

Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten

Steffen Wirth und Stefan Ernst

Dünne Schichten spielen eine immer größere Rolle in der Festkörperphysik und sind aus modernen, physikalisch ausgerichteten Labors kaum noch wegzudenken. Dabei kann man zwischen zwei grundsätzlichen Interessengebieten für den Einsatz dünner Schichten unterscheiden: Zum einen kann die Schicht selbst von Interesse sein, sei es aufgrund von physikalischen Effekten, die durch die reduzierte Dimension (die Schichtdicke) hervorgerufen werden oder durch Herstellungs- und Strukturierungsvariationen, die erst in dünnen Filmen möglich werden. Multilagennsysteme stellen hier besonders interessante Systeme dar. Zum anderen können dünne Schichten aber auch gewissermaßen als "Mittel zum Zweck" dienen, d.h. die Untersuchung anderer Proben mittels bestimmter Methoden erst ermöglichen. Dies trifft beispielsweise auf die 3ω -Methode zu, die zur Messung thermischer Eigenschaften von kompakten Proben dient (siehe "Thermische Transporteigenschaften").

Im Sinne der allgemeinen Forschungsrichtung des Institutes sollen vornehmlich andere Messmethoden ermöglicht bzw. unterstützt werden. Die Spanne reicht dabei von der bereits erwähnten 3ω -Methode, bei der der Film gleichzeitig als Heizer und Thermometer dient, über elektrische Transportmessungen bis hin zu supraleitenden Dünnschicht-Schaltern. Gemäß dieser Zielstellung werden zur Schichtherstellung drei Elektronenstrahlverdampfer und zwei Sputterquellen an einer UHV-Anlage betrieben (Abb.1). Erstere werden vornehmlich zur Abscheidung von Metallen benutzt, während letztere dem Aufbringen von dünnen isolierenden Schichten dienen. Sollen beispielsweise die thermoelektrischen Eigenschaften metallischer Proben mittels der 3ω -Methode untersucht werden, so muß die aufzubringende Heiz- und Thermometerschicht elektrisch isoliert, aber mit gutem thermischen Kontakt auf die Probe aufgebracht werden. Zur lateralen Strukturierung der Schichten wird Fotolithographie in Kombination mit nasschemischem Ätzen eingesetzt. Damit können Strukturbreiten bis hinunter zu $1\ \mu\text{m}$ hergestellt werden. Topographische Untersuchungen der Schichten und die Schichtdickenbestimmung kann mittels atomarer



Abb. 1: UHV-Anlage mit Elektronenstrahlverdampfern und Sputterquellen.

Fig. 1: UHV deposition chamber with electron beam evaporators and sputter sources.

Kraftmikroskopie (AFM) erfolgen. Ein Beispiel für eine strukturierte Vanadium-Schicht ist in Abb. 2 gezeigt. Die Breite der strukturierten schmalen Leiterbahn (Bild rechts) beträgt $10\ \mu\text{m}$ bei einer Schichtdicke von $30\ \text{nm}$, womit beim Übergang von supra- zum normalleitenden Zustand ein Sprung im Widerstand auf bis zu $10\ \text{k}\Omega$ erreicht wird.

Zur Messung kleinster magnetischer Streufelder werden sogenannte Hallkreuze aus zweidimensionalen Elektronensystemen strukturiert. Diese können als hochempfindliche Magnetometer eingesetzt werden, beispielsweise zur Messung von Magnetisierungskurven von Eisenstäbchen mit einem Volumen von nur $2 \times 10^{-24}\ \text{m}^3$ [1]. Diese Arbeiten werden in Zusammenarbeit mit MARTECH, Florida State University, USA, ausgeführt.

Mit den zur Verfügung stehenden Präparationsmethoden können natürlich auch Schichten abgeschieden werden, deren Eigenschaften selbst von Interesse sind. Beispielsweise werden im Institut Materialien mit herausragenden thermoelektrischen Eigenschaften untersucht. Diese Eigenschaften können, wenn die entsprechenden Materialien als dünne Schichten vorliegen, maßgeschneidert werden [2]. Dies legt den Versuch einer Dünnschicht-Präparation nahe.

Preparation and Characterization of Thin Films

Steffen Wirth and Stefan Ernst

Thin film preparation is one of the key technologies in state-of-the-art solid state physics with ever growing impact on other fields of research and technology (e.g. microelectronics). The interest in using thin films can be twofold: Firstly, the thin film itself can be at the focus of research. Here, the reduced dimension (film thickness) may lead to completely new physical phenomena (as, e.g., in two-dimensional electron systems). Moreover, the preparation and patterning possibilities specific to thin films allow for new designs and, in turn, new applications in basic and applied research. In this respect, multilayers are of special interest. Secondly, the thin films may be used rather indirectly to enable research on the samples of interest. One such example is the so-called $3-\omega$ method. This method allows a fast measurement of thermal and thermal transport properties of a bulk sample (see “*Thermal Transport*”).

In accordance with the general fields of research established at the MPI CPfS we focus on enabling and supporting other measurement techniques. Here, our interest ranges from the already mentioned $3-\omega$ method (in which the thin film is simultaneously used as heater and thermometer), measurements of electrical transport to supercon-

ducting thin film switches (that, e.g., allow to switch between different samples within one experimental setup). For these purposes a UHV chamber was equipped with three electron beam evaporators and two sputter sources for film preparation (Fig. 1). The former are used for the deposition of metallic films whereas the latter are employed for insulating films. As an example, to investigate the thermoelectrical properties of a metallic sample by the $3-\omega$ method the heater/thermometer film has to be deposited in good thermal but without electrical contact to the sample. We use photolithography and wet chemical etching in order to pattern our films. Structures down to about 1 micron can be prepared. Sample topology can be investigated by atomic force microscopy (AFM). As an example, Fig. 2 shows a patterned vanadium film of 30 nm thickness with the smallest line being 10 μm in width. The resistivity of such a structure changes from superconductivity to about 10 k Ω if heated above 6 K.

Small magnetic stray fields can conveniently be measured by utilizing so-called Hall crosses made by microfabrication of two-dimensional electron systems. Such a device can be applied as an extremely sensitive Hall magnetometer. This novel magnetometry technique enabled us to accurately measure magnetization curves of iron pillars with a volume as small as $2 \times 10^{-24} \text{ m}^3$ [1]. This work was conducted in collaboration with MARTECH, Florida State University, USA.

The thin film deposition and characterization equipment now available can, of course, also be used for materials which are of interest by themselves. One of the research interests of our institute is focused on materials featuring extraordinary thermoelectrical properties. These properties can be tailored if the materials are prepared as thin films [2]. Hence, we will explore the possibilities for thin film preparation of such materials.

References

- [1] Y. Li, P. Xiong, S. von Molnár, S. Wirth, Y. Ohno and H. Ohno, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 4644 (2002).
- [2] R. Venkatasubramanian, E. Siivola, T. Colpitts and B. O’Quinn, *Nature* **413**, 597 (2001).

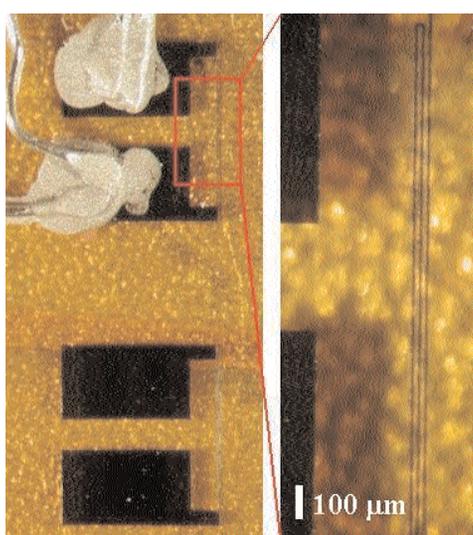


Fig. 2: Patterned thin vanadium film (thickness 30 nm).
Abb. 2: Strukturierte Vanadium-Schicht (Dicke 30 nm).