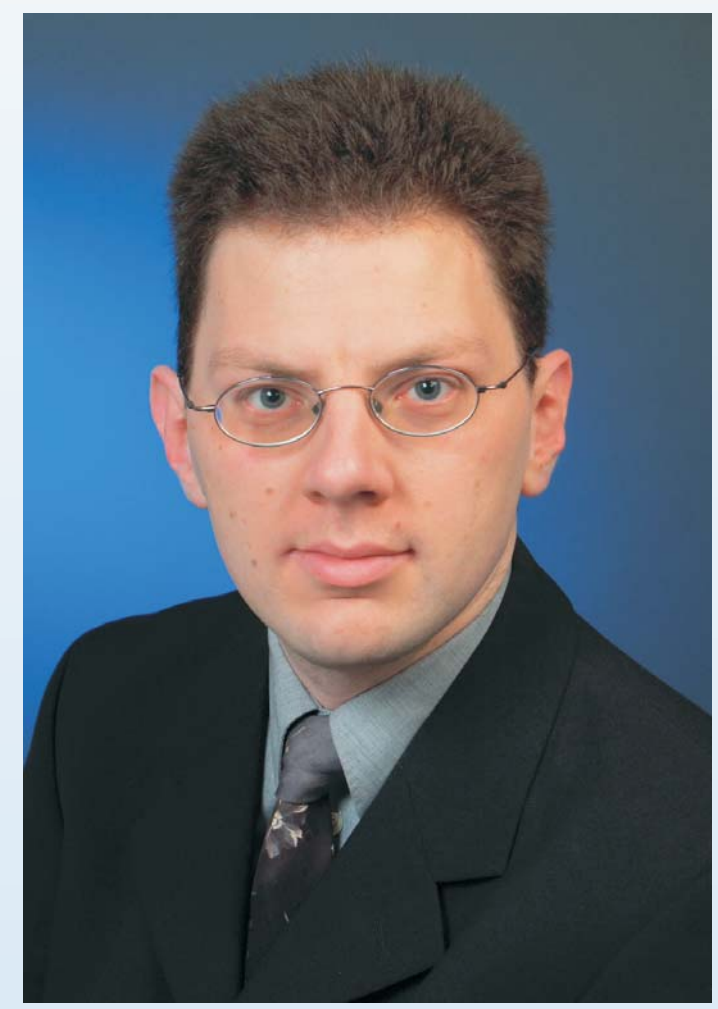


Spinabhängiger Transport in epitaktischen Fe-Leiterbahnen auf GaAs(110)

Dr. Christoph Hassel

Promotion an der Fakultät für Physik, AG Farle
 Betreuung durch Prof. Dumpich und Dr. Lindner
 Universität Duisburg-Essen
 Christoph.Hassel@uni-due.de



Einleitung:

Seit der Entdeckung des Riesenmagnetowiderstandes (GMR), für dessen Entdeckung P. Grünberg und A. Fert 2007 den Nobelpreis für Physik erhielten, besteht ein steigendes Interesse an spinabhängigen Transportphänomenen. Diese sind für vielfältige Anwendungen geplant oder bereits eingesetzt, wie zum Beispiel in modernen Festplatten.

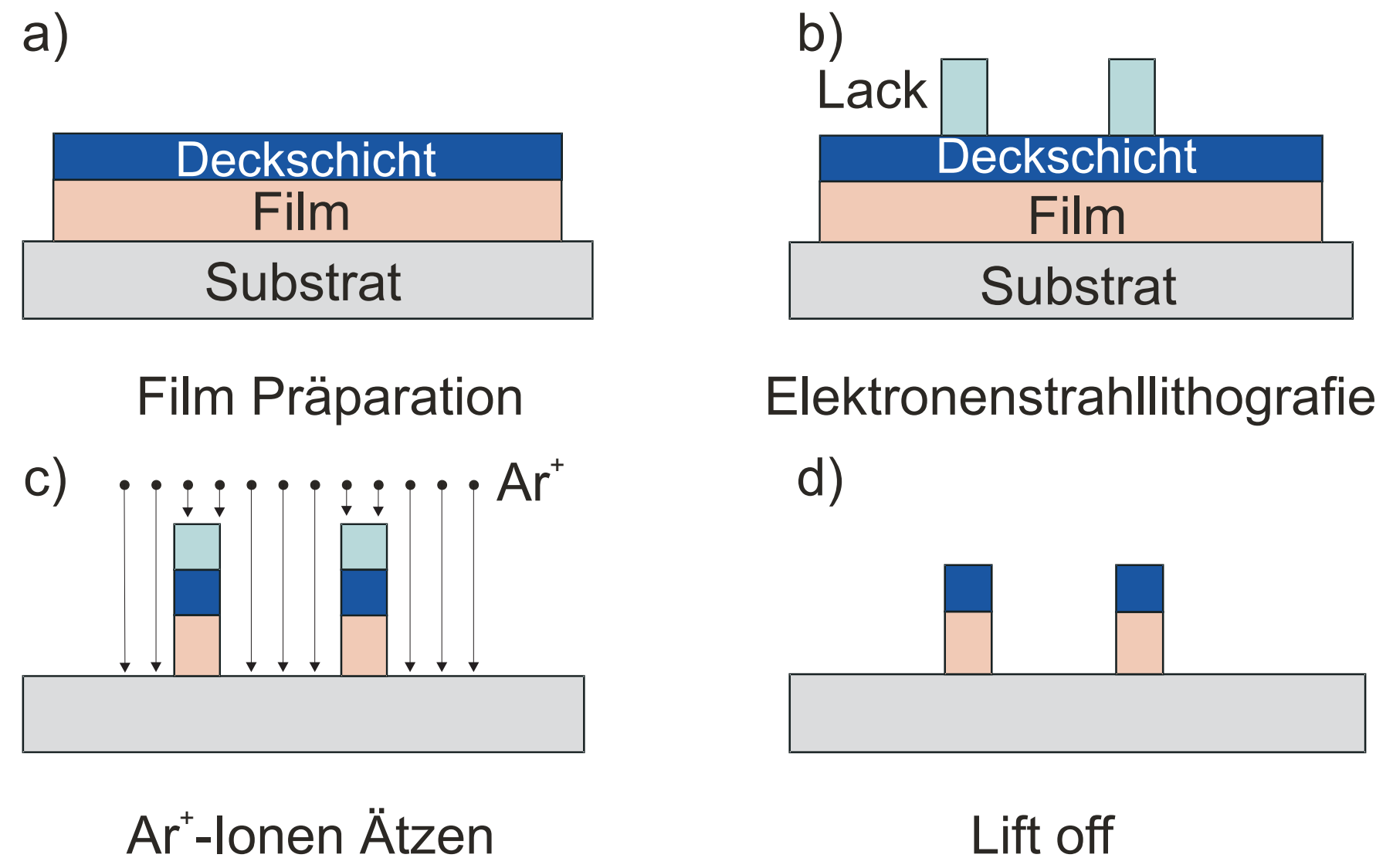
Eine weitere Erforschung der grundlegenden physikalischen Prinzipien ist daher für die zukünftigen Anwendungen wichtig. Hierbei gewinnen insbesondere die Domänenwände, also die Bereiche zwischen verschiedenen magnetischen Domänen, immer mehr an Bedeutung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden unter anderem verschiedene Eigenschaften von Domänenwänden untersucht. Dies ist zum einen der elektrische Widerstand von magnetischen Domänenwänden, zum anderen die Bewegung von diesen aufgrund eines elektrischen Stromes.

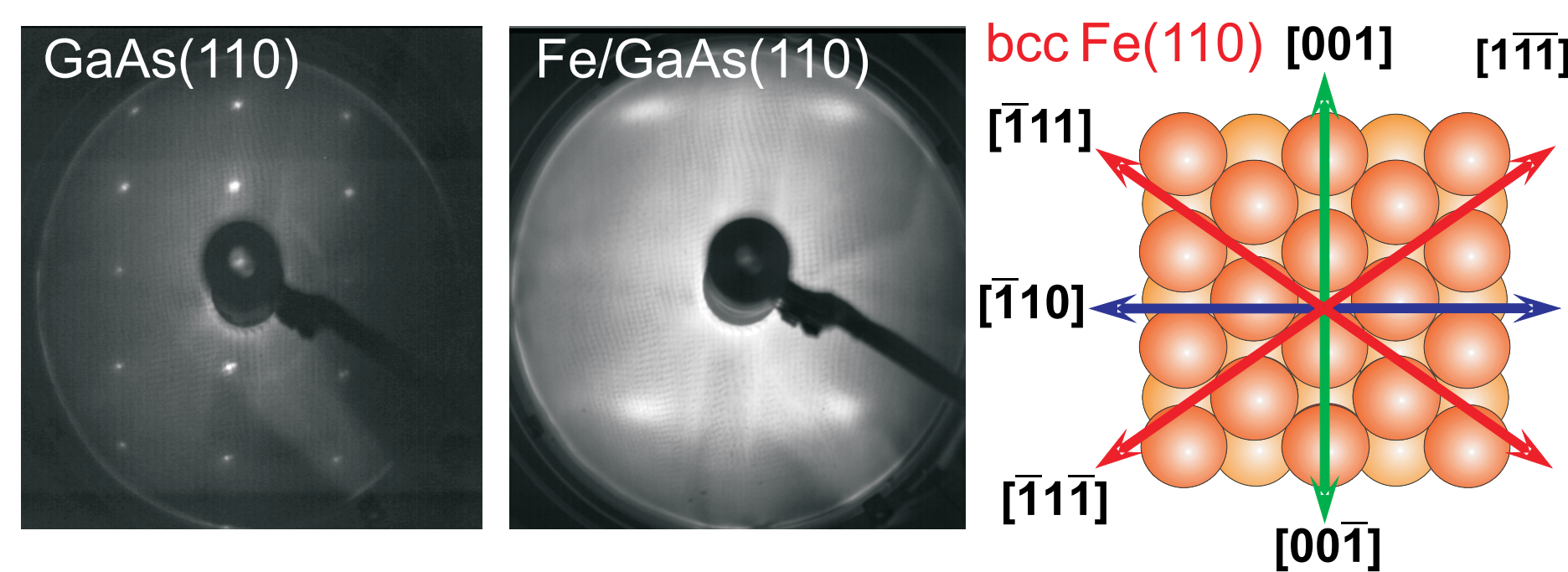
Methoden:

Probenpräparation:

Elektronenstrahlolithographie:



Dünnschichtpräparation im Ultrahochvakuum:

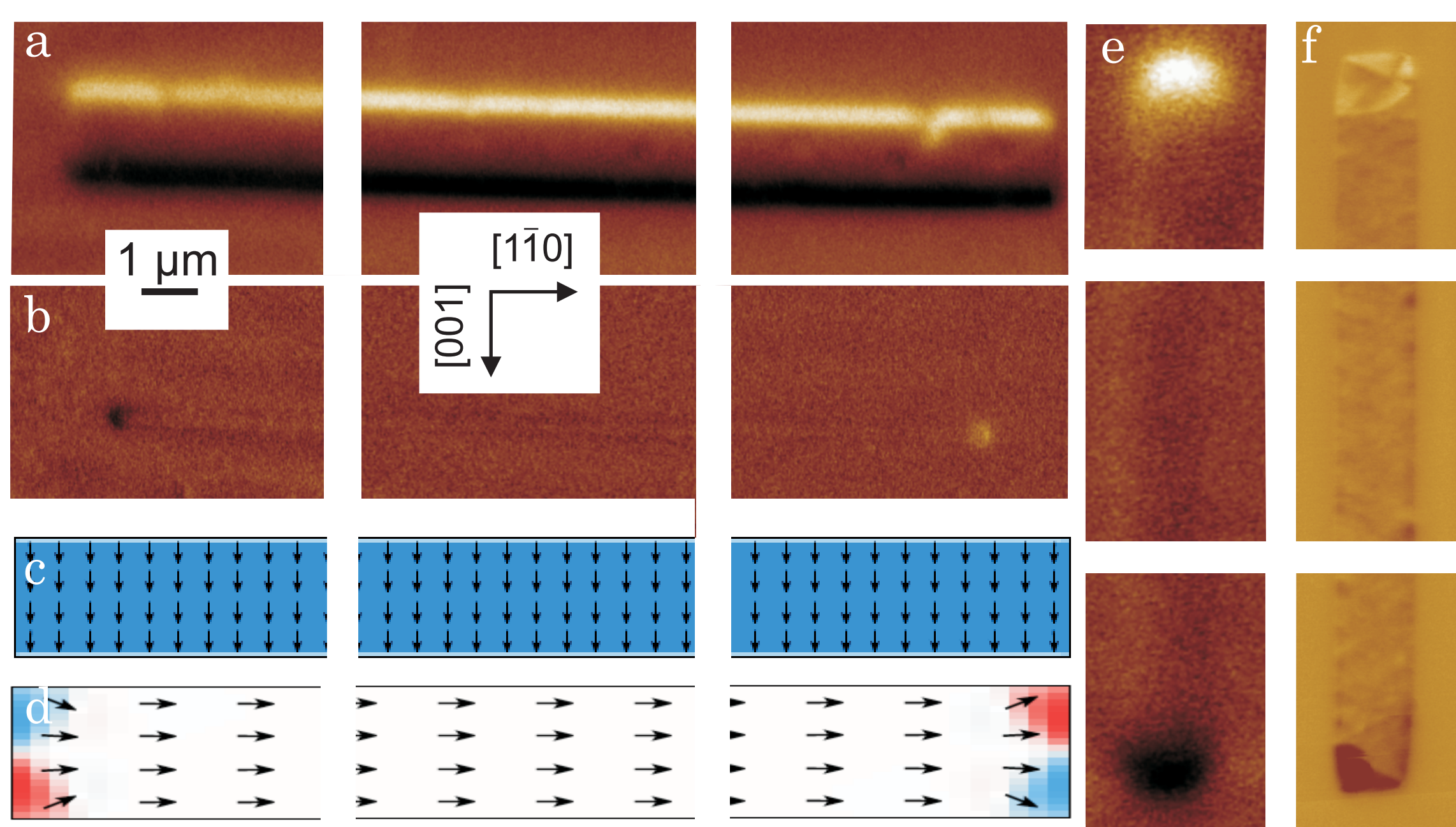


Zur Herstellung epitaktischer Leiterbahnen werden zunächst im Ultrahochvakuum dünne (Schichtdicke etwa 10 nm), epitaktische Fe-Schichten auf GaAs(110) hergestellt. Die atomare Struktur der Schichten kann mit Hilfe von Elektronenbeugung charakterisiert werden. Eine Schutzschicht verhindert eine Oxidation der Metallfilme bei den weiteren Prozessschritten.

Anschließend wird die Elektronenstrahlolithographie (EBL) eingesetzt, um Strukturen aus diesen Schichten zu erstellen, die Abmessungen bis herunter zu 100 nm aufweisen. Hierzu wird eine Lackschicht in einem Rasterelektronenmikroskop mit Elektronen einer Energie von 20 keV beschossen. Durch die chemische Veränderung des Lackes kann dieser sensitiv an den Stellen aufgelöst werden, an denen die Elektronen den Lack getroffen haben. Die dadurch entstehende Lackmaske wird in einem weiteren Prozessschritt als Ätzmaske verwendet. Nach der abschließenden Entfernung der Lackschicht auf den Strukturen verbleiben epitaktische Nanostrukturen auf dem Substrat. Diese können in einem weiteren EBL-Schritt mit elektrischen Kontakten versehen werden, so dass der elektrische Widerstand magnetischer Nanostrukturen gemessen werden kann.

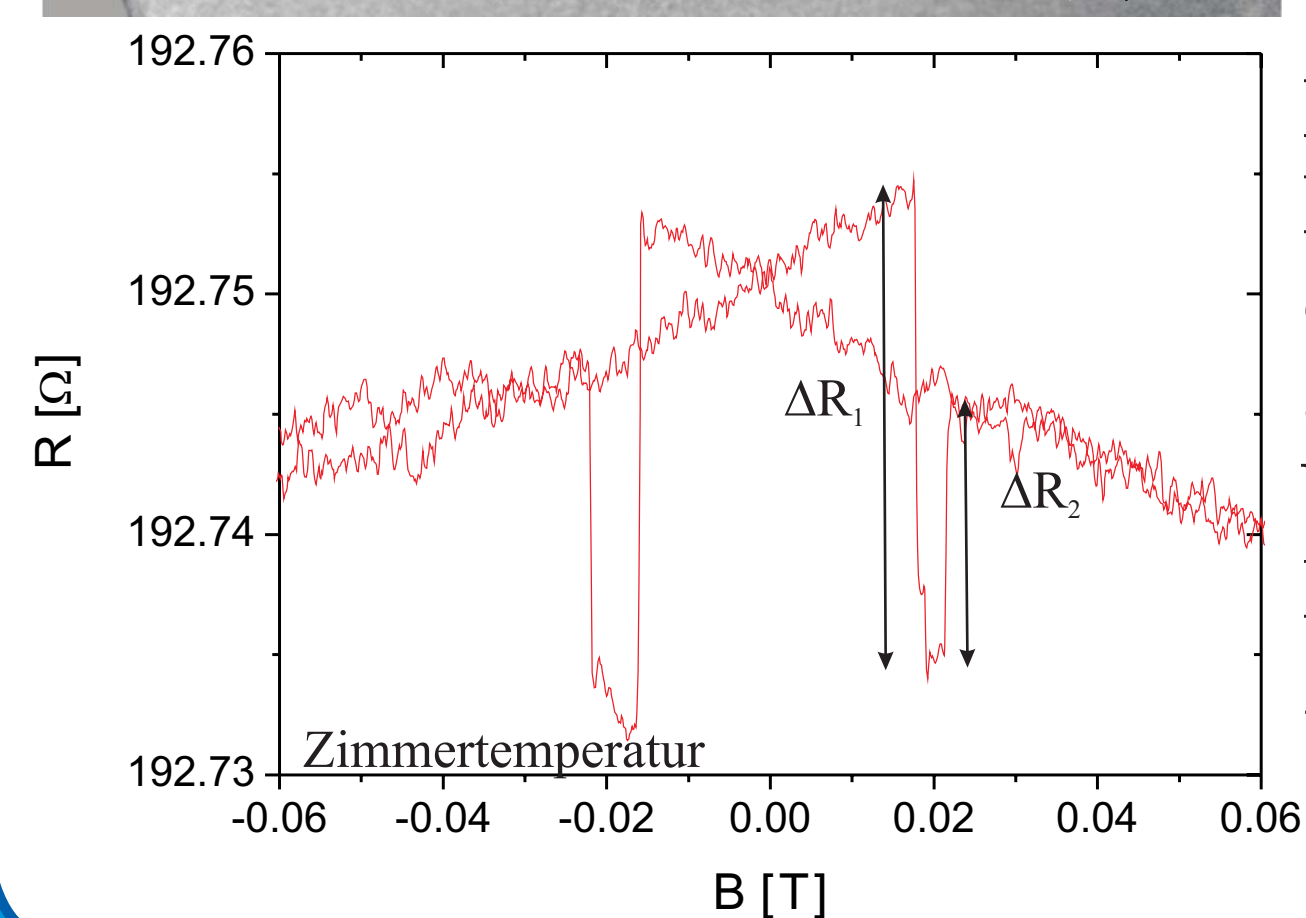
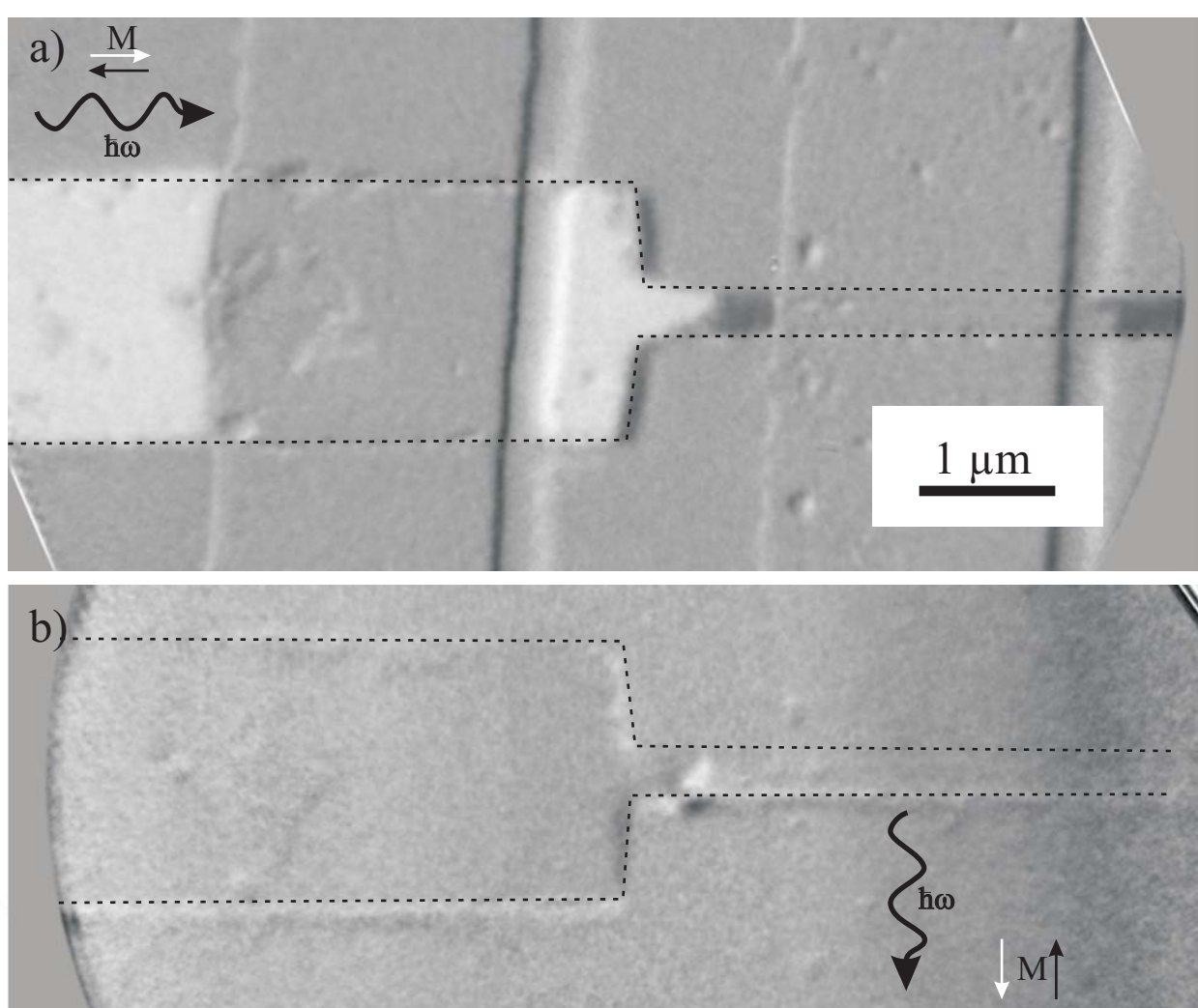
Ergebnisse:

Grundlegende magnetische Charakterisierung:



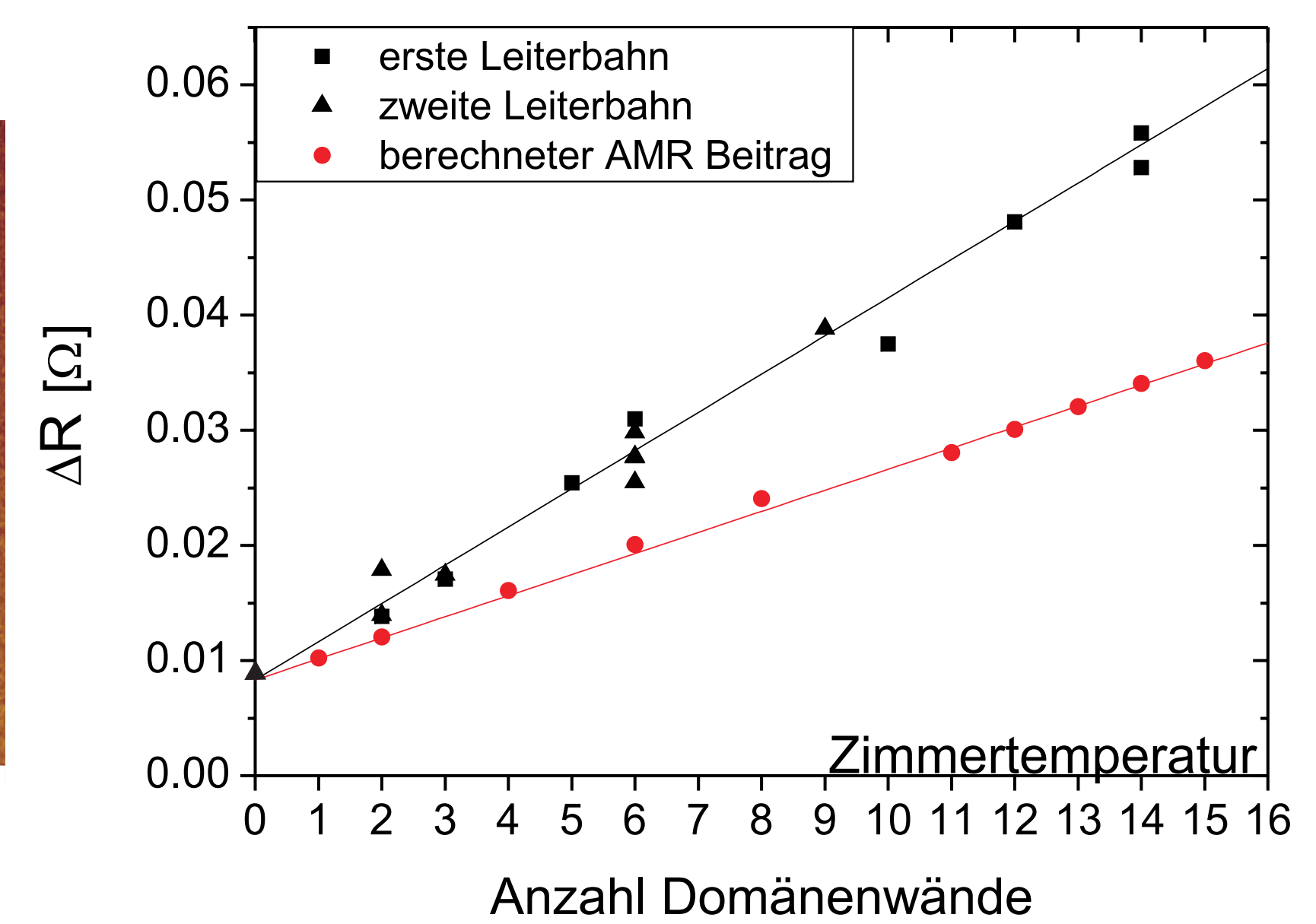
Für die grundlegende magnetische Charakterisierung der magnetischen Leiterbahnen wurde die Magnetkraftmikroskopie (MFM) eingesetzt. Die Untersuchungen zeigen eindeutig, dass die epitaktische Struktur der Leiterbahnen in einer starken magnetischen Anisotropie der Leiterbahnen resultiert. Leiterbahnen ohne intrinsische Anisotropie bevorzugen stets eine Magnetisierung parallel zur langen Achse der Leiterbahn. Abbildung a) zeigt, dass in diesem Fall eine Magnetisierung *quer* zur langen Leiterbahnachse erreicht werden kann. Dies wird durch Simulationen (Abbildung c) bestätigt. Durch Reduzierung der Dimensionen kann dieser Effekt jedoch vermieden werden (Abbildung b und d). Zudem zeigen Vergleichsmessungen mit polykristallinen Leiterbahnen, dass epitaktische Leiterbahnen eine deutlich größere Homogenität ausweisen (e,f).

Domänenwandwiderstand I



oben: hochauflösende Aufnahmen von Domänenwänden, die in Zusammenarbeit mit Dr. F. Kronast vom Helmholtz-Zentrum Berlin bei Bessy aufgenommen wurden. Die von oben nach unten laufenden Streifen sind die elektrischen Kontakte, die zur Widerstandsmessung dienen. Diese ist im unteren Diagramm dargestellt. Die dort auftretenden Sprünge sind auf das Erzeugen bzw. Vernichten der Domänenwand zurückzuführen.

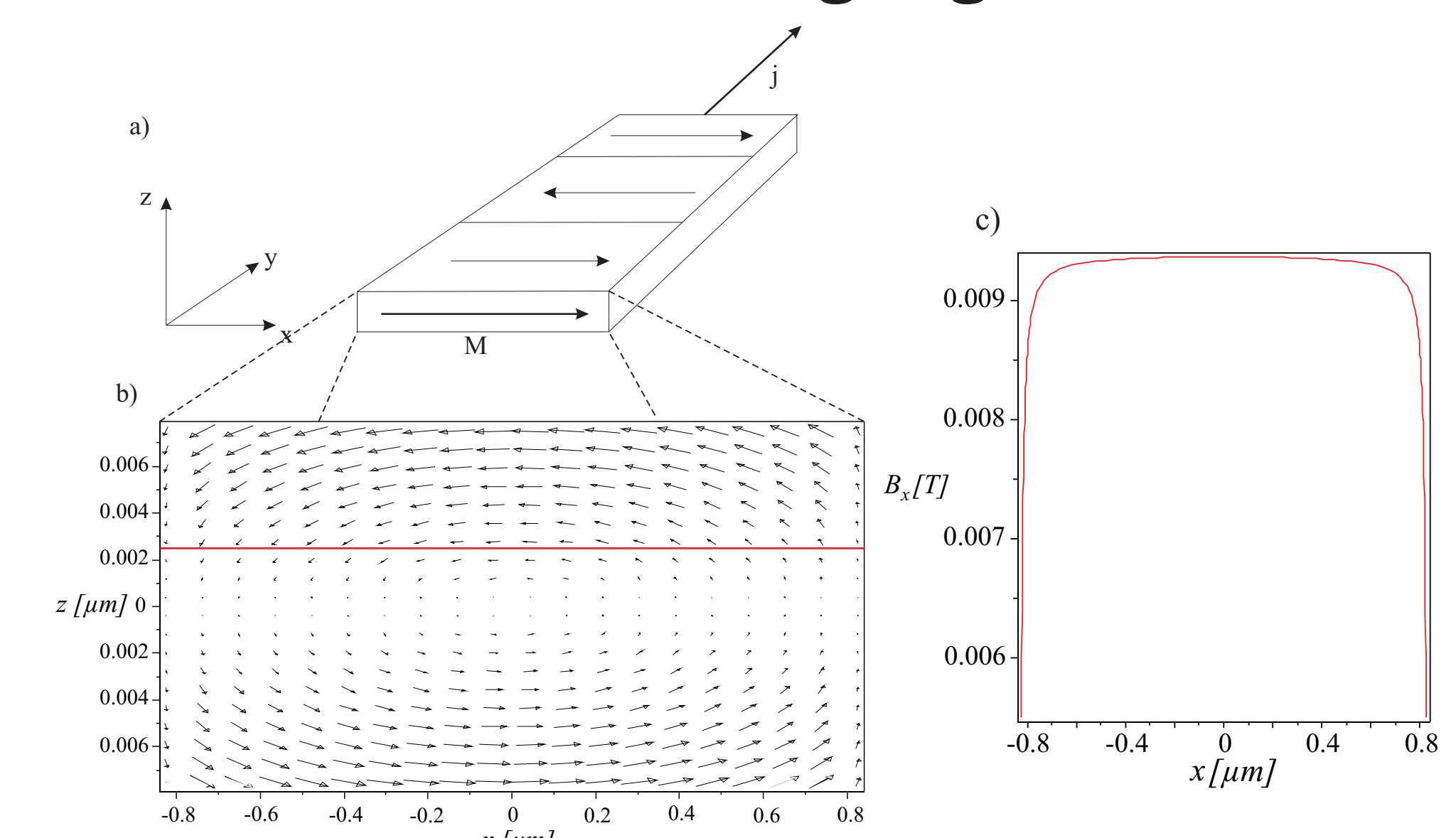
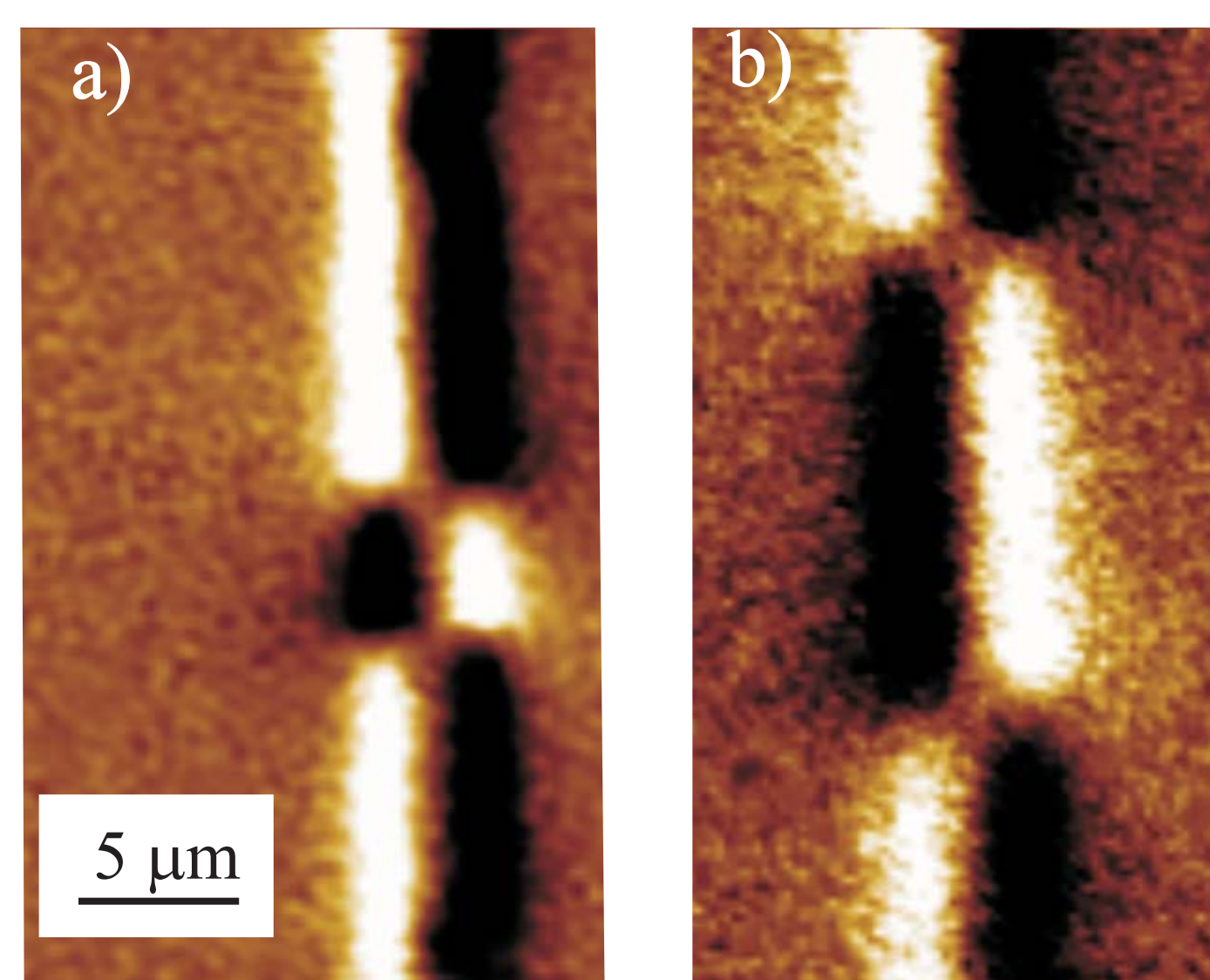
Domänenwandwiderstand II



Links: MFM-Bilder einer Leiterbahn ohne Domänenwände (b) und mit Domänenwänden (c-e), die mit Hilfe der MFM-Spitze in der Leiterbahn induziert wurden. So kann eine beliebige Anzahl an Domänenwänden erzeugt werden.

Rechts: Widerstandsdifferenz zwischen den Zuständen ohne Domänenwänden und mit einer bestimmten Anzahl von Domänenwänden (schwarze). In rot dargestellt ist die Berechnung eines Widerstandsbeitrages aufgrund des Anisotropen Magnetowiderstandes. Die Differenz ist dann der intrinsische Domänenwandwiderstand.

Strominduzierte Domänenwandbewegung



Links: MFM-Aufnahmen von zwei Domänenwänden vor und nach Applikation eines Strompulses (Stromdichte 10^8 A/cm², Pulsdauer 250 ns). Deutlich zu erkennen ist eine Bewegung der Domänenwände.

Rechts: Berechnung des Oerstedfeldes innerhalb des Leiterbahnquerschnitts, welches die Domänenwandbewegung verursacht. Das Diagramm zeigt die Stärke des Feldes.

Zusammenfassung

- epitaktische, ferromagnetische Nanostrukturen wurden mit Hilfe von Elektronenstrahlolithographie hergestellt
- Der elektrische Widerstand magnetischer Domänenwände ist in Übereinstimmung mit theoretischen Modellen bestimmt worden
- Strominduzierte Domänenwandbewegung kann durch das mit dem Stromfluss verknüpfte Oersted-Feld erklärt werden

Danksagung

• Ich danke dem SFB 491 für die finanzielle Förderung der Arbeit. Der gesamten AG Farle danke ich für die angenehme Arbeitsatmosphäre und Prof. Dumpich und Dr. Lindner für die Unterstützung und Betreuung während meiner Promotion.