

# 1 Einleitung

In heutigen Computersystemen werden meist zwei verschiedene Speicherprinzipien verwendet. Für die dauerhafte Datenspeicherung kommen magnetische Festplatten zum Einsatz, die sehr große Speicherkapazitäten aufweisen und kostengünstig herzustellen sind. Ihr Nachteil liegt jedoch in der vergleichsweise langsamen Lese- und Schreibgeschwindigkeit. Hier sind Speicher, die auf der Halbleitertechnologie basieren, deutlich überlegen. Sie sind in der Herstellung jedoch teurer und müssen teilweise zum Erhalt der gespeicherten Daten, z. B. im Fall der RAM-Technologie, ständig mit Strom versorgt werden. Bei der Entwicklung neuer Speichermethoden ist es wünschenswert, die Vorzüge dieser beiden Techniken zu vereinen.

Einen Vorschlag dieses Ziel zu erreichen, stellt der Racetrack-Speicher dar. Die Information ist dabei auf einem dünnen magnetischen Draht in Form von magnetischen Domänen gespeichert, die durch Domänenwände voneinander getrennt sind. Die Richtung der Magnetisierung einer Domäne entlang bzw. entgegen der Drahtrichtung stellt die binäre Null bzw. Eins dar. Mithilfe des Effekts der strominduzierten Domänenwandbewegung können die Domänen an einem Schreib- und Leseelement vorbei bewegt und ausgelesen bzw. neu beschrieben werden. Der neuartige Ansatz dieser Methode ist, dass nur die magnetische Information und nicht der Draht selbst bewegt wird. [1]

Der 1984 von Berger [2] theoretisch vorhergesagte Effekt der strominduzierten Domänenwandbewegung beschreibt eine Kraft, die durch einen fließenden Strom auf eine Domänenwand ausgeübt wird. Bei ausreichend hohen Stromdichten (im Bereich von  $10^{12} \text{ A/m}^2$ ) kann mit dieser Kraft eine Domänenwand in Richtung der fließenden Elektronen verschoben werden. Ein Beispielexperiment ist in Abbildung 1.1 dargestellt. Eine anschauliche Erklärung des Effekts geht darauf zurück, dass sich der Spin der Elektronen an die lokal vorliegende Magnetisierung anpasst. Beim Durchqueren einer Domänenwand heißt dies, dass sich der Spin umkehrt. Dies ist gleichbedeutend mit einer Drehimpulsänderung und aufgrund des Drehimpulserhaltungssatzes muss die Änderung von der Domänenwand kompensiert werden. Das aus der Drehimpulsänderung resultierende Drehmoment bewirkt schließlich die Kraft auf die Domänenwand. [2]

Die strominduzierte Domänenwandbewegung stellt einen statistischen Prozess dar, der noch nicht vollständig verstanden und berechenbar ist. Häufig untersuchte Eigenschaften im Zusammenhang mit der Domänenwandbewegung sind die für die Bewegung benötigte Stromdichte [3], die Geschwindigkeit der Domänenwand [4, 5] und die strukturellen Veränderungen einer Domänenwand [6] während der Bewegung. Bisherige Experimente untersuchen die Domänenwandbewegung mithilfe von kurzen Strompulsen von einigen Nano- [7] bis Millisekunden. Bei länger anhaltenden Strömen würden die Drähte aufgrund der extrem hohen Stromdichten überhitzen und zerstört werden.

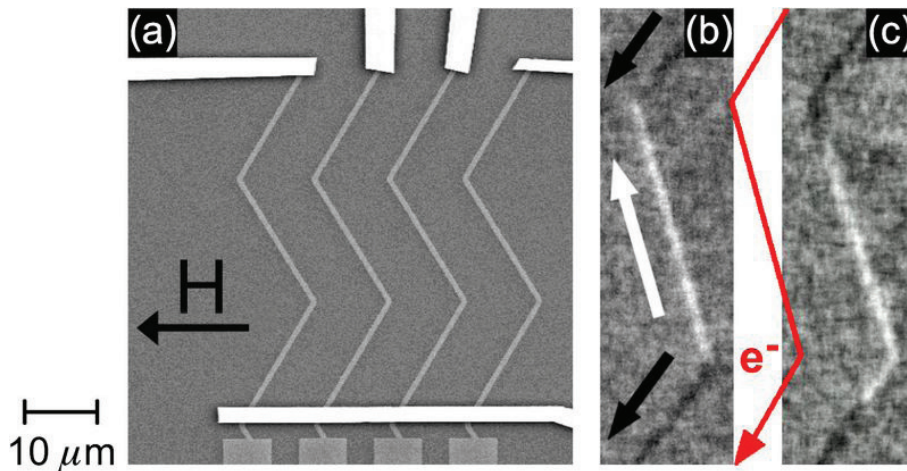
Die experimentell ermittelten Eigenschaften der strominduzierten Domänenwandbewegung lassen sich bisher nur unzureichend theoretisch beschreiben. So weichen z. B. die Domänenwandgeschwindigkeiten je nach verwendeter Untersuchungsmethode um bis zu

## 1 Einleitung

zwei Größenordnungen von berechneten Vorhersagen ab (vgl. z. B. [8] und [6]).

Um diese Abweichungen aufzuklären, ist es erstrebenswert, ein tieferes Verständnis der auf die Domänenwand wirkenden Kräfte zu erlangen. Bisherige Experimente konnten die Domänenwand nur vor und nach einem Strompuls abbilden. Während die Kräfte wirken, war aufgrund der Bewegung und der kurzen Zeit keine Abbildung der Domänenwand möglich. Doch gerade Experimente an einem statischen System, in dem die Domänenwand einer konstanten Kraft unterliegt, könnten hier vertiefte Informationen liefern. So wird aufgrund theoretischer Betrachtungen z. B. erwartet, dass die Domänenwand bereits von hohen Stromdichten, die jedoch noch nicht zur Bewegung der Wand ausreichen, manipuliert wird, indem sie sich möglicherweise verformt. Der durch den Stromfluss verursachten Kraft wirkt dabei eine Kraft entgegen, die durch ein Haftpotenzial entsteht, in dem sich die Domänenwand befindet. Die Haftzentren können durch intrinsische Gitterfehlstellen erzeugt werden, oder z. B. durch die Präparation von Verengungen gezielt von außen eingebracht werden.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Voraussetzungen für statische Experimente an magnetischen Nanodrähten geschaffen werden. Es werden daher eine Präparationsmethode und ein Versuchsaufbau entwickelt, die es ermöglichen, die zur strominduzierten Domänenwandbewegung benötigten Stromdichten als Gleichstrom über genügend lange Zeiträume, d. h. mindestens einige Minuten, stabil zu tragen. Zudem sollen die Eigenschaften der präparierten Nanodrähte analysiert werden und die Möglichkeit zur Abbildung der Domänenwände im bestehenden Rasterelektronenmikroskop mit Polarisationsanalyse (SEMPA) während eines fließenden Stroms geschaffen werden.



**Abbildung 1.1:** (a) Abbildung von vier Nanodrähten zur Untersuchung der strominduzierten Domänenwandbewegung mittels SEMPA. (b) Magnetische Konfiguration eines Nanodrahtes vor dem Strompuls, wie sie durch Anlegen eines Magnetfeldes  $H$  in der in (a) eingezeichneten Richtung erreicht wird. Weiße (schwarze) Abschnitte des Drahtes stehen für die Magnetisierungsrichtung nach oben (unten) in der Zeichenebene. An den Übergängen zwischen ihnen befinden sich Domänenwände. (c) Nach dem Strompuls ist der Abschnitt der nach oben zeigenden Magnetisierung verschoben, d. h. die Domänenwände wurden in Richtung der fließenden Elektronen bewegt. Abbildungen aus Ref. [6].

# **Ultrahohe Gleichstromdichten in magnetischen Nanodrähten auf Diamant-Substrat**

**Diplomarbeit**

**am**

**Institut für Angewandte Physik  
der Universität Hamburg**

vorgelegt von

Konrad Sachse

2. Juni 2008