

Hochauflösende Photoemissionsmikroskopie mittels Synchrotronstrahlung

G. Schönhense und C. M. Schneider

Die schon Anfang der dreißiger Jahre von Brüche entdeckte Emissions-Elektronenmikroskopie bei Anregung mit Licht und Verwendung einer sog. Kathodenlinse erlebt durch die Verfügbarkeit von Synchrotronstrahlung mit hoher Brillanz einen gewaltigen Aufschwung. Während frühere Anwendungen dieser Photoemissionsmikroskope hauptsächlich auf der lateralen Variation der lokalen Austrittsarbeit beruhten, kommt bei Anregung mit durchstimmbarer Röntgenstrahlung die Möglichkeit der elementselektiven Abbildung hinzu. Ist die Strahlung darüber hinaus noch zirkular polarisiert, so läßt sich der magnetische Zirkulardichroismus zur Domänenmikroskopie ausnutzen. Durch parallele Bilderfassung sind Experimente in Echtzeit möglich: Die Auflösung liegt um 25 nm bei der Schwellen-Photoemission und z. Zt. bei etwa 120 nm bei Anregung mit Synchrotronstrahlung.

1. Einführung

Ein Photoemissions-Elektronenmikroskop (PEEM) [1] dient zur direkten räumlichen Abbildung der Elektronenemissionsverteilung einer mit Licht bestrahlten Oberfläche. Wählt man eine Photonenenergie dicht oberhalb der Photoschwelle, so entstehen durch Austrittsarbeitdifferenzen kontrastreiche Bilder, mit denen sich z. B. chemische Oberflächenreaktionen in Echtzeit verfolgen lassen [2]. Geht man über zu Photonenenergien im Röntgenbereich (X-PEEM), so kann man auf einfache Weise die Emissionsverteilung eines ausgewählten Elements sichtbar machen [3–5].

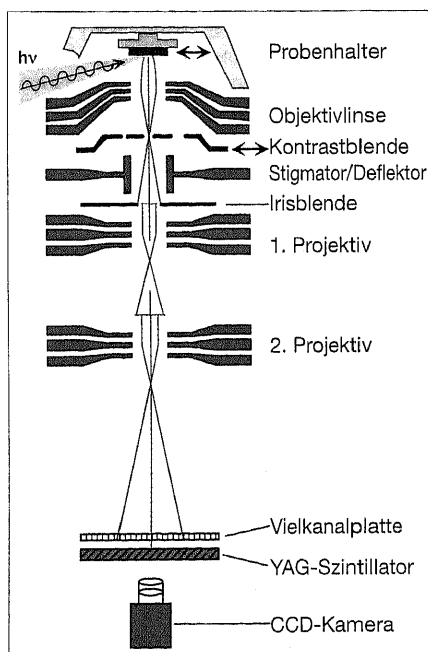


Abb. 1: Schema des Photoemissions-Elektronenmikroskops FOCUS IS-PEEM. (Näheres siehe Text)

Die Standardmethode zur Element-Mikroanalyse setzt die Röntgen- oder Auger-Mikrosonde eines Rasterelektronenmikroskops ein. Aufgrund der sehr niedrigen Fluoreszenzausbeute und der rasternden Arbeitsweise sind diese Detektoren vergleichsweise langsam und erfordern daher sehr hohe Primärströme, die zur Strahlenschädigung der Probe führen. Genau bei diesen Problemen setzt die neuartige Methode des spektroskopischen PEEM an. Das Gerät arbeitet nicht im Rasterverfahren mit hoher lokaler Stromdichte, sondern im Modus der Parallelabbildung bei homogener Bildfeldbeleuchtung, vergleichbar mit einem Lichtmikroskop.

Abb. 1 zeigt schematisch den Aufbau unseres Gerätes (FOCUS IS-PEEM). Die mit UV- oder Röntgenlicht beleuchtete Probe

befindet sich dicht vor der Extraktorelektrode einer elektrostatischen Objektivlinse, gefolgt von zwei Projektiven zum Erreichen der Endvergrößerung. Das Bild wird mittels eines Leuchtschirms hinter einem Bildverstärker (Multichannelplate) sichtbar gemacht und kann mit einer CCD-Kamera beobachtet werden. Eine Iris als Bildblende in der Zwischenbildebene und eine variable Kontrastblende in der hinteren Objektivbrennebene dienen zur Optimierung von Bildkontrast und Signalstärke. Ein Oktopolstigmator erlaubt sowohl die Korrektur des Astigmatismus als auch eine laterale Verschiebung des Gesichtsfeldes auf der Probe. Das elektronenoptische Abbildungssystem ermöglicht einen Zoom-Bereich von 0,7 mm bis zu einigen μm Bilddurchmesser. Der in den Mikroskopkopf integrierte Probenhalter ist über Piezomotoren verfahrbar und garantiert so höchste Vibrationsfreiheit. Die Experimente wurden bei BESSY (Berlin) und an der ESRF (Grenoble) durchgeführt.

Der Vorteil dieser „Hybridtechnik“ aus Lichtanregung und Elektronenabbildung ist, daß mit diesem Gerät alle bekannten, auf Röntgenanregung basierenden Analysetechniken mit hoher Ortsauflösung möglich sind. Dazu gehören die Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) oder ihre verfeinerten Weiterentwicklungen (XANES: X-ray Absorption Near Edge Structure bzw. EXAFS: Extended X-ray Absorption Fine Structure). Wird zusätzlich ein Elektronenenergie-Analysator in die Mikroskopsäule integriert, so ist auch abbildendes ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) möglich [6–9]. Bei Mikro-XAS wird der interessierende Bildbereich von der Größenordnung $1\mu\text{m}$ ausgewählt (z. B. elektronisch über die Videokamera oder durch Schließen der kontinuierlich variablen Irisblende). Dann wird die Energie der anregenden Strahlung im Bereich der interessierenden Absorptionskanten durchgeführt und die Elektronenintensität im Mikropot registriert.

Prof. Dr. Gerd Schönhense, Institut für Physik, Universität Mainz, Staudingerweg 7, D-55099 Mainz; Priv. Doz. Dr. Claus M. Schneider, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Am Weinberg 2, D-06120 Halle