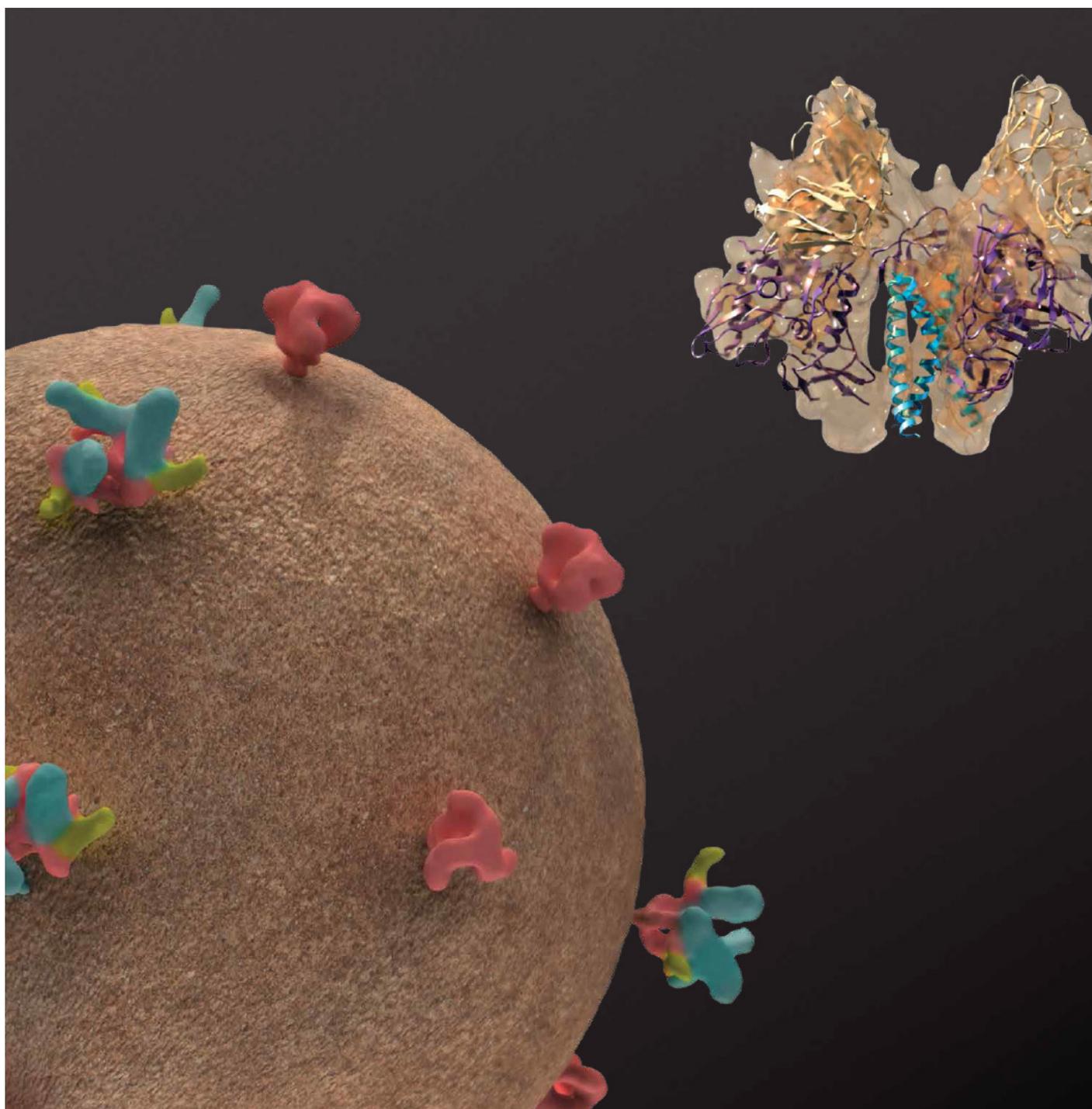


Криоэлектронная микроскопия

Основы метода, оборудование, программное обеспечение



Особенности структурного анализа белковых комплексов

В настоящее время биотехнологические методы и методы разработки лекарств развиваются очень быстро. Все чаще возникает необходимость максимально приблизиться к состоянию *in vivo* в изучении механизмов молекулярных взаимодействий, при этом сохраняя высокие разрешения. До недавнего времени основным методом, позволяющим достичь высоких разрешений в структурной биологии, была белковая кристаллография.

Преимущества метода криоэлектронной микроскопии

Метод белковой кристаллографии отлично зарекомендовал себя, и его развитие в значительной степени способствовало прогрессу в структурной биологии. Однако XRD не лучшим образом подходит для решения структур больших белковых комплексов, поскольку подразумевает этап кристаллизации, который по определению далек от *in vivo*.

Получение монокристалла - сложный, длительный, зачастую непредсказуемый процесс, а некоторые белки вообще не кристаллизуются. И, хотя строение больших белковых комплексов дает много информации о процессах взаимодействий молекул, такие структуры очень сложно стабилизировать и кристаллизовать. Традиционные методы, такие как NMR и XRD не дают адекватных результатов в экспериментах по изучению взаимодействия больших белков на молекулярном уровне. Для того, чтобы сохранить комплекс в нативном состоянии, образец необходимо сохранять в растворе. Криоэлектронная микроскопия (Cryo-TEM) позволяет изучать образцы в естественном гидратированном состоянии.

Для детальной реконструкции больших белковых комплексов в Cryo-TEM необходимо получить десятки тысяч двумерных изображений. Раньше Cryo-TEM была сложной техникой, требующей огромных временных затрат и высококвалифицированного персонала. Однако сейчас, с появлением приборов FEI последнего поколения с интегрированным программным обеспечением (ПО), Cryo-TEM становится простой методикой, в которой большинство процессов автоматизированы, таким образом позволяя структурным биологам изучать устройство больших белковых комплексов в нативном состоянии. FEI удалось оптимизировать методы пробоподготовки и объединить их с электронными микроскопами, технологиями обработки больших объемов данных и специализированным ПО, благодаря чему были достигнуты непревзойденные результаты.

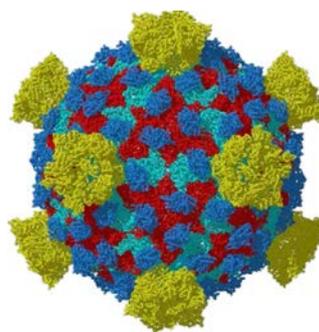


Рис. 1. Икосаэдрический вирус без оболочки. Hong Zhou et al. Cell 2010.

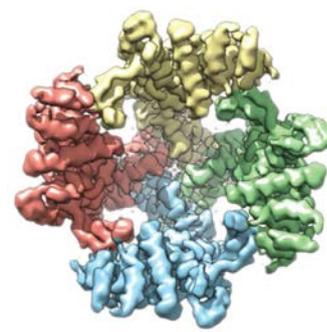


Рис. 2. Сложный вирус без оболочки. Hong Zhou et al. Cell 2010.

Оптимизация методов пробоподготовки

От качества образца напрямую зависит качество полученных данных. При обычных условиях заморозки вода формирует кристаллы льда, которые повреждают образец. Существует несколько подходов, позволяющих избежать кристаллизации. Первый подход — использование веществ, препятствующих замерзанию при низких температурах, например, сахарозы, как в методе Токуясу. Второй подход — мгновенное охлаждение.

В процессе витрификации образец помещается в тонкий слой аморфного льда, для этого FEI предлагают автоматизированный программируемый подход. Водная суспензия, содержащая белковый комплекс, погружается в раствор жидкого этана, где моментально замерзает при температуре $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Процесс происходит настолько быстро, что молекулы воды не успевают закристаллизоваться и лед остается аморфным, а значит прозрачным для пучка электронов. При этом максимально сохраняется структура образца.

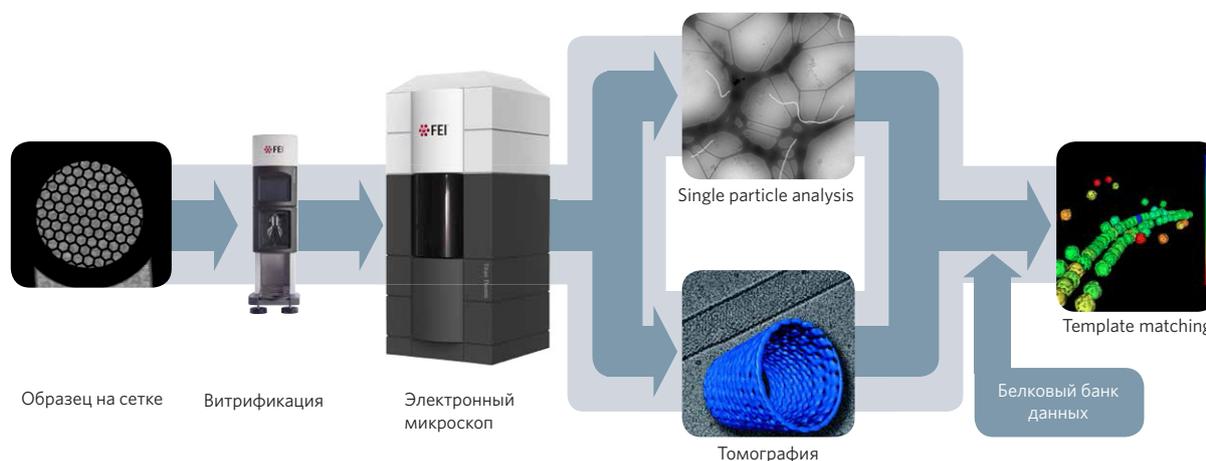


Рис. 3. Общая схема последовательности действий в cryo-TEM.

Приемы и методы получения изображений

Будучи зафиксированными в ультратонком слое льда, большинство биологических объектов крайне чувствительны к пучку электронов. По этой причине при съемке необходимо использовать малые дозы облучения. Ранее это было серьезным препятствием для получения контрастных изображений с хорошим разрешением. Однако теперь в этом направлении достигнут существенный прогресс.

Съемка в режиме Low dose

Режим съемки с низким облучением Low dose давно успешно применяется на микроскопах FEI. Эта техника включает три этапа - поиск, фокусировка и съемка. Поиск обычно осуществляется на низких увеличениях с невысокой интенсивностью пучка. Фокусировка происходит на участке рядом с областью, которую необходимо снять, таким образом сохраняя ее от воздействия пучка электронов. В итоге нужная область экспонируется лишь один раз - непосредственно в процессе съемки.

Высокочувствительные камеры

FEI предлагают широкий спектр высокочувствительных камер, управление которыми полностью интегрировано в ПО. Во многом благодаря существенному повышению чувствительности камер стало возможным столь быстрое развитие метода Single Particle Analysis (SPA), которое наблюдается в последние годы. В криоэлектронных системах FEI используются CMOS камеры с прямой детекцией электронов, физическим размером сенсора 6x6 см и динамическим диапазоном 16 бит. Они обладают непревзойденной квантовой эффективностью, а значит высокой чувствительностью и соотношением сигнал/шум.

Комплементарные техники Single Particle Analysis и томография

SPA и электронная томография позволяют произвести трехмерную реконструкцию образца. SPA дает информацию о молекулярном комплексе с высоким разрешением (единицы ангстрем), однако не предоставляет информации о биологическом контексте. Томография дает представление о клеточной архитектуре, цитоскелете и органеллах, но разрешение метода ограничено.

Программное обеспечение FEI позволяет объединить два этих метода. Таким образом появляется возможность собрать информацию с высоким разрешением об отдельных белковых комплексах и поместить полученные структуры в биологический контекст. Этот метод называется Template matching. Специализированное ПО FEI ARGOS автоматически распознает на томограмме структуры отдельных белков, которые ранее были получены в SPA.

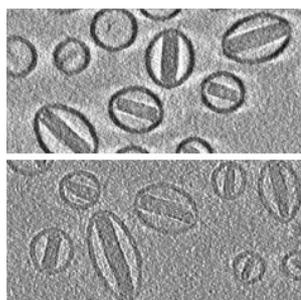


Рис. 5. Структура доксорубина, снятая с фазовой пластинкой FEI (вверху) и без нее (внизу). Image courtesy of Radostin Danev, MPIB Martinsried.

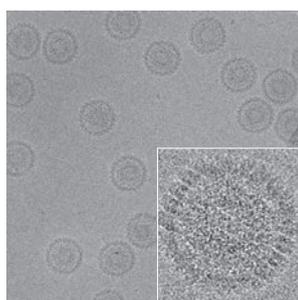


Рис. 6. Вирус простого герпеса, снятый на FEI TITAN KRIOS с использованием камеры Falcon II. Диаметр капсида 1250 Å. Courtesy of Anastasia Aksyuk, William Newcomb, and Alasdair Steven, NIAID, NIH.

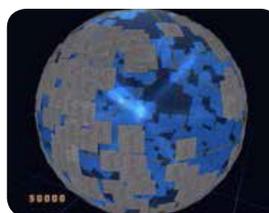


Рис. 4. Визуализация процесса классификации проекций структуры в SPA с помощью ПО EPU. Каждое из 50000 изображений, полученных автоматически, соответствует определенной проекции структуры белка или вируса.

Автоматизированный сбор данных

Как часть комплекса для Cryo-TEM FEI предлагают мощное ПО для автоматизированного сбора данных - EPU. Оно оптимизирует процесс съемки больших объемов данных в SPA, обычно это десятки тысяч идентичных частиц. Каждое изображение представляет собой 2D проекцию трехмерной структуры, расположенной под произвольным углом. После процедур классификации проекций (см. рис. 4) и усреднения данных на выходе получается 3D структура с высоким разрешением.

Фазовая пластинка улучшает контраст

Витрифицированные образцы как правило содержат легкие атомы и по этой причине обладают низким контрастом, при этом не позволяя использовать высокие дозы облучения. Фазовая пластинка FEI позволяет существенно улучшить контраст, таким образом значительно повышая детализацию. А это значит, что можно получать изображения в режиме Low dose с меньшим разрушением образца. Это комплексное решение, включающее систему держателей апертуры, куда интегрирована фазовая пластинка, в дополнение к двум стандартным апертурам. Управление фазовой пластинкой интегрировано в ПО. Конструкция фазовой пластинки FEI основана на индуцированном пучком эффекте Вольта. Ее срок службы значительно превышает показатели аналогов.

Автоматический загрузчик образцов

FEI предлагает системы, оборудованные автозагрузчиком образцов, рассчитанные на работу в режиме 24/7, что становится возможным благодаря полной автоматизации. Роботизированный автозагрузчик позволяет загрузить до 12

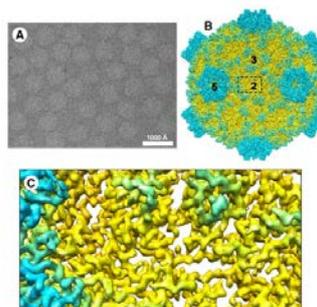


Рис. 7. 3D реконструкция CPV с разрешением 3.1 Å. (A) Исходное изображение частиц CPV, полученное на FEI Titan Krios (B) 3D визуализация (C) Увеличенное изображение области 2 из (B).

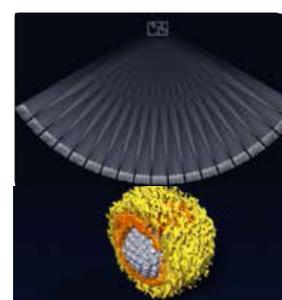


Рис. 8. Обратная проекция отдельных 2D изображений, снятых на разных углах наклона (томограмма, вверху) и финальная реконструкция (внизу). Images courtesy of MPI Martinsried, Germany.

Talos L120C

Talos L120C - новая модульная платформа, обеспечивающая оптимальную производительность и стабильность. Система разработана чтобы быть максимально простой и понятной пользователю с любым уровнем подготовки.

Линейка 120 кВ микроскопов Теспаі Spirit приобрела широкую популярность среди исследователей. Более 500 установленных систем по всему миру, на которых сделано более 4000 публикаций только за последние 5 лет. В 2014 году на смену семейству Теспаі пришли приборы нового поколения Talos, а в 2016 году появилась 120 кВ модель - Talos L120C. Как и Теспаі Spirit новый прибор разработан для работы с низкоконтрастными образцами и томографии. Улучшена оптическая и механическая стабильность, эргономика, теперь все конструктивные элементы управляются через ПО с возможностью сохранения настроек. Загрузка образца стала еще быстрее благодаря модернизированной вакуумной системе. Также на новом приборе доступно ПО MAPS для съемки больших объемов образца и простого переноса данных между SEM, TEM, двулучевыми системами и световыми микроскопами.

Talos L120C - идеальное решение для крио исследований начального уровня, 2D съемки, а также эффективный инструмент для томографии и скрининга образцов в SPA с отдельными опциями для EDS и STEM. Прибор укомплектован 16 Мп CMOS камерой Ceta, которая может быть дополнена новой быстрой камерой для просмотра образца SmartCam. Переключение между режимами TEM и STEM происходит быстро. Осуществляется полный контроль через ПО над основными компонентами прибора: электронной пушкой, оптикой, вакуумной системой и столиком. Все настройки можно сохранить в виде пресетов. Talos L120C - это отличная базовая модель для 2D съемки, томографии, при этом ее можно сконфигурировать для cryo-TEM.

Talos F200C

Talos F200C - мощный и универсальный микроскоп для 3D съемки клеток и отдельных молекул.

Talos F200C разработан для работы как при комнатной температуре, так и для cryo-TEM. Таким образом, он охватывает широкий набор приложений - от классической микроскопии и съемки в режиме STEM (опционально) на платформе FEI Velox S/TEM с функцией коррекции дрефта Drift Corrected Frame Integration (DCFI) до съемки высококонтрастных образцов в режиме Low dose и дифракции. Диапазон напряжений 20-200 кВ позволяет оптимизировать напряжение для любых типов образцов. Камера FEI Ceta 16M™ обеспечивает широкое поле зрения и быструю съемку до 25 кадров в секунду. Пьезо-стол обеспечивает точную навигацию по образцу, таким образом экономя время и позволяя получить больше данных с каждого образца.

Talos F200C позволяет работать с автоматизированными приложениями, такими как томография и SPA. Система поддерживает держатель с одним и двумя плоскостями наклона так же, как и томографические держатели с широким полем зрения для работы при комнатной температуре. Возможно также использование 70-градусного криодержателя вместе с выдвижным крио боксом для томографии и SPA.

Talos F200C обладает удобным многопользовательским интерфейсом и возможностью разделения пользователей на группы согласно их квалификации, таким образом открывая возможности для работы большому числу специалистов. Быстрое, простое переключение между режимам и элементами управления, такими как, например, автоматические апертуры, сокращает количество операций и экономит время.

| СПЕЦИФИКАЦИЯ | |
|--|-------------|
| Информационный предел TEM, нм | <0,2 |
| Разрешение по точкам TEM, нм | 0,30 |
| Диапазон увеличений TEM | 25-650Kx |
| Диапазон увеличений TEM с камерой | 35x - 910Kx |
| Максимальный угол поворота (со стандартным держателем) | +/- 90° |
| Разрешение (STEM в режиме HAADF с LaB6), нм | <1.0 |
| Диапазон увеличений STEM | 200-2.2Mx |



Особенности

- Система линз C-TWIN с постоянным напряжением, заимствованная у Titan Krios
- Быстрое и простое переключение между режимами, можно доверить работу студентам
- Высокостабильная система линз, надежный внешний кожух и возможность удаленного доступа
- Цифровая камера SmartCam для поиска и просмотра упрощает работу с любыми приложениями
- CMOS камера Ceta 16 Мп обеспечивает широкое поле зрения и высокую скорость считывания (1 кадр/сек. @ 4K, 18 кадров/сек. @ 1K, 25 кадров/сек. @ 512 пикселей)
- Полностью удаленный доступ: автоматическая система апертур в сочетании с камерой Ceta
- Совместима с приложениями FEI для SPA (EPU) и TEM (STEM) томографии.

| СПЕЦИФИКАЦИЯ (TALOS C-TWIN) | |
|---|-------------|
| Информационный предел TEM, нм | 0,18 |
| Разрешение по точкам TEM, нм | 0,30 |
| Разрешение (STEM в режиме HAADF), нм | 0,21 |
| Диапазон увеличений (STEM) | 25x - 910kx |
| Максимальный угол поворота гониометра (столика) | +/- 90° |

Talos Arctica

Talos Arctica™ - 200 кВ просвечивающий и сканирующий (S/TEM) электронный микроскоп. Мощная, стабильная высокоавтоматизированная система, оптимизированная как для трехмерной съемки белков и макромолекулярных комплексов, так и для клеточной томографии в высоком разрешении.

В основе прибора лежит сочетание первоклассной оптики, термической и механической стабильности с уникальным автоматизированным криодержателем для загрузки нескольких образцов при температуре жидкого азота.

Система линз C-TWIN позволяет достичь оптимального баланса между контрастом и разрешением. Прибор включает опциональный пьезо-столик, стабильную оптику и прочный корпус, который обеспечивает еще большую устойчивость к изменениям температуры и вибрациям.

Talos Arctica это полностью цифровая система S/TEM, которая включает в себя новую камеру для поиска и просмотра образца SmartCam, специально разработанную FEI. Эта скоростная камера используется вместо традиционного флуоресцентного экрана и позволяет пользователю работать на приборе дистанционно. Возможность локальной удаленной работы изначально заложена в линейке Talos. Таким образом, работать можно как в комнате с микроскопом, так и в смежном помещении на расстоянии не более 10 м от микроскопа.

Talos Arctica включает запатентованное FEI ПО Velox™ (Windows 7) для удобства работы в режиме STEM. Все компоненты микроскопа, такие как электронная пушка, элементы оптики, вакуумная система и столик с образцом, управляются через ПО. Это позволяет в частности сохранять параметры, включая настройки системы линз, пушки, тонкие настройки оптики и апертур, и воспроизводить их нажатием одной кнопки в любых режимах, будь то TEM, STEM или Low-dose. Точно также и все детекторы, включая камеру Falcon и STEM, управляются компьютером. ПО для управления детекторами интегрировано в пользовательский интерфейс. Процесс съемки также может быть автоматизирован, например в таких приложениях как томография и SPA.



ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Еще больше скорость получения данных: скорость съемки увеличена в 3 раза для томографии и до полутора раз для SPA с использованием EPU по сравнению с боковой загрузкой образца

Высокая производительность: роботизированная система загрузки до 12 образцов увеличивает производительность на 40%

Полная интеграция: Talos Arctica полностью совместим с программным обеспечением FEI, Phase Plate и детекторами, предназначенными для работы с крио приложениями

Нет необходимости в присутствии оператора: автоматическая подача жидкого азота и специализированное ПО позволяют использовать систему непрерывно без постоянного присутствия оператора

Великолепное качество данных: прибор оптимизирован для работы в диапазоне напряжений 80-200 кВ, оборудован системой линз C-TWIN с постоянным напряжением для оптимизации баланса между контрастом и разрешением

Качество образца: загрузка образца без риска контаминации и автоматизированная подача жидкого азота положительно сказываются на продолжительности жизни образца и его качестве

Низкие затраты на обслуживание: возможно производить удаленную диагностику и профилактическое обслуживание, что уменьшает затраты на сервис и увеличивает время работы.

СПЕЦИФИКАЦИЯ

| | |
|--|---|
| Ток (X-FEG) | > 1.2 нА (при размере пятна 1 нм) |
| Информационный предел | <0.23 нм (наклон образца 0°) <0.34 нм (наклон образца +/- 70°) |
| Дрифт после смены образца (максимальные значения) | 5 мин: 1.2 нм/с (обзор образца) 15 мин: 0.45 нм/с (поиск объектов) 30 мин: 0.25 нм/с (начало томографической съемки) 60 мин: 0.05 нм/с (начало EPU) |
| STEM разрешение (опционально) | <0.23 нм |
| Томография (опционально) | Воспроизводимость X, Y <0.4 мкм (наклон от -70° до +70°) Эуцентричность X,Y <2 мкм ((наклон от -70° до +70°) Эуцентрический расфокус <4 мкм ((наклон от -70° до +70°) |

Особенности

- Система линз C-TWIN (Cc и Cs 2.7 мм), обеспечивающая хороший оптимум между диапазоном наклона, разрешением и контрастом
- Автоматизированный загрузчик образцов, исключающий контаминацию
- Интегрированная система подачи жидкого азота AutoFill, позволяющая долговременно поддерживать стабильную температуру
- Особый дизайн низкотемпературного держателя образца, обеспечивающий отсутствие дрефта и высокую стабильность
- Качество витрифицированного образца гарантировано до 24 часов нахождения в микроскопе, благодаря безмаслянной вакуумной системе и фиксированному крио боксу
- Полная совместимость с SPA и томографией
- Камера для поиска и просмотра образца SmartCam, упрощающая работу во всех приложениях
- Рабочая станция, включающая два 24" ЖК монитора и стол, обеспечивает полный комфорт оператору
- Автоматическая система апертур в сочетании со SmartCam обеспечивает возможность дистанционной работы.

Titan Krios



Titan Krios G2 - STEM, созданный для работы с клетками и белками. В основе его лежит революционная технология, позволяющая исследователям добиваться максимальных результатов в SPA, двуосевой томографии, Крио-ЭМ и 2D электронной кристаллографии замороженных гидратированных клеток и клеточных органелл.

Инновационная платформа Titan Krios G2 сочетает великолепную разрешающую способность и механическую и термическую стабильность с высокопроизводительным загрузчиком образцов. Автозагрузчик позволяет загружать одновременно до 12 образцов, каждый из которых содержится в особом держателе Autogrid. При этом держатель сконструирован так, что сохраняется возможность производить эксперименты по двуосевой томографии с наклоном образца в колонне до 90 градусов. Диапазон напряжений 80-300 кВ позволяет работать с разными образцами - от витрифицированных суспензий до неокрашенных крио срезов. Полностью цифровой пользовательский интерфейс позволяет управлять прибором удаленно из соседнего помещения, а использование быстрой камеры для просмотра образцов flu cam делает процесс еще проще.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Платформа для двуосевой криоэлектронной томографии высокого разрешения, SPA и электронной кристаллографии

Роботизированная загрузка до 12 витрифицированных образцов

Равномерное освещение на большом настраиваемом поле зрения, что важно для криоэлектронной томографии и SPA

Минимальный термический дрейф благодаря системе линз с постоянным напряжением Constant Power

Заниженные требования по установке и эксплуатации: защитный кожух обеспечивает дополнительную термическую и акустическую экранировку

Меньше времени тратится на образец, а значит меньше затраты благодаря автоматическому загрузчику образцов и длительному времени автономной работы

Спецификация

Основные параметры

- Катод повышенной яркости X-FEG
- Трехлинзовая конденсорная система для равномерного освещения образца с количественной индикацией угла схождения и размера освещаемой области
- Широкий диапазон напряжений от 80 до 300 кВ
- Защитный кожух для снижения требований к помещению
- Модульный дизайн колонны
- Система линз с постоянным напряжением, разработанная для оптимального переключения между режимами низкого, высокого увеличения и дифракции
- Крио столик, позволяющий вращать образец до 90 градусов, что делает возможным двухосевую криотомографию
- Симметричная система линз C-TWIN
- Автоматизированные апертуры
- Отсутствие вращения изображения при увеличении
- Компьютеризированный 5-осевой столик с углом наклона +/- 70 градусов
- Автозагрузчик для роботизированной загрузки до 12 образцов
- Программный пакет LowDose для минимизации облучения
- Полностью цифровое управление для удаленного контроля.

Цифровая камера

- Скорость съемки до 40 кадров/с.
- Автоматически настраиваемый гейн
- Цифровой зум
- Автоматический режим HDR
- Продвинутый дизайн сцинтиллятора для наблюдений в реальном времени сфокусированных пучков высокой интенсивности
- Съемка в псевдоцвете
- Все настройки можно сделать с помощью быстрой камеры для просмотра

Детекторы

- Высокоугловой кольцевой темнопольный детектор (HAADF)
- Светлопольный и темнопольный детекторы (BF/DF)
- Камера Falcon
- Камера Ceta
- Энергетический фильтр Quantum

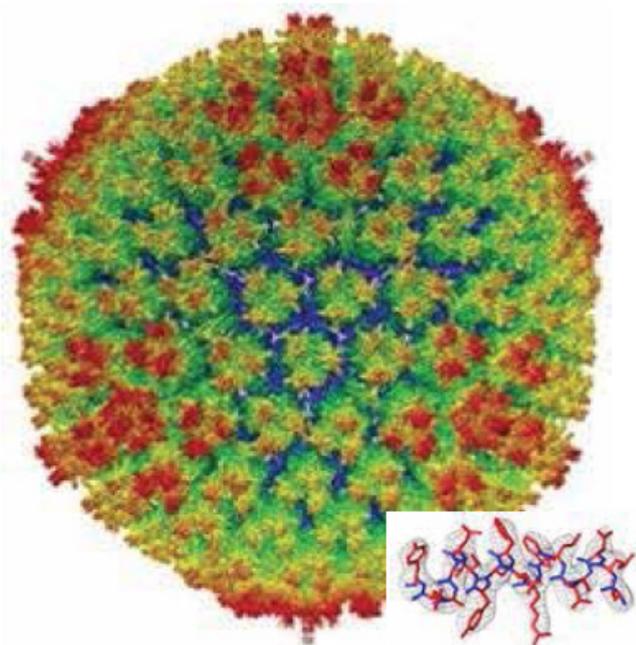


Рис. 9. Атомарная структура аденовируса человека, полученная с разрешением 3.6 ангстрем методом SPA. Image courtesy of Hong Zhou, University of California at Los Angeles, USA.

Vitrobot

Новый Vitrobot™ Mark IV - уникальный прибор для пробоподготовки в области клеточной и структурной биологии. Он также находит применение в пищевой и фармацевтической промышленности, нанотехнологических приложениях - везде, где существует необходимость изучения структуры в коллоидных растворах.

Фундаментальные исследования в клеточной и структурной биологии все больше фокусируются на выявлении механизмов взаимодействия на макромолекулярном уровне. Крио-ЭМ позволяет ученым получить эту информацию путем трехмерной визуализации макромолекулярных структур в нативном состоянии. Vitrobot полностью автоматизирует процесс витрификации, что делает его простым, быстрым и воспроизводимым. А это первый и очень важный шаг на пути к изображениям высокого разрешения и надежным воспроизводимым результатам.

В процессе витрификации образец замораживается так быстро, что молекулы воды не успевают закристаллизоваться, формируя таким образом аморфный лед, при этом практически не повреждая структуру образца. Vitrobot Mark IV, четвертое поколение прибора, дает точный и при этом гибкий контроль над всеми критическими параметрами процесса заморозки. Закрытая рабочая камера дает точный контроль за параметрами окружающей среды и предотвращает нежелательное охлаждение и артефакты концентрации, которые обычно возникают при использовании методов заморозки в открытом пространстве. Контейнер для заморозки оборудован устройством, препятствующим контаминации. Vitrobot Mark IV может увеличить скорость и качество пробоподготовки в любых приложениях, где существует необходимость изучения структуры в коллоидных растворах.

Спецификация

Рабочие параметры

- Рабочая температура 4-60 °C (при температуре окружающей среды в пределах 18-25 °C)
- Пельтье контролируемое охлаждение/нагревание
- Поддерживает относительную влажность на уровне 100 %
- Увлажнение, контролируемое ультразвуком

Подача образца

- Небольшой объем образца можно загрузить пипеткой через боковые порты, расположенные слева и справа
- Время подачи и ожидания (между подачей и блоттингом) контролируются ПО и могут быть заданы пользователем
- Точный временной контроль разных приложений, процедур блоттинга и витрификации позволяет производить анализ взаимодействий между отдельными компонентами.

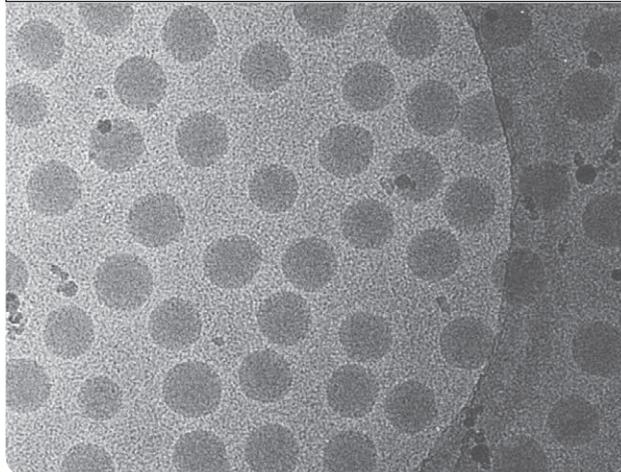
Блоттинг

- Остаток жидкости снимается с сетки посредством блоттинга с фильтровальной бумагой на вращающихся амбушюрах
- Количество циклов блоттинга (максимум 16 раз для одной сетки) и их продолжительность контролируются посредством ПО и могут быть заданы пользователем
- Продольное позиционирование сетки ('blot offset') и время ожидания между блоттингом и витрификацией ('drain time') определяются пользователем.



ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

| |
|--|
| Полностью автоматизированная и воспроизводимая методика витрификации водных суспензий. |
| Точный контроль критических параметров процесса. |
| Закрытая рабочая камера. |
| Высокая производительность. |
| Простой и понятный пользовательский интерфейс |
| Полуавтоматический перенос сетки с образцом |



Витрификация

- Автоматический контроль затвора обеспечивает плавную подачу сетки в охлаждающий агент (жидкий этан или пропан). Контейнер с охлаждающим агентом поднимается близко к затвору для обеспечения оптимальных условий витрификации
- Синхронное опускание контейнера и держателя сетки позволяет сохранять сетку погруженной в охлаждающий агент и минимизирует риск контаминации до подачи образца в коробку или криодержатель
- Контейнер с охлаждающим агентом содержит кольцо для предотвращения контаминации
- Перенос сетки из контейнера в коробку или держатель в жидком азоте полуавтоматический.



Узнайте больше

Больше информации о методах работы и оборудовании для cryo-TEM вы найдете по ссылке FEI.com/Structural-Biology

Награда "Method of the Year 2015"

По итогам 2015 года журналом Nature Methods метод криоэлектронной микроскопии признан методом года. "Method of the year" - престижная награда, которая ежегодно присуждается тем методам анализа, которые по мнению редакции Nature внесли наибольший вклад в развитие науки. В частности в 2007 году это был метод секвенирования ДНК, в 2008 - флуоресцентная микроскопия сверхвысокого разрешения (а в 2014 году за разработку этого метода была вручена Нобелевская премия по химии), в 2012 - масс-спектрометрия.

Предвещают ли все описанные выше инновации конец эпохи кристаллографии?

XRD остается отличным методом для решения структур хорошо кристаллизующихся белков. Но прогресс в области Cryo-TEM открывает широчайшие возможности для углубления знаний в тех областях, которые ранее были недоступны. Это то направление, в котором будет развиваться структурная биология в обозримом будущем.



www.technoinfo.ru



Техноинфо Лтд.
Официальный дистрибьютор
FEI Company в России
Телефон/факс: +7 (499) 243 66 26
sales@technoinfo.ru/www.technoinfo.ru

