

Рис. 1. Сегнетоэлектрические свойства биологических тканей:  
 а - измерение пьезоэлектрического эффекта с помощью зонда сканирующего микроскопа;  
 б - гистерезисная зависимость для фазы пьезоэлектрического отклика;  
 в - гистерезис типа “бабочка”, характерный для пьезоэлектрического эффекта в сегнетоэлектриках.

Для этого они использовали методы сканирующей зондовой микроскопии (рис. 1а): на иглу зонда сканирующего силового микроскопа, находящуюся в контакте с исследуемой поверхностью препарата из стенки свиной аорты (толщина 0.8 мм), подавали переменное электрическое напряжение, а откликом системы служило смещение точек поверхности образца в вертикальном направлении вследствие пьезоэффекта. Приложение дополнительного постоянного поля смещения (dc bias, рис. 1б) вызывало изменение пьезоэффекта с характерными гистерезисными зависимостями для фазы (рис. 1б) и амплитуды пьезоэлектрического сигнала (рис. 1в). При критических величинах электрического напряжения ( $\pm 10\text{В}$ ), соответствующих коэрцитивному полю, фаза скачком менялась на  $180^\circ$  (рис. 1б), т.е. переключался знак пьезоэлектрического эффекта, что в сегнетоэлектриках означает переключение электрической поляризации. Авторами [1] также была замечена небольшая асимметрия гистерезисной петли в сторону отрицательных значений, что означает наличие в стенке аорты электрической поляризации “по умолчанию” направленной от внутренней поверхности сосуда к внешней. Более того, состояние с противоположной поляризацией является нестабильным: при снятии напряжения система через некоторое время самопроизвольно возвращается в исходное состояние с поляризацией направленной наружу.

При изучении биологических систем принято задаваться вопросом, зачем нужно то или иное свойство, какой функции служит. Здесь пока нет ясности, существуют предположения, что данное свойство стенок позволяет поддерживать температурный гомеостаз или постоянное кровяное давление [2]. Также возникают различные идеи использования данного явления в медицинских целях: определение мест повреждения стенок аорты по изменению их электрической поляризации, доставка лекарств в поврежденные области, предупреждение осаждения холестерина на стенках кровеносных сосудов.

А. Пятаков

1. Y.Liu et al., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 078103 (2012).
2. B.Chen, H.Gao, *Physics* **5**, 19 (2012).

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Определение молекулярных потенциалов

Группа исследователей из Франции, Швеции и Японии [1] сообщает об удачном применении данных резонансной фотоэмиссии (RPE) из молекул  $N_2$  для определения вида и параметров потенциальной энергии молекулы. Подобные попытки делались и ранее, но ввиду недостаточной точности измерений были безуспешными. Успех данной группы связан с применением нового оборудования для спектроскопии мягких рентгеновских лучей [2], канал PLEIADES на синхротроне SOLEIL во Франции. В противоположность обычной фотоэмиссии, когда поглощенный рентгеновский фотон с энергией  $h\omega$  приводит к эмиссии фотоэлектрона, в процессе RPE резонансное поглощение  $\gamma$ -кванта заселяет конечные ионные состояния молекулы, отрывая резонансные оже-электроны с кинетической энергией  $E_k$ . В работе [1] исследованы вибронные возбуждения в области  $1S \rightarrow \pi^*$  переходов.

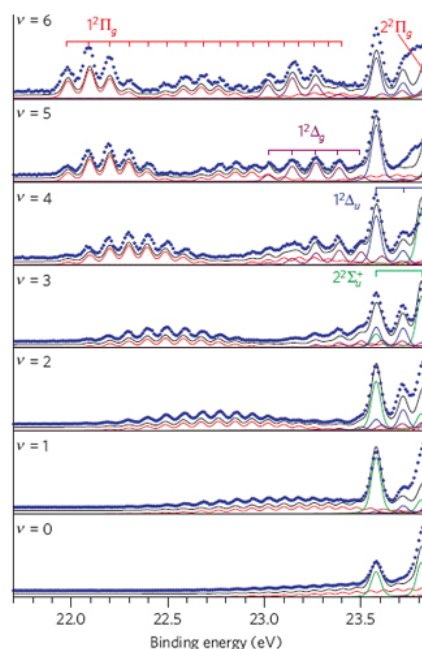


Рис. 1. Спектры резонансной фотоэмиссии молекулы  $N_2$  для серии вибронных подуровней  $v=0 \div 6$  для  $1S \rightarrow \pi^*$  возбужденных состояний. Голубыми точками показаны экспериментальные данные, результаты теоретического расчёта показаны сплошной линией.

Были достигнуты возбуждения вибронных мод с квантовым числом  $v=6$ , что

позволило отделить низкоэнергетические термы  $1^2\Pi_g$  и  $1^2\Delta_g$  из континуума других перекрываю-

щихся термов (рис. 1). Энергия связи на рис. 1 равна  $E_b = h\omega - E_{\kappa}$ .

Низкоэнергетические состояния  $1^2Pg$  и  $1^2Dg$  были использованы для реконструкции потенциалов  $E_b(r)$ , где  $r = R - R_0$  и  $R_0$  есть длина связи, определяемая из минимума потенциала. Потенциалы описываются обобщённой функцией Морзе

$$E_b(r) = E_{\min} + D \left[ 1 + \left( \lambda_2 e^{-\lambda_1 r} - \lambda_1 e^{-\lambda_2 r} \right) / (\lambda_1 - \lambda_2) \right].$$

Полученные методом реконструкции RPE данных параметры потенциала очень хорошо согласуются с результатами первопринципных расчётов, выполненных с учётом конфигурационного взаимодействия (рис. 2).

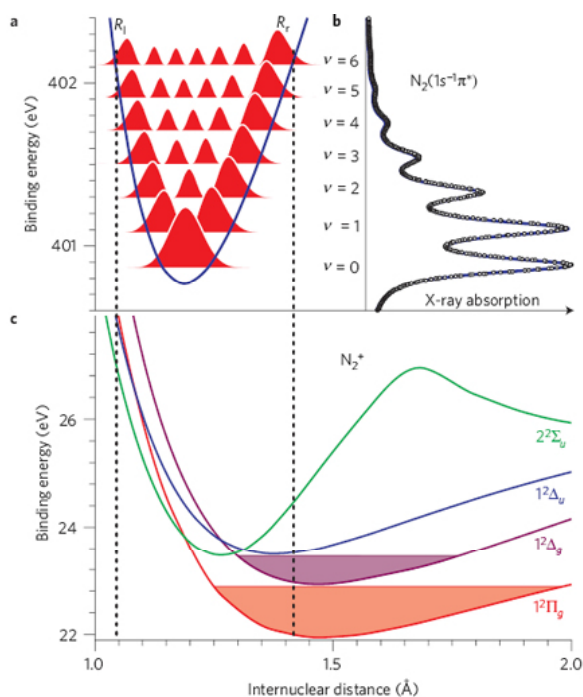


Рис. 2. Вибронные состояния и их проявления в рентгеновском поглощении:

а - рассчитанный потенциал  $1S^1\pi^*$  возбуждённых состояний и квадраты модуля вибронных волновых функций для состояний  $v = 0 \div 6$ ;

б - экспериментальные (точки) и теоретические (линии) спектры поглощения;

в - потенциалы низкоэнергетических ионных состояний (затенены отщепленные состояния).

С.Овчинников

1. C.Miron et al., *Nature Phys.* **8**, 135 (2012).

2. O.Travnikova et al., *Phys. Rev. Lett.* **105**, 233001 (2010).

## ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

### Угловое распределение электронов при холодной полевой эмиссии углеродных нановолокон

Одно из наиболее перспективных направлений использования углеродных нанотрубок (УНТ) связано с разработкой холодных полевых эмиттеров, в которых УНТ являются источником эмиссии электронов. Преимущества подобных приборов обусловле-

ны хорошими электрическими характеристиками УНТ, их высокой термической, химической и механической стабильностью, а также высоким аспектным отношением нанотрубок, благодаря которому происходит значительное усиление электрического поля в окрестности наконечника УНТ. Таким образом значительный ток эмиссии (до  $1 \text{ A/cm}^2$ ) может быть получен уже при относительно невысоких величинах приложенного напряжения (порядка  $1 \text{ kV}$ ), что позволяет заметно снизить весогабаритные характеристики таких приборов, как источники рентгеновского излучения, катоднолучевые источники света, спутниковые усилители СВЧ-излучения и др. Несмотря на значительные усилия исследователей, направленные на разработку холодных полевых эмиттеров на основе УНТ, эти приборы к настоящему времени не получили широкого распространения, что связано, с одной стороны, с технологическими трудностями, возникающими при приготовлении однородного массива вертикально ориентированных УНТ с определенными параметрами, а с другой стороны – с недостатком понимания ряда фундаментальных вопросов, относящихся к работе таких систем. Одним из подобных вопросов является угловая расходимость электронного пучка, эмиттируемого катодом на основе УНТ. Недавно этот вопрос был детально изучен в рамках экспериментальной работы, выполненной группой исследователей из Италии, Кореи, Англии и Японии [1].

В качестве источников холодной полевой эмиссии авторы [1] использовали массив вертикально ориентированных углеродных нановолокон (УНВ), выращенный на подложке из высоколегированного кремния (*n*-типа) методом химического осаждения паров в плазме (PECVD). В качестве катализатора использовали частицы Ni диаметром  $100 \text{ nm}$  и высотой  $7 \text{ nm}$ , отстоящие друг от друга на  $2.5 \text{ mkm}$ , которые наносили на подложку методом магнетронного напыления. УНВ выращивали в разряде постоянного тока в ацетилене при напряжении  $640 \text{ V}$  и мощности  $35 \text{ Вт}$  в течение  $54 \text{ min}$  при температуре подложки  $750^\circ\text{C}$ . Это приводило к образованию массива со стороной  $300 \text{ mkm}$  вертикально ориентированных УНВ диаметром в несколько десятков  $\text{nm}$  и высотой около  $5 \text{ mkm}$ . Измерения, выполненные с помощью сканирующего электронного микроскопа, показали, что степень неоднородности волокон по высоте не превышает  $10\%$ .

Эмиссионные характеристики катода исследовали в условиях вакуума  $10^{-8}$  Торр в трехэлектродной конфигурации. Расстояние от катода до сетки составляло  $230\text{--}240 \text{ mkm}$ . Измеренные вольт-амперные характеристики катодов соответствуют классическому выражению Фаулера-Нордгейма. Максимальный ток эмиссии (несколько сот  $\text{mкA}$ ) достигался при напряженности электрического поля  $10 \text{ В/мкм}$ . Измерения угловой расходимости пучка проводили при токе в несколько десятков  $\text{mкA}$ . С этой целью измеряли за-