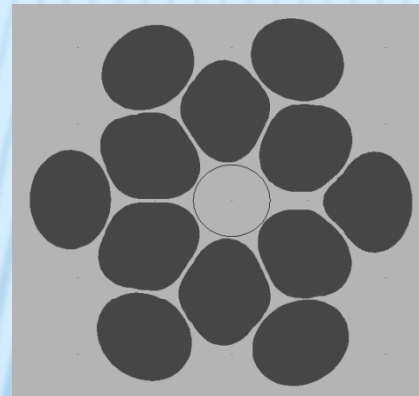
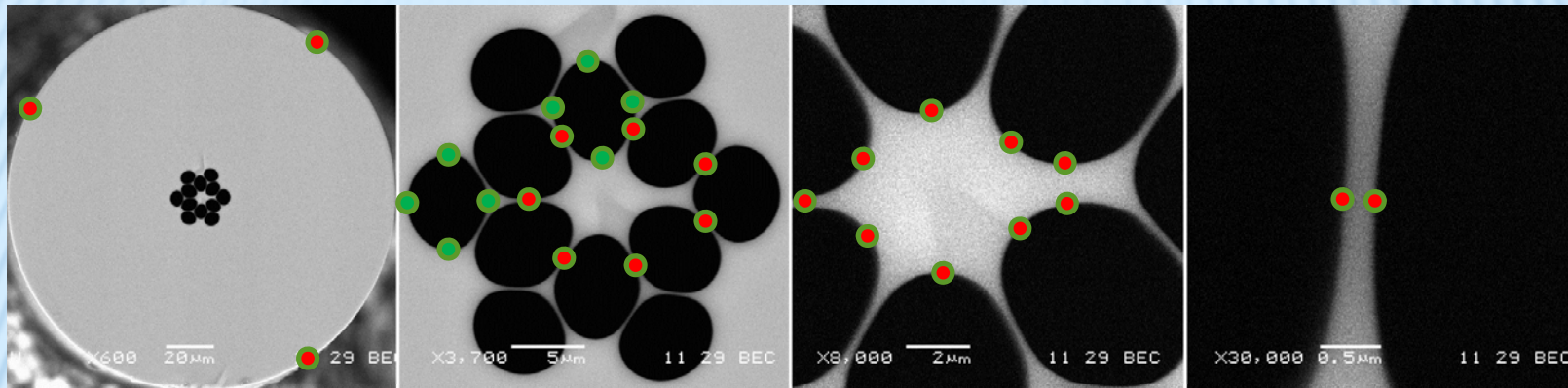
Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

## Структура 6115ee



Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

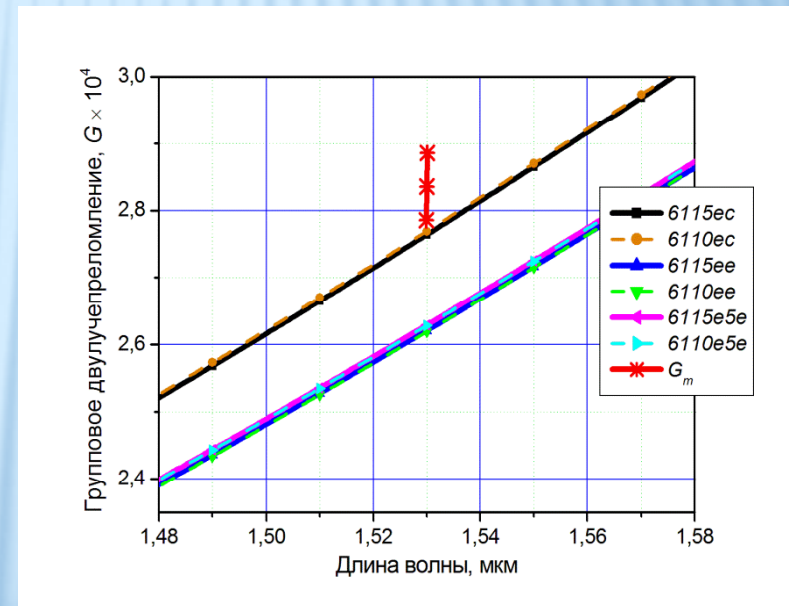
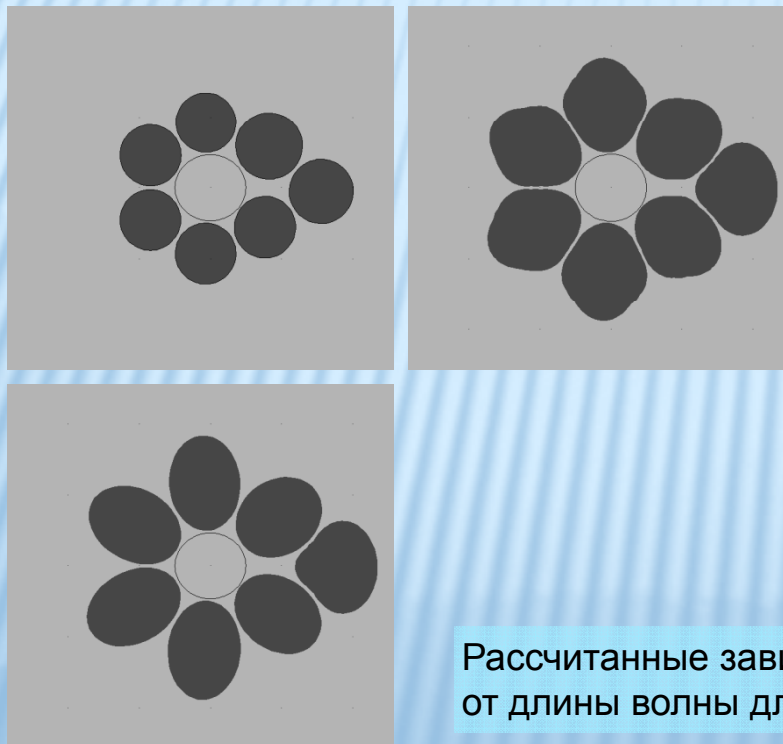
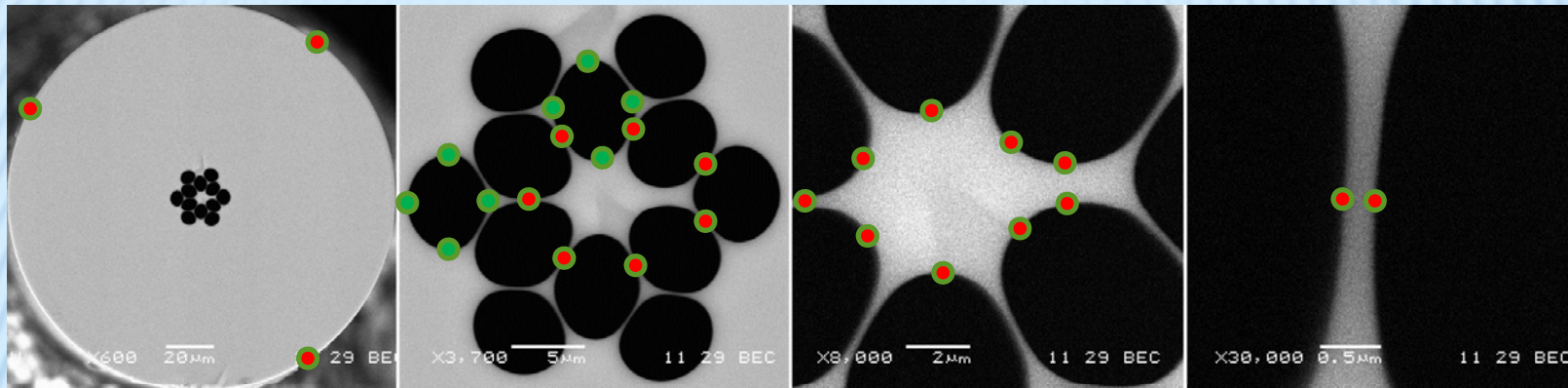
## Структура 6115e5e



Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

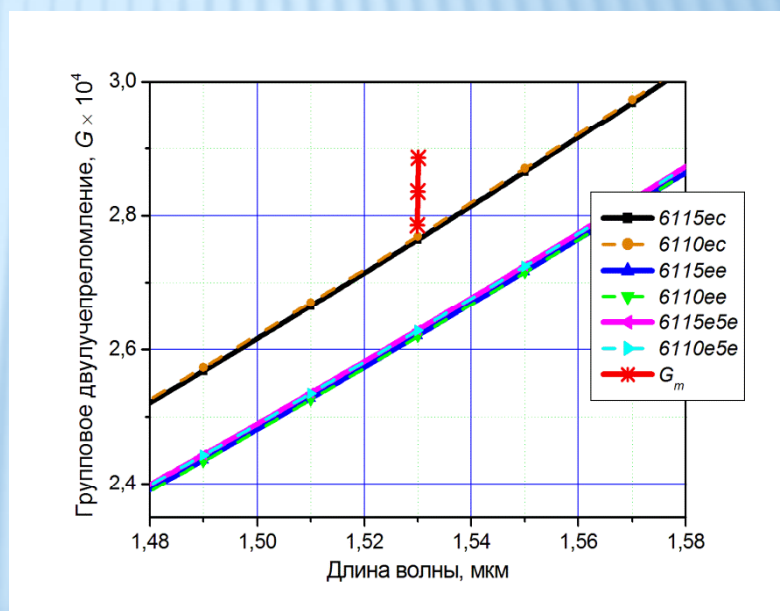
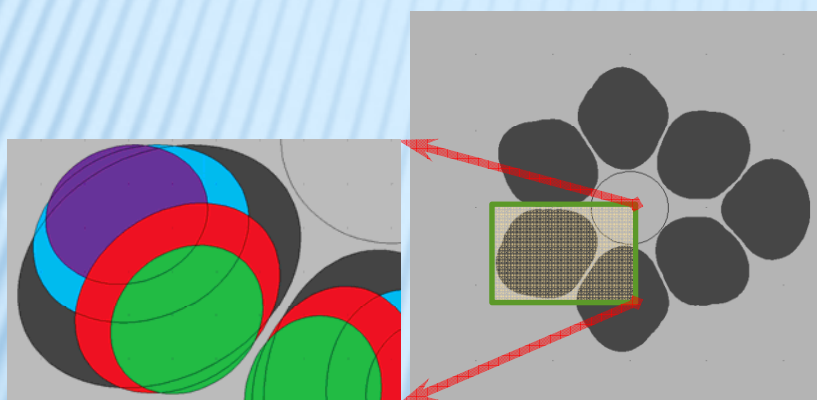
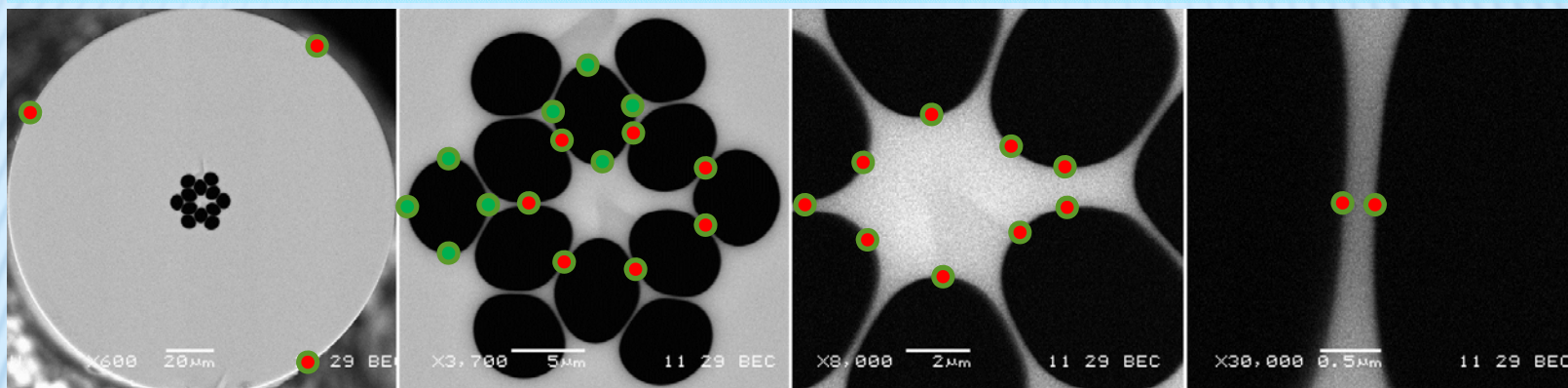


## Структуры 6110ec, 6110ee, 6110e5e



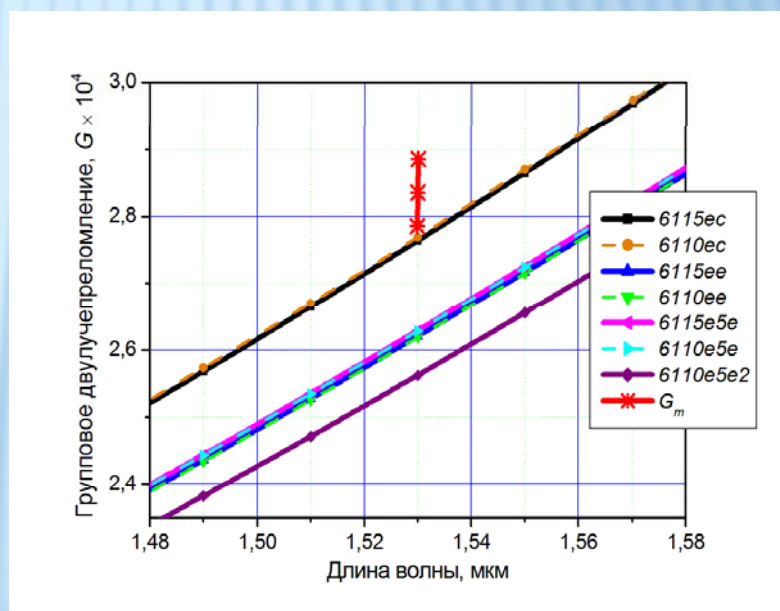
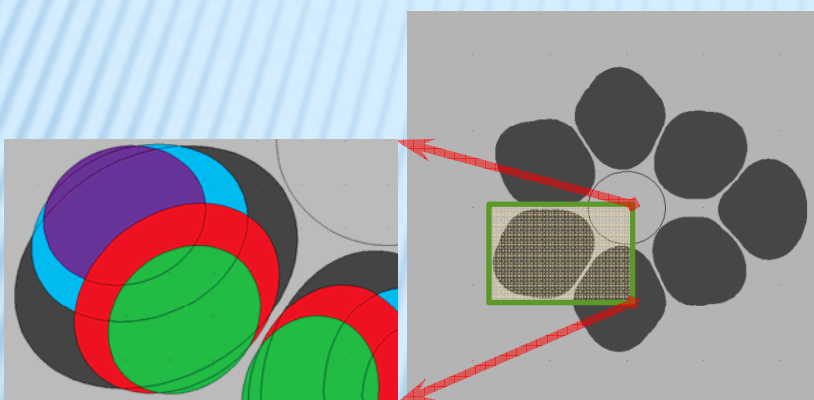
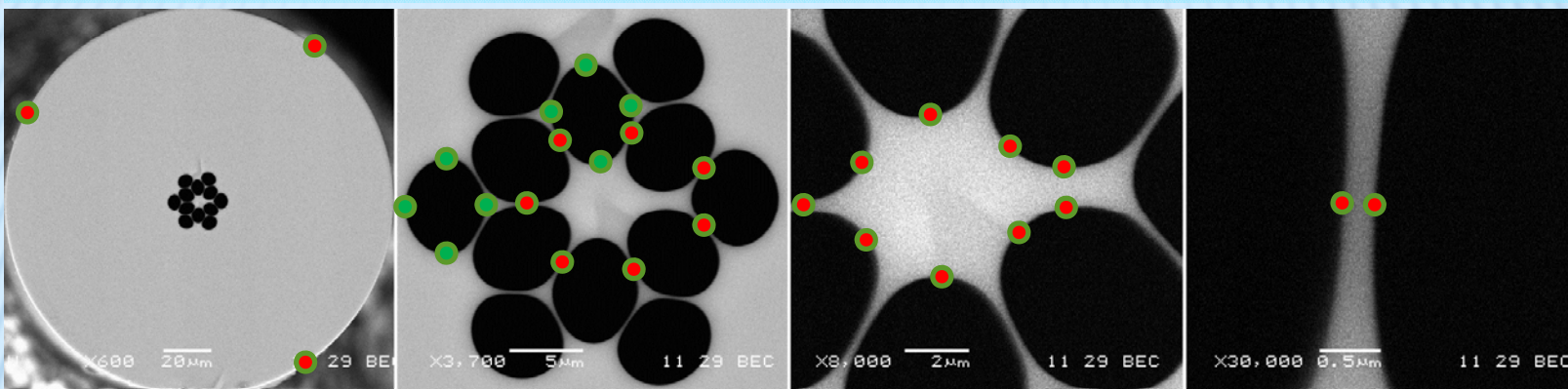
Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

## Структура 6110e5e



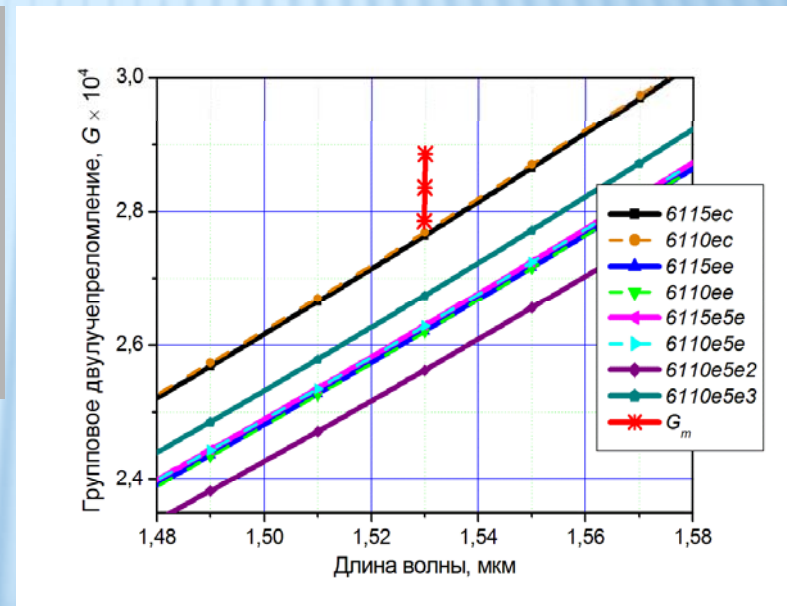
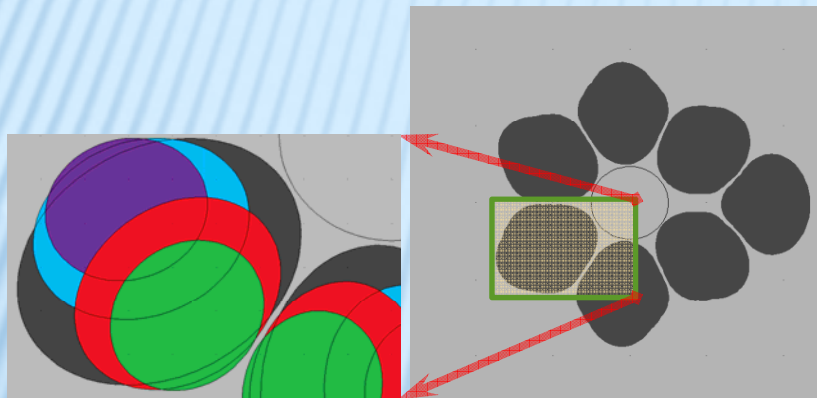
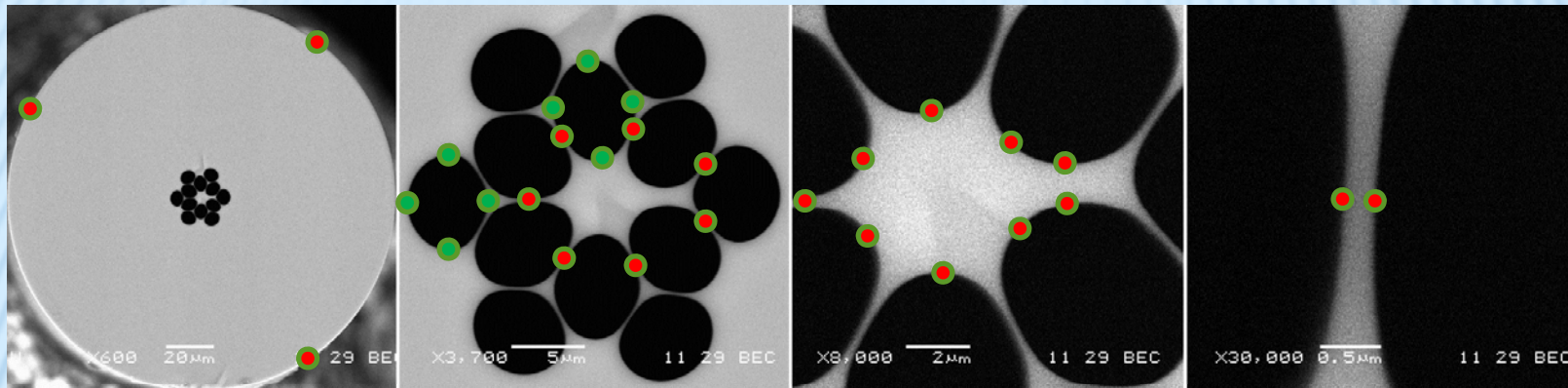
Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

## Структура 6110e5e2



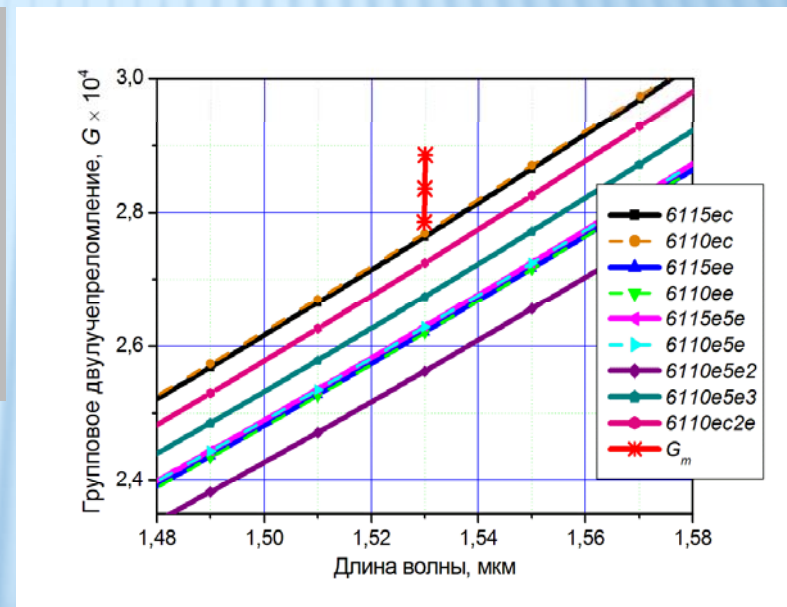
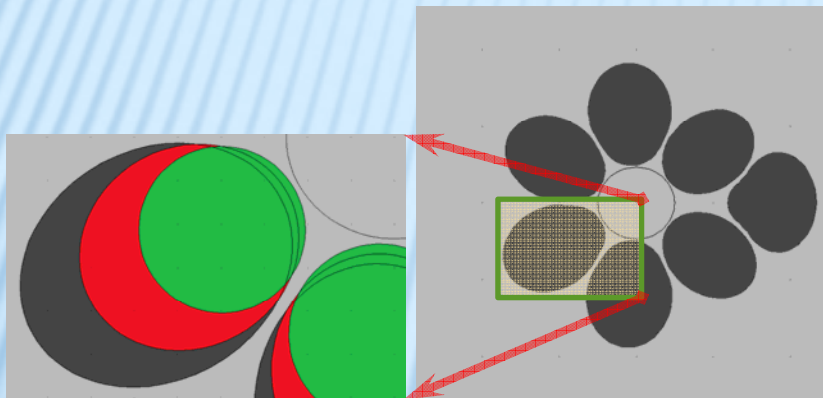
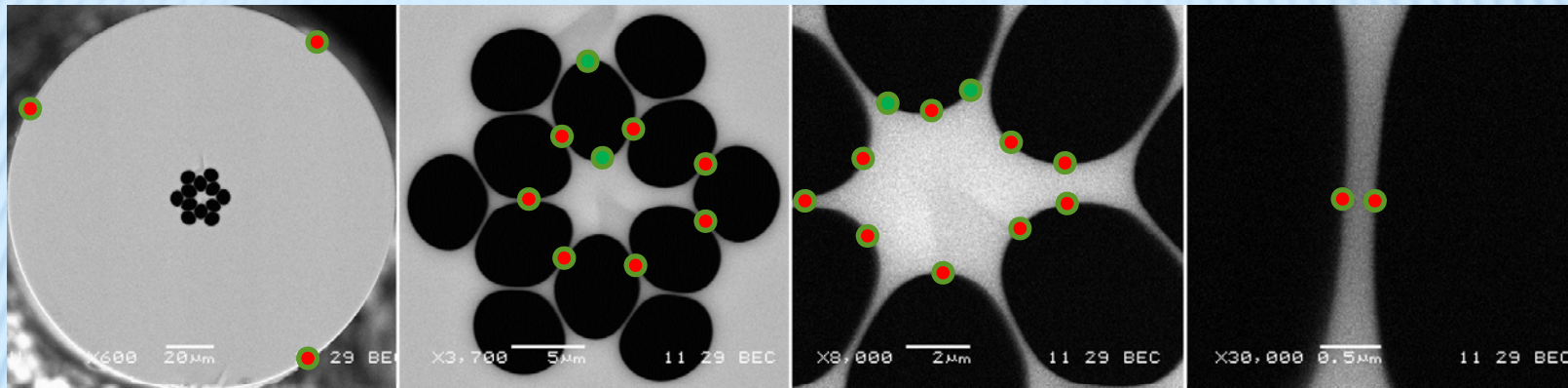
Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

## Структура 6110e5e3



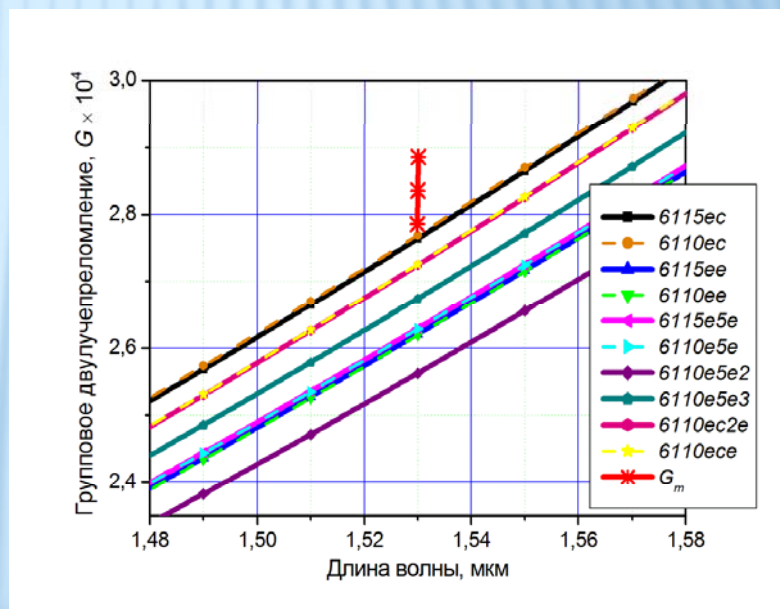
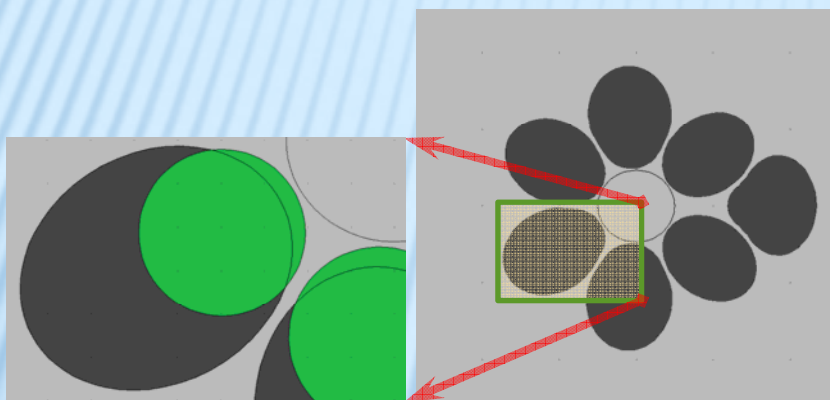
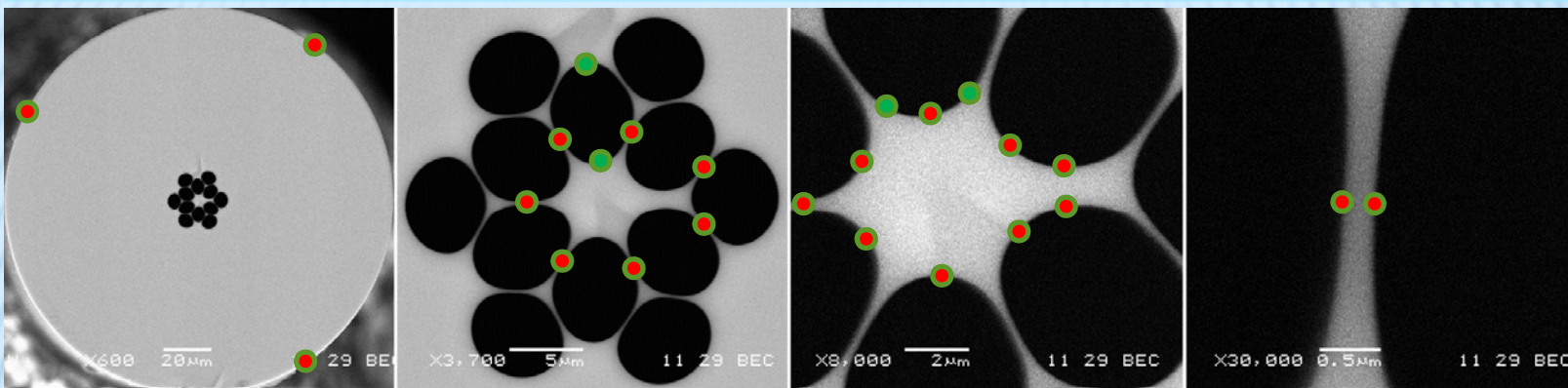
Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

## Структура 6110ec2e



Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

## Структура 6110есе



Рассчитанные зависимости группового двулучепреломления  $G_c$  от длины волны для разных моделей и измеренная величина  $G_m$ .

## Параметры образцов изготовленных ДМС

ДМС	СКОЛ	$D(\text{мкм})$	$D_y(\text{мкм})$	$e$	Зазор(мкм)	$G_c \times 10^4$	$G_m \times 10^4$
ДМС №1	Скол 1	131,3	4,06	1,085	0,980	5,26	5,10
	Скол 2	128,7	3,96	1,070	0,840	4,62	
	Скол 3	132,7	4,07	1,088	0,980	5,01	
ДМС №2	Скол 1	137,2	4,25	1,049	1,001	3,79	3,88
	Скол 2	141,4	4,35	1,068	1,067	3,95	
	Скол 3	140,3	4,37	1,054	1,023	3,52	
ДМС №3	Скол 1	158,7	4,88	1,069	1,160	2,67	2,84
	Скол 2	161,4	5,07	1,048	1,231	2,47	

Измеренные величины группового двулучепреломления с хорошей точностью попадают в интервалы изменения рассчитанных величин группового двулучепреломления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен сравнительный анализ различных модельных структур двулучепреломляющих микроструктурированных волоконных световодов.

Показано, что одним из важнейших факторов, определяющих величину двулучепреломления ДМС, является кривизна отверстий в ближайшей к сердцевине световода области.

Предложена простая модельная структура ДМС, обладающая наилучшей точностью описания формы сердцевины световода при относительной геометрической простоте.

Получено очень хорошее совпадение рассчитанных величин группового двулучепреломления с измеренными значениями для разных образцов изготовленных ДМС.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**