

01;10
©1995

НОВЫЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР С УГЛОВЫМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

A.A. Трубицын

Одновременная регистрация энергетических и угловых характеристик потоков фотоэлектронов, возбуждаемых синхротронным излучением, позволяет проводить фундаментальные исследования в области физики и химии поверхности твердого тела по проблеме адсорбции и связанных с ней явлений.

Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением является уникальным инструментом неразрушающего анализа профилей концентраций элементов по глубине [1].

Новые возможности перед исследователями открывают метод голограммической интерпретации фотоэлектронной дифракции [2] в задачах реконструкции локальной структуры поверхности твердого тела.

Тем не менее возможности энергоуглового анализа в настоящее время используются лишь в незначительной мере. Сдерживающим фактором является отсутствие энергоанализаторов, обладающих одновременно высокими значениями светосилы, энергетической и угловой разрешающей способности, удобством в эксплуатации и обеспечивающих высокую экспрессность анализа.

Используемый в настоящее время полусферический анализатор (см., например, [3], [4]) имеет сложный дизайн, принципиально не может обеспечить высокую точность и экспрессность угловых измерений вследствие положенной в основу его функционирования комбинированной системы механических перемещений; и наконец, существуют очевидные ограничения на возможность встраивания его в камеры вакуумного технологического оборудования.

Создание энергоанализатора с простой конфигурацией электродов и соответствующей системой регистрации на принципах координатно-чувствительного детектирования позволяет разрешить указанные проблемы.

На рис. 1 представлена электронно-оптическая схема энергоанализатора, представляющего собой комбинацию простейших (и технологичных) фигур — цилиндров и колец (показана верхняя часть меридионального сечения). Разработанная численная методика проектирования

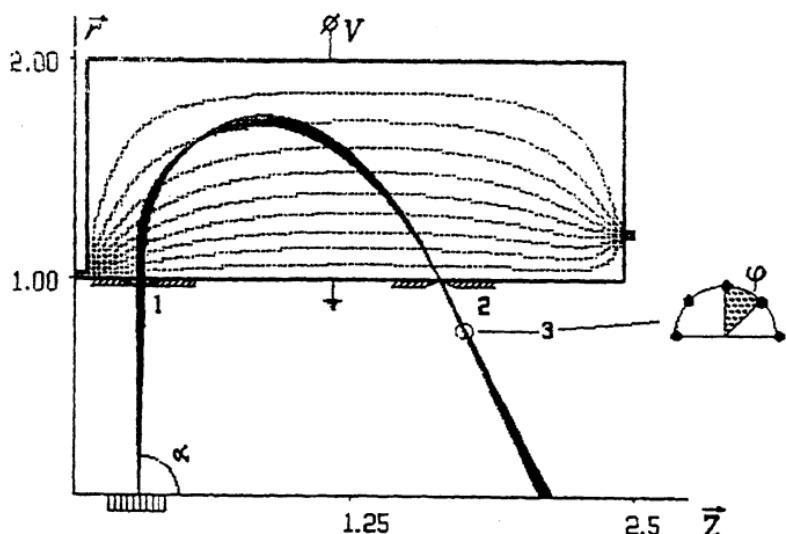


Рис. 1. Электронно-оптическая схема анализатора с энергетическим и угловым разрешением: 1 — входная апертура, 2 — выходная апертура, 3 — координатно-чувствительный детектор. $E/V = 0.995$.

электронно-оптических систем с произвольной конфигурацией электродов [5–7] позволила определить геометрические параметры анализатора, которые обеспечивают угловую фокусировку второго порядка при $\alpha_0 = 90^\circ$. Такой угол фокусировки дает возможность построения эффективной диаграммы угловых измерений (рис. 2) [8], а фокусировка второго порядка означает значительное ослабление противоречия, заключенного в требовании одновременно высоких значений светосилы и разрешающей способности, по сравнению со случаем фокусировки первого порядка.

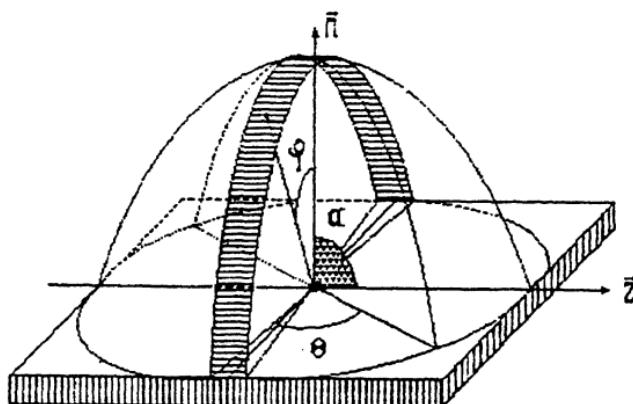


Рис. 2. Диаграмма угловых измерений.

Суть схемы исследования угловых зависимостей (рис. 2) заключается в следующем. Точечный источник, размещенный на оси симметрии анализатора, испускает поток фотоэлектронов в телесном угле 2π . Входная апертура 1 (рис. 1) выделяет из всего потока веерообразный поток фотоэлектронов в диапазоне $90^\circ \pm \Delta\alpha$ ($\Delta\alpha$ — мало), который инжектируется в рабочее пространство дисперсионного анализатора. Средняя плоскость потока перпендикулярна оси анализатора. Поверхность образца совпадает с плоскостью меридионального сечения, перпендикулярного плоскости рисунка. На поверхности внутреннего цилиндра образуется кольцеобразное изображение, где устанавливается выходная диафрагма 2. Диафрагма “вырезает” из потока фотоэлектроны с определенной начальной энергией. Анализ выходного потока по полярному углу φ с помощью полукольцевого координатно-чувствительного детектора 3 при последовательном вращении образца вокруг собственной нормали n позволяет сделать заключение о начальном распределении потока фотоэлектронов с энергией E в полном диапазоне полярных углов $\varphi: -\pi/2 \rightarrow +\pi/2$ и в полном диапазоне азимутальных углов $\theta: 0 \rightarrow 2\pi$.

Таким образом, предлагаемый анализатор, реализующий описанную схему измерений, способен обеспечить высокоточные и экспрессные исследования угловых и энергетических зависимостей в полном диапазоне углов φ и θ . Встраивание анализатора в вакуумное оборудование не имеет принципиальных ограничений.

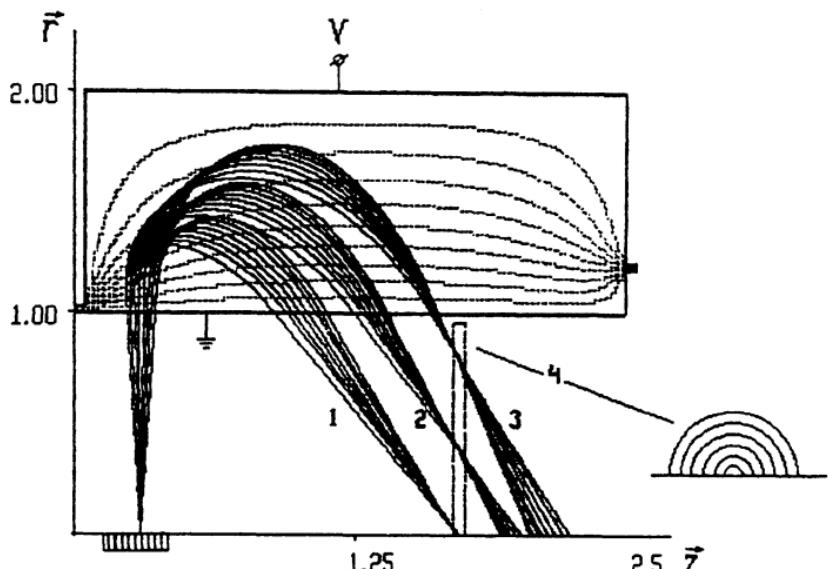


Рис. 3. Угловая фокусировка фотоэлектронов с различными кинетическими энергиями: 1 — $E/V = 0.73$, 2 — $E/V = 0.855$, 3 — $E/V = 0.98$, 4 — координатно-чувствительный детектор.

Еще одним замечательным (и уникальным) свойством предлагаемой конструкции является плоская фокальная область. Под фокальной областью понимается совокупность (полу-) кольцевых фокусов второго порядка, соответствующих электронам с различной начальной энергией E . Указанное свойство позволяет эксплуатировать анализатор в режиме спектрографа с интегральным сбором по углу α ($\Delta\alpha > 2^\circ$) в диапазоне $\varphi = -\pi/2 — +\pi/2$, где в качестве многоканальной системы регистрации может быть использован координатно-чувствительный детектор с избирательностью по радиусу кольцевого изображения (рис. 3).

Имеющиеся зависимости угла фокусировки второго порядка α_0 и радиуса изображения от начальной энергии E и положения источника на оси z позволяют в обеспечение задаваемой геометрии эксперимента варьировать радиус изображения при сохранении угла $\alpha_0 = 90^\circ$.

Относительная линейная дисперсия $D/|d|$ анализатора практически совпадает с соответствующим параметром цилиндрического зеркала, широко используемого в настоящее время в качестве электронного спектрометра. Здесь $D = E \cdot \partial|d|/\partial E$ — линейная дисперсия, $|d|$ — расстояние между источником и изображением.

Список литературы

- [1] Livesey A.K., Smith G.G. // J. Electron Spectroscopy and Rel. Phen. 1994. V. 67. P. 436–461.
- [2] Thevuthasan S., Herman G.S., Salki R.S., Kaduwella A.P., Fadley C.S. // Phys. Rev. Lett. 1991. V. 67. P. 469–480.
- [3] Wincott P.L., Brookes N.B., Law D.S-L., Thornton G., King G.C. // J. Phys. E: Sci. Instrum. 1989. V. 22. P. 42–47.
- [4] Success of New ARUPS-10. The Journal of FISONS Instruments Surface Science Division. Spring, 1993. P. 6.
- [5] Горелик В.А., Протопопов О.Д., Трубицын А.А. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 8. С. 1531–1534.
- [6] Трубицын А.А. // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1990. Т. 30. № 7. С. 1113–1115.
- [7] Трубицын А.А. Деп. в ВИНИТИ. 1993. № 169–В93. 28 с.
- [8] Kover A., Varga D., Szabo Gy., Berenyi D., Kadar I., Vegh J. and Hock G. // J. Phys. B. 1983. V. 16. P. 1017–1025.

Научно-исследовательский
технологический институт
Рязань

Поступило в Редакцию
14 января 1995 г.