

Superficies en equilibrio con gases a presiones atmosféricas

Salvador Ferrer y Miquel Salmeron

Los nuevos desarrollos en técnicas de radiación sincrotrón y microscopía túnel permiten abordar algunos problemas clásicos de Física y Química de Superficies en condiciones que no tienen precedentes.

1. Introducción

Las superficies de los materiales son la frontera natural de los sólidos o líquidos con el medio externo y como tales determinan muchas de sus propiedades. Para citar unas pocas, mencionaremos la catálisis heterogénea, la oxidación y corrosión, la fricción y adhesión, la resistencia medioambiental, las interfases biológicas, los contactos con semiconductores, etc., etc. La Ciencia de Superficies, es decir el estudio de la estructura atómica y propiedades electrónicas de las superficies se ha desarrollado en las últimas tres décadas para responder a las demandas científicas y tecnológicas de este vasto campo en la frontera de la física del estado sólido y la química.

La mayoría de productos químicos que se utilizan en la práctica hoy en día se sintetizan haciendo uso de la catálisis heterogénea. La función de los catalizadores, que suelen consistir en partículas de metales de transición, es la de facilitar la reacción entre especies químicas adsorbidas en sus superficies. Dada su gran importancia práctica y su interés fundamental, la catálisis heterogénea fue una de las primeras áreas que impulsó el nacimiento de la Ciencia de Superficies, hace aproximadamente tres décadas. El primer paso de una reacción catalítica que conlleve reactantes en fase gas, es la adsorción de los mismos en la superficie del catalizador. Es por ello que durante los últimos 20 años se han investigado un gran número de estructuras de gases quimisorbidos en superficies cristalinas de relevancia en catálisis. Gracias sobretodo a la difracción de electrones lentes (LEED) y en menor medida a la difracción de fotoelectrones y otras técnicas experimentales hoy en día se conocen con precisión las estructuras de más de 1000 especies de gases quimisorbidos en una gran variedad de substratos.

Desgraciadamente las potentes técnicas que dieron lugar a este éxito tienen una limitación práctica muy importante que es la de requerir vacío (en general ultra-alto-vacio, UHV, entre 10^{-9} y 10^{-13} bar) alrededor de las muestras que se estudian. Por el contrario, las reacciones catalíticas se llevan a



Imagen STM de la superficie de un cristal de Si
(las filas de átomos están separadas 0,77 nanómetros)

cabo en la práctica a presiones de una o más atmósferas y a temperaturas de varios cientos de grados. Otras áreas científicas y técnicas que involucran superficies expuestas a alta presión (alrededor de 1 atmósfera) son la fisico-química medioambiental y la biología. En el primer caso el interés es la corrosión y erosión de rocas y minerales. En el segundo es la estructura y función de material biológico, como ADN, proteínas, membranas, etc., que no sobreviven al secado que se produce en vacío. En general pues, en la mayoría de aplicaciones prácticas las superficies están 'saturadas', es decir

recubiertas con una densidad de adsorbatos del orden de una o más capas atómicas o moleculares ($\sim 10^{15}$ por cm^2). Semejantes densidades se pueden obtener en UHV a condición de enfriar la superficie, a veces muy por debajo de la temperatura ambiente.

Estas consideraciones subrayan una diferencia quizás más fundamental entre los estudios en UHV y las condiciones catalíticas o ambientales. En el primer caso, la superficie está necesariamente fuera de equilibrio con la fase gas, mientras que a alta presión y temperatura, las superficies están normalmente en equilibrio termodinámico con el gas. Surge pues la cuestión de si las estructuras de gases quimisorbidos determinadas en UHV son iguales que las existentes en las superficies de los catalizadores en operación, es decir, en contacto con los gases a varias atmósferas de presión. Esta es una cuestión no sólo de interés académico sino con grandes implicaciones prácticas.

La respuesta no es en absoluto predecible porque puede ser múltiple dependiendo de los detalles energéticos del proceso de quimisorción. Consideremos por ejemplo el potencial químico que es la 'fuerza motriz' de las reacciones químicas. En el caso simplificado de un gas ideal, la diferencia entre el potencial químico de un gas a presión atmosférica y a presiones en el rango UHV es de unos $13kT$ (k = constante de Boltzmann, el factor 13 corresponde a las 13 décadas de cambio en la presión). A temperatura ambiente esa diferen-

cia es de unos 300 meV, cantidad comparable a algunas energías características de procesos superficiales (difusión, fisisorción...) y por lo tanto puede jugar un papel determinante en los balances energéticos de los procesos elementales que ocuren en la superficie en el curso de la reacción.

Para responder a la anterior cuestión es necesario utilizar técnicas experimentales que no tengan la limitación del vacío. Hay varias posibilidades: 1) técnicas que impliquen solo fotones (difracción de rayos-X, técnicas ópticas lineales (infrarrojos) o no lineales, como la de generación de segundo armónico); 2) microscopía de efecto túnel, que puede operar sin problemas a presión atmosférica (aunque no es una técnica cristalográfica de precisión comparable a las técnicas de difracción); y 3) una técnica emergente como es la implementación de la fotoemisión mediante el establecimiento de un gradiente de presiones entre la muestra y el analizador de electrones que permite registrar espectros con la muestra a presiones de unos milibares.

A continuación mostraremos algunos ejemplos de resultados recientes que pretenden mostrar 'el estado actual del arte' y esbozar perspectivas futuras.

2. Difracción de rayos x

Los rayos x de longitudes de onda de 1 Å o menos son muy poco absorbidos por gases a presiones de una o varias atmósferas. Gracias a los intensos haces generados por las fuentes de radiación sincrotron de tercera generación, es posible realizar experimentos de cristalografía de superficies en capas de gases quimisorvidos. Hay una cuestión importante a señalar. Al ser el número de electrones de los átomos del sustrato metálico en general sensiblemente mayor a los de las moléculas adsorbidas, la contribución del sustrato a la intensidad difractada es dominante sobre la del adsorbato lo cual, en algunos casos, es el factor determinante de la precisión de los parámetros cristalinos.

En la línea de Difracción de Superficies del ESRF (ID03) se ha desarrollado desde hace unos años una cámara que permite estudiar interfases gas/sólido en un rango de presiones que va de 10^{-9} mbar hasta unas pocas atmósferas. Esta cámara está especialmente diseñada para el estudio de muestras monocrystalinicas con los métodos habituales de UHV (bombardeo ionico y calentamiento a temperaturas elevadas) para, a continuación, admitir uno o varios gases. Los productos de las reacciones químicas son detectados mediante un analiza-

dor de gases conectado a la cámara de alta presión mediante una válvula de fugas.[1]

Unos de los sistemas de quimisorción investigados es CO sobre Ni(110). Esta estructura ha sido detalladamente estudiada en UHV y se caracteriza por tener una celda unidad de dimensiones 2×1 relativa a la del sustrato y un plano de deslizamiento asociado al hecho que las moléculas de CO tienen el eje molecular formando un zig-zag, como se indica en la figura 1. Utilizamos un haz monocromático de 17 keV de energía, con un ángulo de incidencia de 0.2° respecto a la superficie del cristal. En la figura 1 se muestran parte de los datos obtenidos con la muestra a temperatura ambiente. Los índices H, K y L que definen el espacio recíproco son paralelos respectivamente a A_1 , A_2 y A_3 . Las reflexiones más intensas tenían una intensidad de pico de unas 2000 ct/s sobre un fondo de unas 200 ct/s. Como se puede apreciar en la figura, las intensidades difractadas medidas con la capa quimisorvida en UHV o a 2.3 bares de presión de CO, son las mismas dentro de la precisión de los datos. Esto indica inmediatamente que ambas estructuras son coincidentes. Para más detalles véase ref.2. La conclusión es optimista: la estructura de la capa adsorbida, a temperatura ambiente, no depende de la presión. Sin embargo las cosas son distintas a elevadas temperaturas. En condiciones de vacío, el aumento de temperatura causa el desordenamiento y la desorción del CO quimisorbido. El sustrato de Ni permanece intacto. A presiones parciales de CO superiores a 0.2 atmósferas, tiene lugar un proceso completamente distinto: el CO reacciona con la superficie de Ni y cambia su morfología. El sustrato de Ni desarrolla microfacetas de orientación (111) y las zonas de la superficie con orientación (110) tienden a desaparecer. La figura 2 muestra los datos en los que se basa la afirmación anterior. Se trata de un conjunto de barridos en el espacio recíproco en la dirección K a diversos valores del índice L. Los picos situados a K=1.0 provienen del sustrato (110). Los picos señalados con triángulos son resultado del calentamiento del cristal a unos 150 °C en presencia de CO a una atmósfera. Como se puede observar, sus coordenadas (H,L) cambian continuamente en contraste con el pico a K=1.0 que no depende de L. Los picos marcados por triángulos claros y oscuros definen en un diagrama L-K líneas

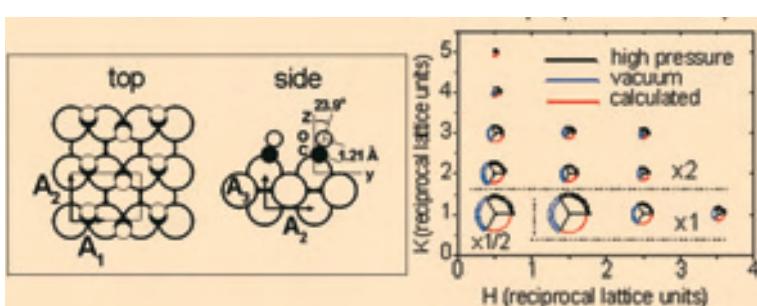


Figura 1. Parte izquierda: estructura del CO sobre Ni(110) determinada con difracción de rayos X a 2.3 bar de CO. El rectángulo indica la celda unidad del adsorbato. Parte derecha: Intensidades integradas de haces difratados por la capa de CO. Las áreas de los sectores de 120° son proporcionales a las intensidades medidas en UHV (azul) y a 2.3 atmósferas de CO (negro). Los círculos dobles indican las barras de error. Los sectores rojos corresponden a las intensidades calculadas con el modelo del panel izquierdo.

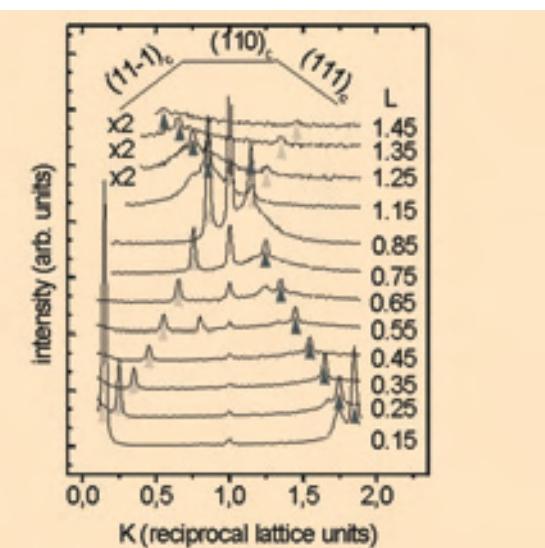
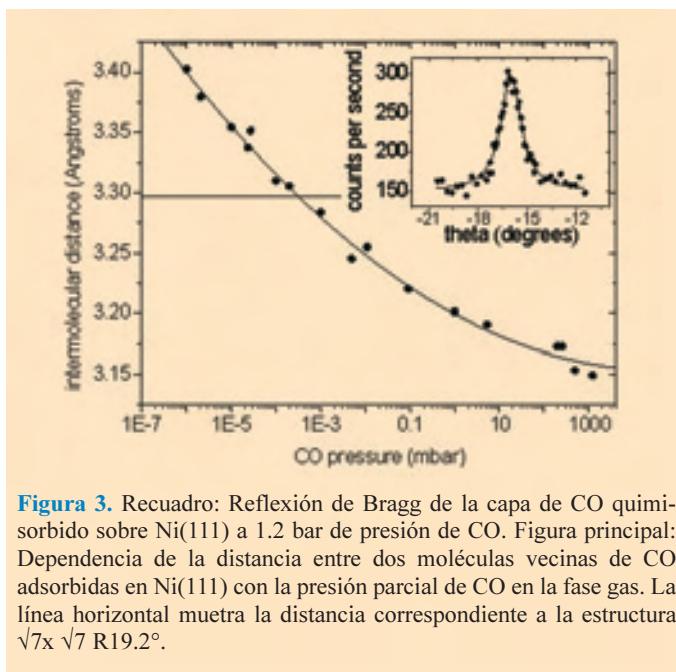
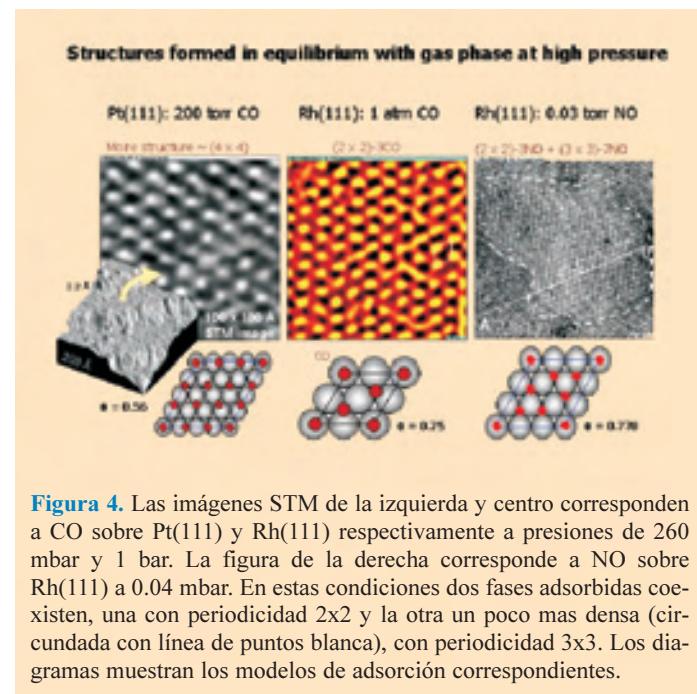


Figura 2. Intensidad difractada a lo largo de la dirección K para diversos valores del índice L. Los picos señalados con triángulos resultan de la formación de microfacetas de orientación (111).



rectas que no son más que líneas de difracción de microfacetas en la superficie. Del valor de las pendientes $L(K)$ se puede determinar la orientación de las facetas que resultan ser (111) y (11-1) (en coordenadas cubicas fcc convencionales) tal como se esquematiza en la figura. En otras palabras, el CO ataca al Ni produciendo probablemente el compuesto volátil Ni(CO)₄. Las caras más estables con simetría (111) son las que sobreviven al ataque mientras las más abiertas como la (110) tienden a desaparecer. El resultado es un microfaceteado del sustrato de Ni. Este ejemplo muestra cuán grande puede ser la diferencia entre los resultados obtenidos en vacío y a presión atmosférica.

A continuación vamos a mostrar otro ejemplo que ilustra las particularidades de las altas presiones comparadas con los estudios en vacío. El CO sobre Ni(111) es otro sistema clásico estudiado extensivamente con multitud de técnicas de vacío. A pesar de ello, la estructura de más alto recubrimiento cuya celda unidad se denota por $\sqrt{7} \times \sqrt{7} R19.2^\circ$ (relativo a la celda del sustrato), es poco conocida. La estructura es estable en UHV por debajo de temperatura ambiente y ha sido investigada con difracción de fotoelectrones [3]. Es una estructura commensurada con el sustrato en la que las moléculas de CO se disponen formando hexágonos centrados debido a su repulsión mutua. Hemos investigado la estructura del CO en equilibrio con la superficie de Ni, a temperatura ambiente, en un rango de presiones desde 10^{-7} mbar hasta 1.2 bar [4]. Observamos la estructura $\sqrt{7} \times \sqrt{7} R19.2^\circ$ ($\sqrt{7}$ para abreviar) a 10^{-3} mbar. A presiones superiores o inferiores la estructura es similar pero incommensurada. En la Fig. 3 se muestra un pico de difracción del CO medido a 1.2 bar. Como se ve es muy débil (150 ct/s por encima del fondo; el haz incidente tenía 10^{13} fotones/s) y ancho, lo cual es indicativo de una estructura poco ordenada. A partir de las coordenadas del centro del pico en el espacio recíproco es inmediato deducir la distancia entre dos moléculas de CO vecinas. Esta es la distancia mostrada en la figura en función de la presión. Como se ve, la capa de CO se expande y se comprime con respecto a la estructura $\sqrt{7}$. Es importante señalar que los resultados corresponden a equilibrio termodinámico.



Si se reduce (aumenta) la presión de CO, la celda unidad de la capa adsorbida se dilata (contrae) de forma reversible. Notese que a la presión atmosférica la estructura es incomensurada y esta comprimida un 4% respecto a la estructura $\sqrt{7}$. A partir de los datos de la fig. 3 se puede obtener la compresibilidad isotérmica de la capa quimisorbida. A presión atmosférica resulta ser $0.3 \text{ Å}^2/\text{eV}$, un valor que es 15 veces superior al que tiene a 10^{-7} mbar y que muestra que en las condiciones de catálisis el CO es muy 'duro' y difícil de comprimir.

3. Estudios con Microscopía de efecto tunel (STM)

Hemos estudiado la adsorción de CO y NO en platino y rodio, metales que son ingredientes clave en catalizadores de purificación de gases de escape de los automóviles. Esta consiste en la reducción y oxidación de dichas moléculas a CO₂ y N₂, que son inofensivas para la salud y el ambiente. La técnica STM como se ha apuntado antes, es capaz de operar en cualquier ambiente, gas o líquido y por tanto ideal para el estudio de estructuras superficiales. En el caso del CO en Pt(111) y Rh(111), se llegó a presiones atmosféricas. En Pt(111) se observaron estructuras con grandes celdas unidad, cercanas a 4×4 , similares a otras observadas electroquímicamente en equilibrio con soluciones de CO (5), pero nunca observadas en UHV, aun a grandes recubrimientos (6). En el caso del Rh(111) sin embargo, a 1 atmósfera la estructura es similar a la observada en UHV a saturación, es decir una 2x2 con recubrimiento de 0.75 ML (7).

En el caso del NO en Rh(111) se obtuvieron recubrimientos de 0.78 ML, superiores al máximo observado en UHV, que como en el caso del CO es de 0.75 ML (8). Al mismo tiempo la estructura cambia de periodicidad pasando de 2x2 a 3x3. Ambas estructuras pueden observarse simultáneamente, en equilibrio con la fase gas. La transición ocurre cuando la presión alcanza los 13 mbar a 25°C, y a presiones más altas a medida que aumenta la temperatura. La figura 4 muestra esquemáticamente estas estructuras.

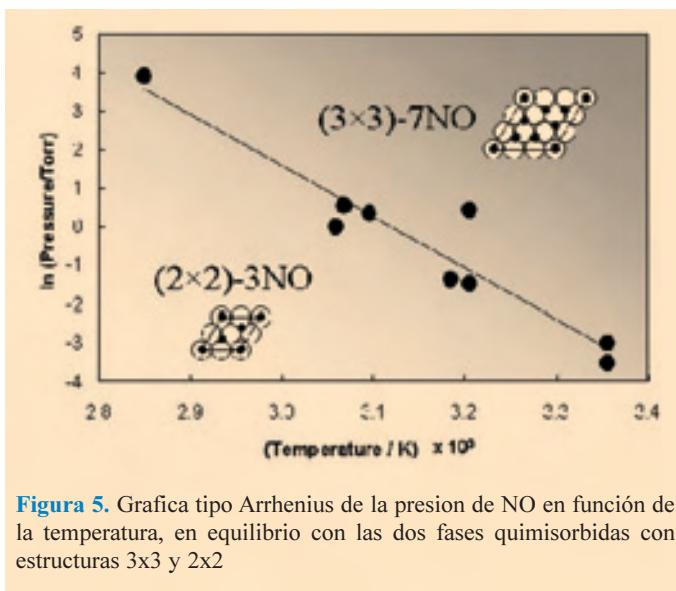


Figura 5. Grafica tipo Arrhenius de la presión de NO en función de la temperatura, en equilibrio con las dos fases quimisorbidas con estructuras 3x3 y 2x2

El triple equilibrio del NO en fase gas y las dos fases quimisorbidas en Rh(111), es decir, las estructuras 2x2 y 3x3 fue seguido en función de la presión y la temperatura. Ello permitió obtener las entalpias de las dos fases mediante la ecuación de Clausius-Clapeyron, tal como muestra la figura 5.

5. Fotoemisión a alta presión ambiental

Las técnicas de espectroscopía de foto-electrones constituyen una de las más importantes herramientas para determinar la estructura electrónica de las superficies. Con ellas se puede obtener información sobre la densidad de estados ocupada y vacía, sobre las energías de enlace de electrones en niveles profundos, etc. que permiten a su vez obtener información sobre el estado químico, es decir de oxidación o reducción de los átomos de la superficie o de las especies adsorbidas. Las más conocidas son la fotoemisión, como el XPS o UPS (X-ray photoelectron spectroscopy, ultra-violet photoelectron spectroscopy), y las técnicas relacionadas con los bordes de absorción de rayos X, conocidas por las siglas XAS o NEXAFS (X-ray absorption spectroscopy o near-edge absorption fine structure spectroscopy). En el laboratorio del sincrotrón de Berkeley se desarrolló una cámara especial para obtener espectros de foto-electrones en condiciones de alta presión, hasta 10 mbar aproximadamente. El problema del transporte de electrones en medios gaseosos radica en que su recorrido libre medio para electrones de unos cientos de eV de energía cinética, es de aproximadamente 1 mm cuando la presión es de 1 mbar. En el nuevo instrumento se colectan los foto-electrones a 1 mm de la superficie, que es irradiada por un intenso haz de fotones del sincrotrón. La colección se efectúa por un orificio de 1 mm de diámetro por el que escapan también los gases ambientales. Estos son bombeados al otro lado del orificio y de otros que le siguen separando cámaras de vacío diferencial. Los orificios actúan además de lentes electrostáticas que permiten una gran eficiencia en la recolección, mientras que los gases sólo pasan si sus moléculas se desplazan en línea con los orificios. Para una descripción detallada puede consultarse la referencia 7.

El ejemplo que hemos elegido aquí para ilustrar el funcionamiento del nuevo instrumento, bautizado con el nombre HPPES (high pressure photoelectron spectroscopy), es la

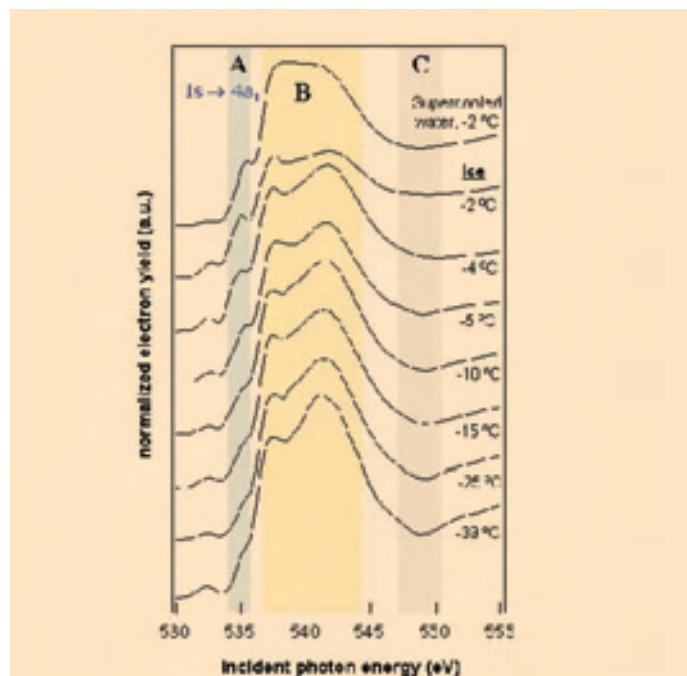


Figura 6. Espectro de absorción de rayos X en el umbral del nivel 1s del oxígeno en agua y hielo. La absorción se midió por la intensidad de los electrones Auger del O al decaer el hueco en la capa K. El agua (curva superior) en forma líquida (subenfriada a -2°C en este caso), presenta un pico A, característico de enlaces H no saturados. Este pico decrece en el hielo.

Thickness of the liquid-like layer as a function of temperature

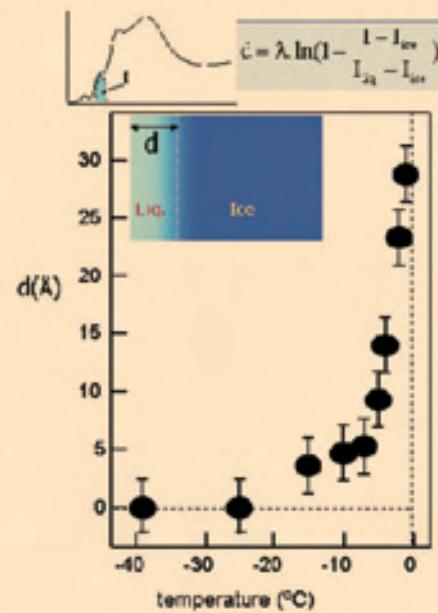


Figura 7. Espesor de la capa líquida sobre hielo en función de la temperatura, deducida a partir de la intensidad del pico A de la figura 6. El recorrido libre medio de los electrones Auger del O (usados para obtener los espectros de la figura 6) es de ~23 Å. Como puede verse a temperaturas por debajo de -20°C ya no hay capa líquida.

fusión superficial del hielo. Se trata de averiguar si el hielo tiene una delgada capa líquida en su superficie por debajo de 0°C (fenómeno conocido como 'prefusión').

Usando la técnica NEXAFS (8), la prefusión se observa por la aparición del pico A en el espectro NEXAFS del nivel 1s del O, mostrado en la figura 6. Este pico corresponde a la excitación de un electron del nivel 1s a los primeros niveles electronicos vacíos del agua (LUMO). En el caso de moléculas de agua en fase gaseosa, este nivel tiene simetría 4a1 y contiene una mezcla de orbitales de valencia de tipo s y p. Como consecuencia, la transición 1s a 4a1, de tipo dipolar, se puede excitar por absorción de un foton de alrededor de 530 eV. Sin embargo en el hielo, la simetría quasi-tetragonal del O rodeado de H, reduce la componente del orbital p que es la permitida por las reglas de selección de las transiciones dipolares, disminuyendo la probabilidad de transición lo que resulta en una pérdida de intensidad del pico A. En el agua líquida, numerosos enlaces O-H se rompen instantáneamente, y la simetría decrece aumentando la componente p. De todo esto resulta que la intensidad del pico A es una medida directa de la cantidad de líquido presente. Con este experimento se confirmó que existe una capa líquida y que esta desaparece cuando la temperatura cae por debajo de -15°C, como se ve en la gráfica de la figura 7.

Conclusiones

Los ejemplos citados en este artículo demuestran claramente que se está produciendo un gran avance tecnológico, en la forma de nuevos instrumentos que permiten interrogar a la superficie a escala atómica y obtener información estructural, electrónica y espectroscópica. Este avance augura un futuro brillante para la ciencia de superficies en una área hasta ahora difícil de estudiar, pero de gran relevancia tecnología, como es la estructura y procesos que ocurren en presencia de gas a presiones de tipo atmosférico. Además de cubrir el vacío informativo, las nuevas tecnologías permiten

estudiar superficies en estado de equilibrio termodinámico, lo cual a su vez puede resultar en sorpresas en cuanto al conocimiento, con nuevos resultados y descubrimientos.

Agradecimientos

M. Salmerón agradece el soporte económico del Departamento de Energy de los EEUU, a través de la Oficina de Ciencia Basica, bajo contrato número DE-AC03-76SD00098.

Referencias

- [1] BERNARD P., PETERS K., ALVAREZ J., FERRER S., *Rev. Scientific Instr.* **70**, 1478-1480 (1999)
- [2] K. F. PETERS, C.J. WALKER, P. STEADMAN, O. ROBACH, H. ISERN AND S. FERRER, *Phys. Rev. Lett.* **86**, 5325-5328 (2001)
- [3] G. HELD, J. SCHULER, W. SKALAREK AND H.P. STEINRUCK, *Surf. Sci.* **398**, 154-171 (1998)
- [4] C. QUIROS, O. ROBACH, H. ISERN, P. ORDEJON AND S. FERRER, *Surf. Sci.* **522**, 161, (2003).
- [5] I. VILLEGAS AND M.J. WEAVER, *J. Chem. Phys.* **101**, 1648 (1994).
- [6] J.A. JENSEN, K.B. RIDER, M. SALMERON AND G.A. SOMORJAI, *Phys. Rev. Lett.* **80** (6), 1228 (1998)
- [7] P. CERNOTA, K. RIDER, H.A. YOUNG, M. SALMERON AND G. SOMORJAI, *Surf. Sci.* **445** (2-3), 249 (2000).
- [8] K.B. RIDER, K.S. HWANG, M. SALMERON AND G.A. SOMORJAI, *Phys. Rev. Lett.* **86**, 4330 (2001).
- [9] D. FRANK OGLETREE, H. BLUHM, G. LEBEDEV, C. FADLEY, Z. HUSSAIN AND M. SALMERON, *Rev. Sci. Instr.* **73**, 3872 (2002).
- [10] H. BLUHM, D.F. OGLETREE, C.S. FADLEY, Z. HUSSAIN AND M. SALMERON, *J. Phys.: Condensed Matter* **14**, L227-L233 (2002).

Salvador Ferrer

está en el European Synchrotron Radiation Facility.
Grenoble, France

Miquel Salmerón

está en Materials Science Division of the Lawrence Berkeley Laboratory. Univ. of California

CONGRESOS

XII International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science. March the 10th.2003.Para más información consultar: <http://www.uniovi.es/Congresos/2003/DLMPS>. E-mail: frege@correo.uniovi.es

4th International Symposium on Hysteresis and Micromagnetics Modeling (HMM-2003): del 28 al 30 de mayo de 2003, Salamanca. Para más información visitar Pág. Web: <http://mumag.usal.es/hmm2003.htm>

Reunión Científica sobre Aromas. 5, 6 y 7 de junio de 2003. Valladolid. Para más información visitar Pág. Web: <http://www.uva.es/aromas>

Aseva Summer School-2003: Ws-10 "Biosurfaces". Del 30 de junio al 2 de julio Ávila, Spain. B. Kasemo, workshop Chair, kasemo@fy.chalmers.se, J.L. de Segovia, School Coordinator, jldesegovia@icmm.csic.es. ASEVA, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC, Cantoblanco, E-28049 Madrid, Spain, aseva@icmm.csic.es www.icmm.csic.es/aseva

Aseva Summer School-2003: Ws-13 "Vacuum Gas Dynamics", Ávila, Spain. J.C. Helmer, workshop Chair, helmerjc@worldnet.att.net, J.M. Gómez-Gofí, workshop cochair, gomi@euitt.upm.es, J.L. de Segovia, School Coordinator, jldesegovia@icmm.csic.es. ASEVA, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC, Cantoblanco, E-28049 Madrid, Spain, aseva@icmm.csic.es www.icmm.csic.es/aseva

Madrid, Spain, aseva@icmm.csic.es, www.icmm.csic.es/aseva

XXIX Reuniones Binales de Física y Química. Centenario de las RR.SS de Física y Química. 7 al 11 julio de 2003. Palacio de Congresos de Madrid. Información e Inscripción Viajes el Corte Inglés dccimad8@viajeseci.es o bien visite pag. Web: www.centenario-binales.com

Sexto Congreso Internacional Sobre La Enseñanza y Divulgación de la Meteorología, Climatología y Oceanografía. del 7 al 11 de Julio de 2003 en el Campus de Villaviciosa de Odón de la Universidad Europea de Madrid. Para más información: www.uem.es/web/cie/meteoro/index.htm

Aseva Summer School-2003 : Ws-14 "Physical and Chemical Processes in Reactive Hydrocarbon Plasmas in Contact with Surfaces", Ávila, Spain. W. Jacob, workshop Chair, Wolfgang.Jacob@ipp.mpg.de, F. Tabares, workshop co-chair, tabares@ciemat.es, J.L. de Segovia, School Coordinator, jldesegovia@icmm.csic.es. ASEVA, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC, Cantoblanco, E-28049 Madrid, Spain, aseva@icmm.csic.es www.icmm.csic.es/aseva

XVIII International Colloquium on Magnetism, Films and Surfaces - ICMFS 2003. del 22 al 25 de julio de 2003. Para más información visitar Pág. Web: <http://www.ucm.es/info/magnet>

12th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science. will be held at the University of Oviedo, Spain, from August 7 to 13, 2003. Para más información consulte Pág. Web: <http://www.uniovi.es/congresos/2003/dlmps/>

9th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-9). Del 15 al 19 de septiembre de 2003. Madrid, Spain. F. Flores and J.L. de Segovia, Conference Chairmen, ASEVA, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC, Cantoblanco, E-28049 Madrid, Spain, aseva@icmm.csic.es, www.icmm.csic.es/aseva

1st International Meeting on Applied Physics. Badajoz, del 14 al 18 de Octubre de 2003. Para más información visitar Pág. Web: www.formatex.org/aphys2003/aphys2003.htm

11th International Congress of the International Radiation Protection Association. 23-28 Mayo de 2004, Madrid. Para más información consultar pág. Web: www.iprall.com

Progress in Supersymmetric quantum Mechanics (SUSY QM'03). Valladolid, del 15 al 19 de julio de 2003. web: http://metodos.fam.cie.uva.es/~susy_qm_03. e-mail: susy_qm_03@metodos.fam.cie.uva.es

Para anuncios en esta sección:

fax: 91-543 38 79
email: rsef@fis.ucm.es
WEB: <http://www.ucm.es/info/rsef>