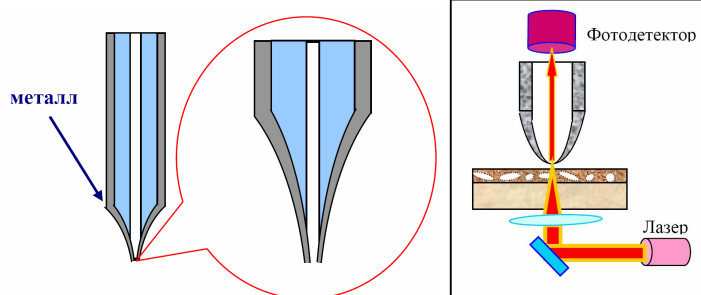


Оптическое сверхразрешение

Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля (СОМБП) – одна из современных методик получения сверхвысокого разрешения оптического отклика нанообъектов. Разрешающая способность обычной (дальнепольной) оптической микроскопии ограничена снизу дифракционным пределом: при освещении светом с длиной волны, например, $\lambda=450\text{нм}$, современные оптические микроскопы могут обеспечить пространственное разрешение объектов, разнесенных на расстояние не менее $R\approx 200\text{нм}$. В микроскопах, реализующих метод СОМБП, возможно получение разрешения в десятки нанометров.



Метод СОМБП состоит в следующем (рисунки взяты из пособия «Основы сканирующей зондовой микроскопии» В. Л. Миронова). К образцу на расстояние $\sim 10\text{нм}$ подносится зонд – конец оптоволокна, обрезанный и запыленный металлом (обычно алюминием) как показано на рисунке. Конец волокна изготовлен таким образом, что отверстие, через которое в волокно способно проникать излучение, имеет диаметр $d < 100\text{нм}$. Если освещать образец с обратной стороны (см. рисунок), то в волокно будет попадать излучение, собранное с маленького участка образца, по площади сравнимого с площадью отверстия волокна. Свет через волокно попадает на детектор. Далее, волокно перемещается, и производится измерение интенсивности в новой точке, и так далее (расстояние от конца волокна до поверхности волокна удерживается на постоянном уровне). Результатом измерений является растровое изображение, где координата пикселя соответствует координате в плоскости образца, а цвет пикселя характеризует интенсивность сигнала, принятого в соответствующей точке образца.

Рассмотрим образец, состоящий из двух одинаковых отверстий, проделанных в непрозрачном экране. Диаметр отверстий 200нм , расстояние между ними 200нм . Освещение производится с противоположной от наблюдателя стороны образца лазерным пучком с длиной волны $\lambda=500\text{нм}$ и плоским волновым фронтом.

Схематично зарисуйте изображение данных объектов, которое может быть получено в обычном оптическом микроскопе (**1 балл**). Предположим, что изображение формируется микроскопом на экране. Какими функциями будет описываться распределение поля в плоскости экрана (**1 балл**)? Постройте одномерное распределение поля на экране в сечении, проходящем через центры изображений отверстий, если используется оптическая система с числовой апертурой $NA=0.95$ (**2 балла**). Какие параметры измерительного прибора можно изменить для достижения наилучшего разрешения (**1 балл**)? Чему равно это разрешение (**1 балл**)?

Постройте растровое изображение образца, которое может быть получено с помощью метода СОМБП, если использовать зонд с диаметром отверстия $d=50\text{нм}$ (**3 балла**). Расчет проводить в приближении, когда траектория зонда всегда параллельна экрану и зонд не проваливается в отверстия. Чем определяется разрешающая способность такого метода (**1 балл**)? По ширине на полувысоте графика $I(x,y)$ определите диаметр отверстий; чем вызвано отклонение от действительного значения (**1 балл**)?