

Kapitel 3

Nanostrukturierung mit Rastersondenmethoden

Mit Hilfe von Rastersondenmikroskopen ist nicht nur die Analyse von Nanometer-Strukturen, sondern auch deren Erzeugung möglich. Diese Option wurde eindrucksvoll durch das Versetzen einzelner Atome mit dem STM demonstriert [Eig90]. Im Prinzip können alle SPMs – die im Kapitel 1 und 2 dargestellt wurden – durch eine Intensivierung der Wechselwirkungen für die Strukturierung eingesetzt werden. So können etwa beim STM durch eine Erhöhung der Spannung einzelne Atome aus einer Oberfläche entfernt werden. Eine Erhöhung der Kraft beim SFM macht es möglich, die Probe lokal zu strukturieren (Bild 91). Das Anlegen einer zusätzlichen Spannung an einen SFM-Cantilever kann auf einer Siliziumoberfläche zu einer spannungsinduzierten Oxidation führen. Des Weiteren können Ladungen auf oder knapp unterhalb einer Probenoberfläche lokal gespeichert werden. Es können lokale Phasenänderungen im Probenmaterial erzeugt werden und vieles mehr (einen Überblick gibt z.B. [Wie94]). Den Möglichkeiten sind praktisch keine Grenzen gesetzt.

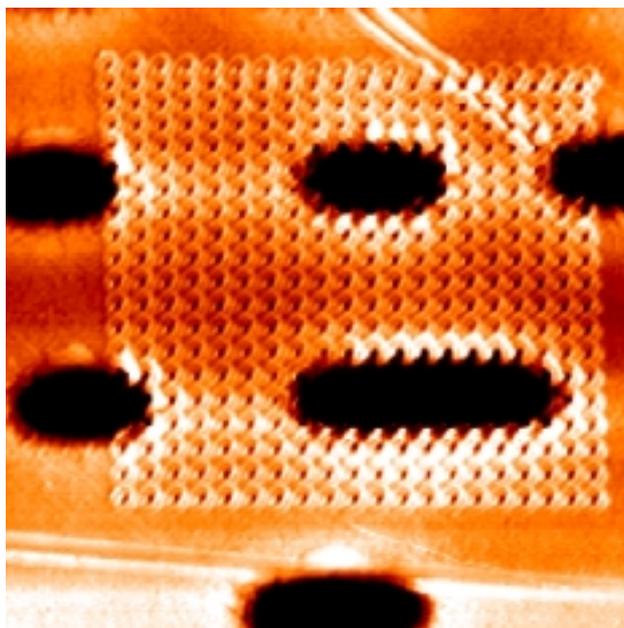


Bild 91: Topografie ($2 \times 2 \mu\text{m}^2$) einer per SFM strukturierten CD-ROM.

Dieses enorme Potential ließe sich – bzgl. einer industriellen Anwendung – für eine zukünftige Lithografie oder für eine Datenspeichertechnologie mit ultra-hoher Datendichte (engl. Ultra-High-Density-Storage, UHDS) nutzen, da die konventionellen Methoden in beiden Bereichen an ihre Grenzen stoßen.

Diese Grenzen werden in Abschnitt 3.1 aufgezeigt. Eine Möglichkeit sie zu überwinden wird in Abschnitt 3.1.1 durch das Prinzip der lokalen Ladungsspeicherung in einer Heterostruktur aufgezeigt. Durch Verwendung von metallischen SFM-Sonden konnten Ladungsdots mit einem Durchmesser von unter 150nm erzeugt und mit dem SCM aufgelöst werden. Damit kann eine bedeutend höhere Datendichte erzeugt werden, als sie z.z. in konventionellen Datenspeichern realisiert ist. Da SPMs mit kleinen Relativgeschwindigkeiten (einige $\mu\text{m/s}$) zwischen Sonde und Probe arbeiten, können mit ihnen auch keine hohen Datentransferraten erreicht werden. Um das Potential der SPMs hinsichtlich ihrer Verwendung als UHDS-Device richtig einschätzen zu können, wurden zwei Prototypen entwickelt, die sich durch das Erreichen einer hohen Relativgeschwindigkeit zwischen Sonde und Probe auszeichnen. Beide werden im Abschnitt 3.1.2 präsentiert. Beim ersten Prototyp wurde die Sonde durch die mechanische Stabilität des Aufbaus auf der Datenspur (engl. Track) gehalten (passives Tracking). Mit dem zweiten Prototyp soll ein automatisches Tracking-System (Autotracking) realisiert werden.

Der Schwerpunkt liegt in dieser Arbeit – entsprechend dem gesteckten Rahmen – auf der Rasterkapazitätsmikroskopie. Dennoch wird auch allgemein deutlich werden, welche Probleme mit Rastersondenmethoden auftreten, wie die konkrete Weiterentwicklung auszusehen hat und welches großes Potential in dieser Mikroskopieart für die Nanotechnologie steckt.

3.1 Rastersondenmethoden für die Speichertechnologie

Es besteht Einigkeit darüber, dass die Grenzen der konventionellen Datenspeichertechnik in den nächsten Jahren erreicht werden (siehe z.B. die hervorragende Übersichtsstudie [FDST]).

Die realisierte Datendichte bei magnetischen Massenspeichern stieg in den letzten Jahrzehnten exponentiell an (siehe Bild 92) und nähert sich rapide der physikalischen Grenze des Super-Paramagnetismus, die ungefähr bei 100Gbits/in² liegt. Diese Grenze ist durch die magnetische Struktur der Probe bestimmt.

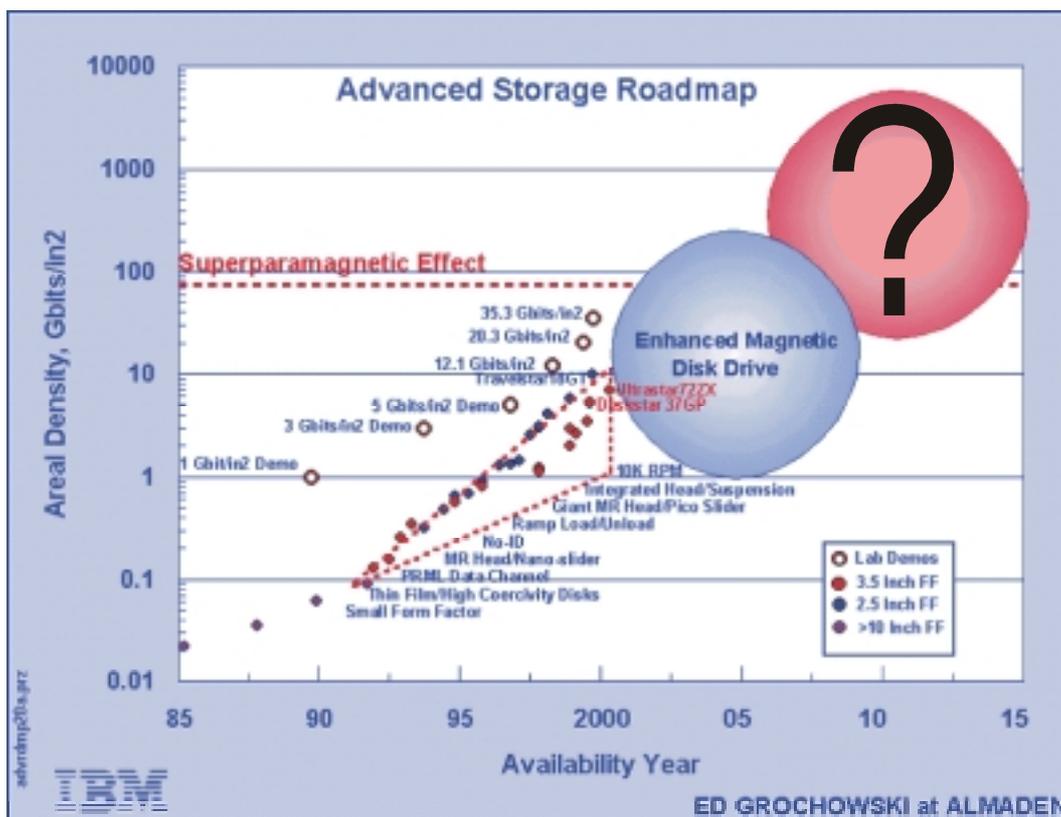


Bild 92: Voraussichtliche Entwicklung der mit magnetischen Speichern erreichten Datendichte {IBM}.

Bei den optischen Speichern ergibt sich die Beschränkung durch die Sonde. Die minimal aufzulösenden Strukturgrößen sind durch das Abbe-Kriterium [Abb73] gegeben:

$$\Delta x \approx \frac{\lambda}{2 \cdot NA} \quad (22)$$

Damit ist die minimale Auflösung proportional zur Wellenlänge und umgekehrt proportional zur numerischen Apertur. Die CD-ROM arbeitet z.B. mit einer Wellenlänge von 685nm (rotes Licht) und einer numerischen Apertur von 0.65. Damit ergibt sich eine minimale Auflösung von 0.53µm. Die zukünftigen konventionellen optischen

Massenspeicher werden wahrscheinlich mit einer Wellenlänge von 430nm (blaues Licht) und einer Apertur von 0.85 arbeiten und damit minimale Strukturen von 240nm auflösen können. Damit liegt die – mit optischer Speichertechnologie – erreichbare Datendichte noch unterhalb derjenigen, die mit magnetischer Datenspeichertechnik erreicht werden kann.

Auf der einen Seite verlangen speicherintensive Anwendungen immer größere Kapazitäten und damit auch höhere Datendichten. Für das Jahr 2005 wird für hochqualitative Videofilme eine benötigte Speicherkapazität von 36GB prognostiziert [FDST]. Diese Anforderungen können von keiner heute bekannten Datenspeichertechnik erfüllt werden.

Damit stellt sich die Frage nach der langfristigen Perspektive in der Datenspeichertechnologie. Bild 93 zeigt drei mögliche Wege: Einmal kann durch ein Speichern von mehreren Werten (Bits) in einer physikalischen Speichereinheit (Pit) eine Vervielfachung erzielt werden. Würde im gesamten Medium und nicht nur an der Oberfläche gespeichert, wie es z.B. bei der Holografie realisiert ist, könnte ein Faktor 500 erreicht werden. Eine Steigerung um den Faktor 1000 ist allerdings nur durch eine Reduzierung der Pit-Größe möglich. Die Abbildung bzw. Erzeugung kleinster Strukturen ist genau die Domäne der Rastersondenmikroskopie.

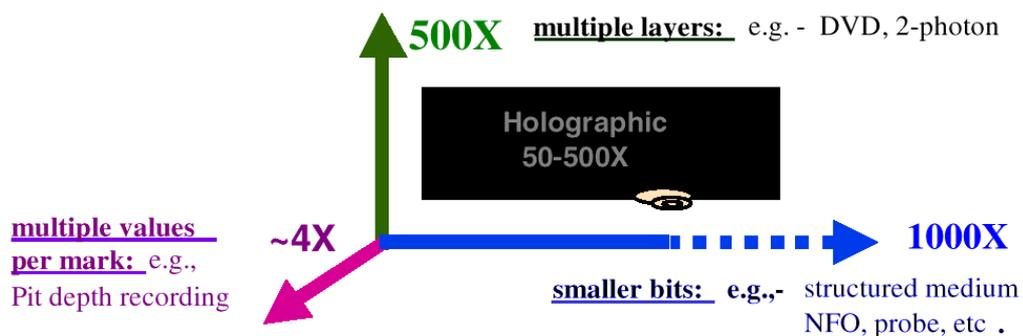


Bild 93: Denkbare Entwicklungswege zu höheren Datendichten [FDST].

Aus diesem Grunde wurde die Realisierung eines UHDS-Systems, das auf Rastersondenmethoden basiert, schon frühzeitig propagiert.

Um diese Möglichkeit realistischer beurteilen zu können, muss zuerst ein Prototyp eines UHDS-SPMs aufgebaut werden. Seine Entwicklung wird im Folgenden beschrieben.

Ultra-High-Density-Storage-Systeme

Als Speichermethode für das UHDS-System fiel die Wahl auf die Ladungsspeicherung, die zwei große Vorteile besitzt: Erstens verändert der Speichervorgang nicht die Topografie der Probe, und zweitens ist der Prozess reversibel. D.h. Ladungen, die mit einer bestimmten Spannung in die Probe hineingeschrieben werden, können mit einer Spannung mit entgegengesetzter Polarität wieder entfernt werden (Auf den Vorteil bzgl. der Topografie-Unabhängigkeit wird in 3.1.2 eingegangen).

Einzelheiten zu dieser Art der Speicherung sind in der Diplomarbeit [Bor96] ausführlich dargelegt. Hier sollen – nach einer kurzen Vorstellung des Prinzips – nur die Ergebnisse vorgestellt werden, die über die Diplomarbeit hinausgehen.

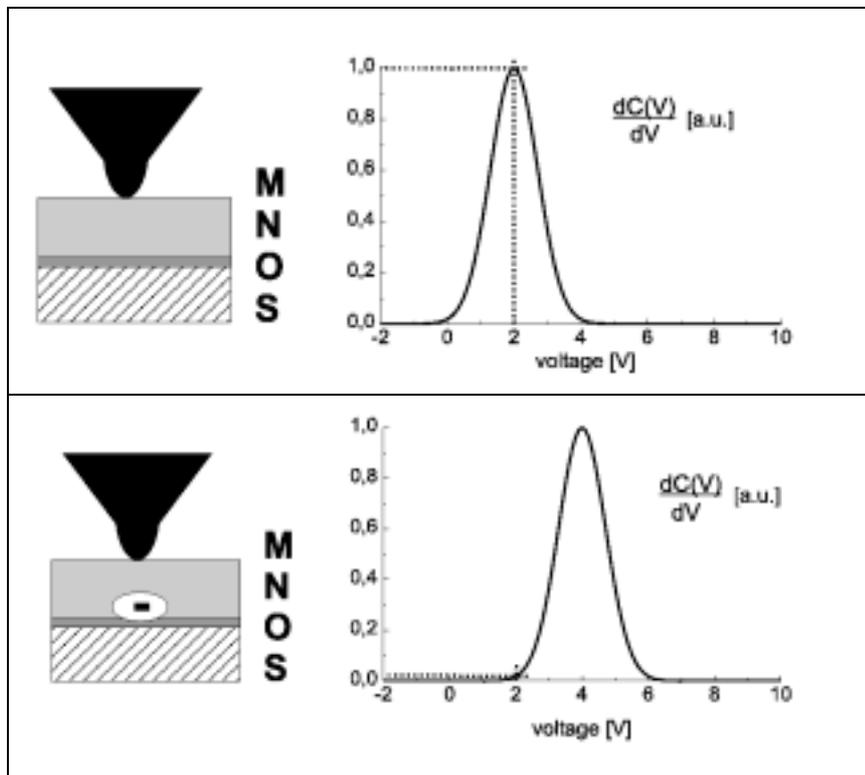


Bild 94: Prinzip der Detektion von Ladungen in einer NOS-Struktur.

Als Probe wurde eine Siliziumnitrid-Siliziumdioxid-Silizium-Heterostruktur (NOS) verwendet. Die Dicke der Siliziumnitridschicht betrug $d_{\text{Si}_3\text{N}_4}=50\text{nm}$, die der Siliziumdioxidschicht $d_{\text{SiO}_2}=5\text{nm}$ und die p-Dotierung des Siliziumsubstrats lag bei 10^{16}cm^{-3} . Erzeugt wurden die Ladungsdots mit einer leitfähigen Sonde eines SFMs. Die Sonde wurde – im Contact-Mode – an die gewünschte Stelle auf der NOS-Probe gebracht.

Durch das Anlegen eines Spannungspulses von typischerweise 40V und 10 μ s konnten dann Ladungen ins Oxid geschrieben werden.

Die so erzeugten Ladungsstrukturen konnten mit dem SCM abgebildet werden. In Bild 94 sind dC/dV-V-Kurven ohne und mit Ladungsdot dargestellt. Die zusätzlichen Ladungen bewirken folglich eine Verschiebung der Messkurve (in Bild 94 um 2V). Wird bei einer konstanten Biasspannung von $V_{\text{bias}}=2\text{V}$ gemessen, so kann ein maximales Signal im SCM-Bild erreicht werden.

Bild 95 zeigt, dass eine großflächige Strukturierung mit Ladungsdots möglich ist und dass die Topografie durch den Speichervorgang nicht in Mitleidenschaft gezogen wird. Mitunter konnten direkt nach einer Ladungs-Strukturierung keine einzelnen Dots aufgelöst werden. Dies lag an einer Überflutung der Oberfläche mit Ladungen durch die Sonde. Diese Ladungen wurden nicht in dem Nitrid, sondern auf dem Nitrid deponiert und beeinflussten so das SCM-Signal (siehe 2.2.2). Nach ein paar Minuten oder Stunden, je nach Oberflächenpräparation und relativer Luftfeuchtigkeit, konnte keine Beeinflussung des SCM-Signals mehr nachgewiesen werden.

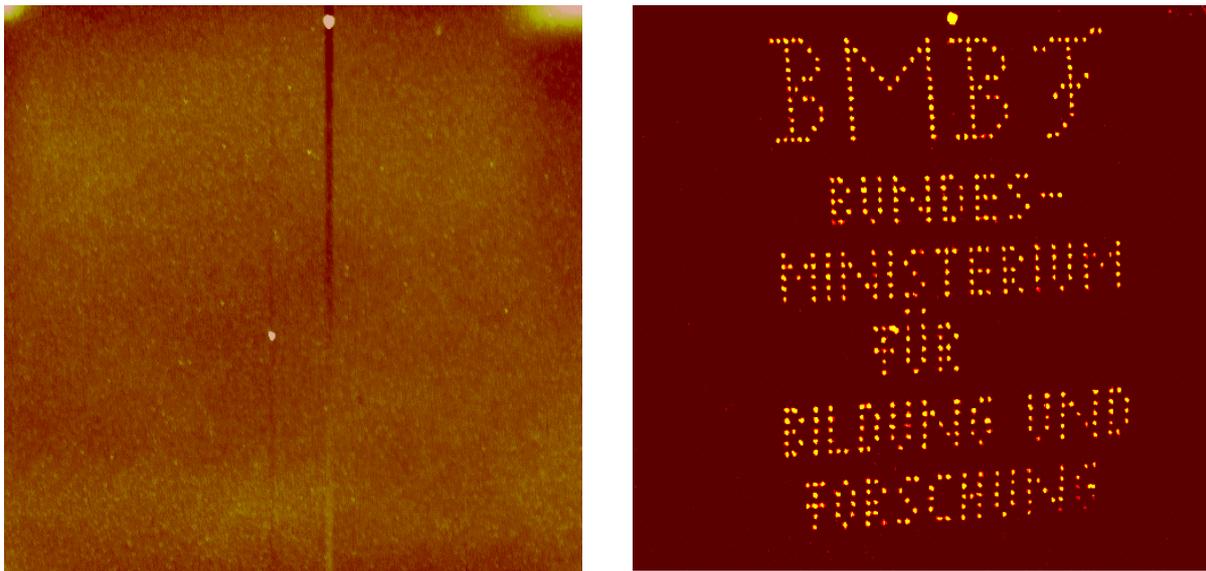


Bild 95: Beispiel für eine Ladungs-Strukturierung. Links Topografie , rechts SCM-Signal (30 \times 30 μm^2).

Nach den Untersuchungen besaßen hingegen die Ladungen, die in das Nitrid gespeichert wurden, eine sehr hohe Langzeitstabilität. Mehrere Monate alte Proben konnten mit derselben Qualität abgebildet werden, wie kurz nach der Speicherung. IBM, die ähnliche Untersuchungen anstellten [Ter93], gaben als Halbwertszeit sogar 1 Million Jahre an. Hier wird allerdings nur die thermische Stabilität berücksichtigt. Jedoch können durch Ionen und Feuchtigkeit aus der Umgebung die Ladungsdots

auch neutralisiert werden. Eine von mir durchgeführte Untersuchung in ionischer Lösung zeigte eine Entladezeit von einigen Stunden. Kommt es also auf eine lange Speicherzeit an, müssen die entsprechenden Umgebungsbedingungen geschaffen werden.

Neben der Langzeitstabilität interessiert auch die maximal erreichbare Datendichte, bzw. die minimal erreichbare Strukturgröße. Experimentell konnte in dieser Arbeit eine minimale Breite von 150nm erzielt werden. Um weiterführende Aussagen zur Speicherdichte machen zu können, wurden Simulationen mit dem Device-Simulator TCAD (ISE) durchgeführt. Eine Simulation einer SCM-Rasterlinie über einen Ladungsdot ist in Bild 96 wiedergegeben. Ein großer Vorteil der Simulation ist die genaue Definition der Breite des Dots und der Anzahl an Ladungen in dem Dot. In Bild 96 betrug die Dot-Breite 50nm. In dem Dot – der genau an der Grenzfläche $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiO}_2$ definiert wurde – befanden sich 107 positive Ladungen. Die Ausdehnung, des simulierten SCM-Signal lag hingegen bei 400nm.

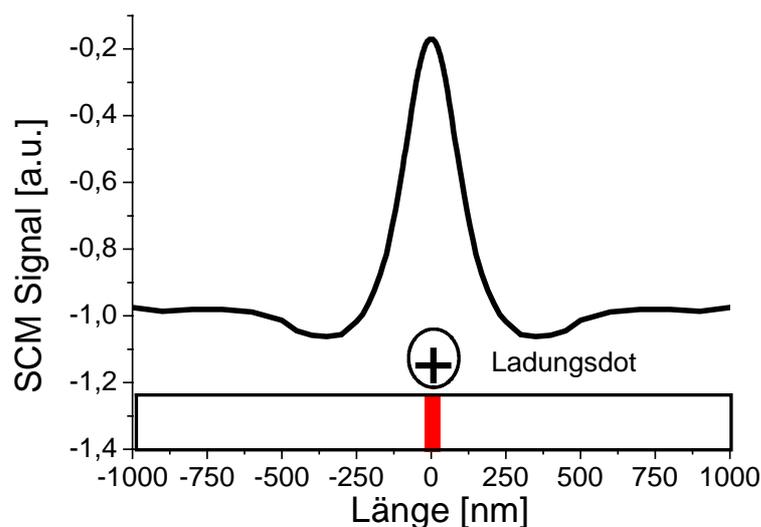


Bild 96: Simulation einer SCM-Rasterlinie (dC/dV -x mit $V_{bias}=0V$) über einen Ladungsdot, der 107 positive Elementar-Ladungen enthält.

Diese immense Ausdehnung ist auf die – durch den Dot erzeugte – große Raumladungszone (SCR) im Silizium zurückzuführen. Wegen der niedrigen Dotierung, ist die Ausdehnung der SCR groß. Eine höhere Dotierung würde in einer kleineren SCR resultieren und damit die laterale Auflösung deutlich verbessern. Allerdings würde auch das Signal deutlich reduziert werden.

Bei dem im anschließenden Abschnitt 3.1.1 vorgestellten High-Speed-System wird die Kapazität direkt gemessen (und nicht wie beim SCM dC/dV). Bild 97 verdeutlicht

den Einfluss eines Ladungsdots mit einem Durchmesser von 50nm, der 107 positive bzw. negative Elementarladungen enthält, auf die C-V-Kurve. Anhand dieser Kurve kann die Biasspannung ausgesucht werden, die das maximale Differenzsignal ergibt.

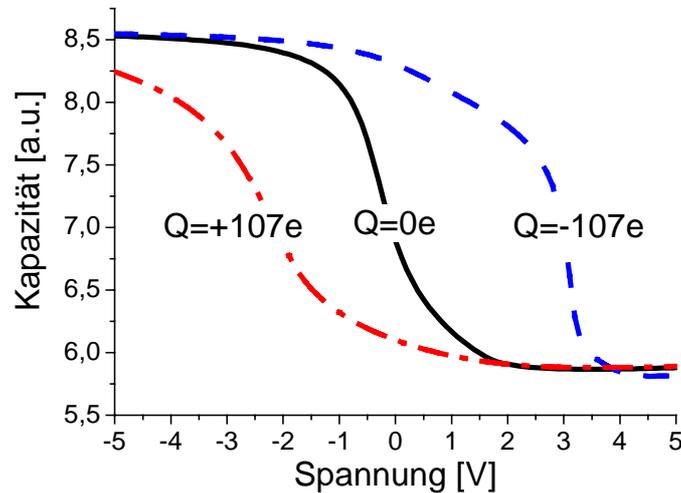


Bild 97: Simulation einer C-V-Kurve über einen positiv-, einen negativ- und einen ungeladenen Dot.

Dass die Biasspannung auch die laterale Auflösung beeinflusst zeigt Abbildung 98. Die linken Kurven zeigen Simulationsergebnisse von Rasterlinien ($C(V_{bias})-x$) über positive, die rechten Kurven über negative Ladungsdots mit unterschiedlichen Biasspannungen.

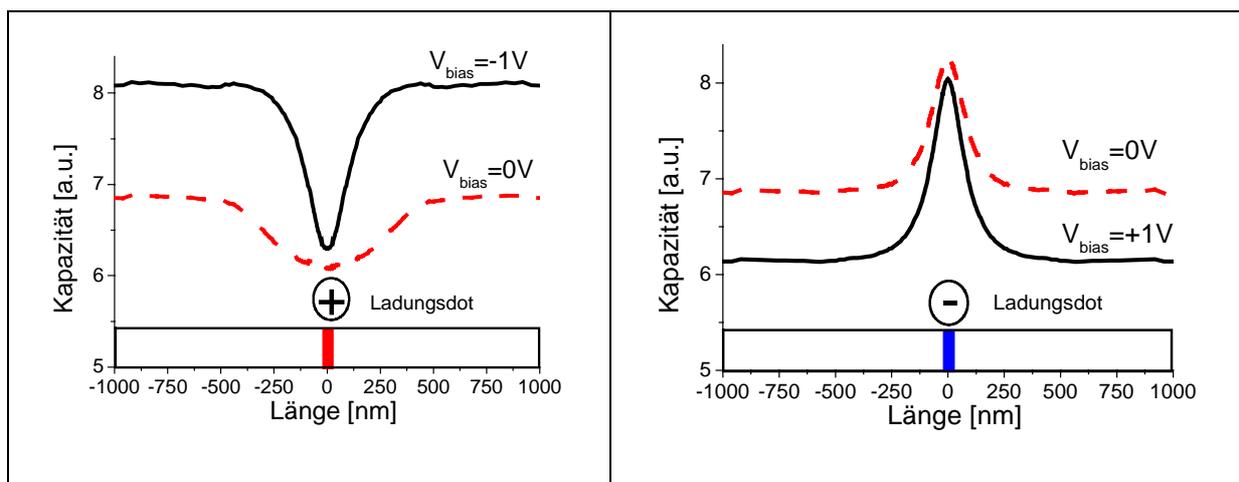


Bild 98: Simulation einer $C(V_{bias})-x$ -Rasterlinie über einen positiv (links) bzw. negativ (rechts) geladenen Dot mit verschiedenen Biasspannungen.

Besonders beim positiven Dot kann zwischen $V_{bias}=0V$ und $V_{bias}=-1V$ eine deutliche Verbesserung sowohl bei der lateralen Auflösung, als auch bei der Signalstärke

festgestellt werden. Trotzdem liegt die gemessene Ausdehnung des 50nm breiten Dots minimal bei 250nm FWHM (Full Width at Half Maximum). Dadurch können z.B. drei positiv geladene Dots mit einem Durchmesser von 50nm und einem Abstand von 300nm nicht mehr aufgelöst werden (Bild 99).

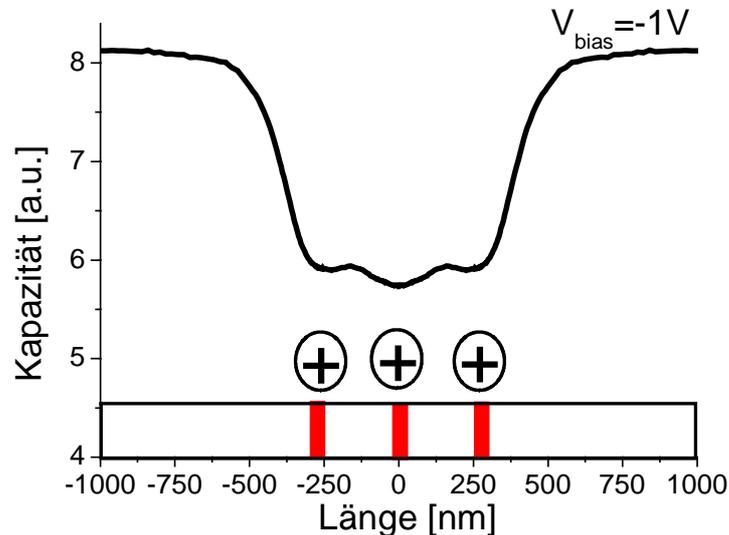


Bild 99: Simulation einer $C(V_{bias})$ -x-Rasterlinie über drei positiv geladene Dots bei einer Biasspannung von $V_{bias} = -1V$.

Überlegungen bzgl. der Möglichkeiten einer Verbesserung der lateralen Auflösung führten zu der Idee die Probe vorzuladen. D.h.: Als ein erster Schritt wird die Probe flächendeckend negativ vorgeladen und dann mit positiven Ladungsdots strukturiert.

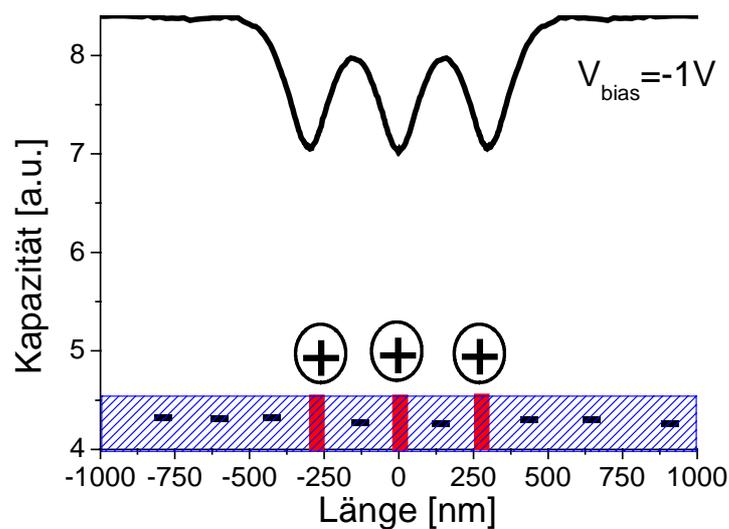


Bild 100: Simulation einer $C(V_{bias})$ -x-Rasterlinie über drei positiv geladene Dots bei einer Biasspannung von $V_{bias} = -1V$, bei der die Probe negativ vorgeladen wurde (mit einer Ladungsdichte von $\rho = -4.3 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$).

Mit dieser Methode können die drei oben beschriebenen positiven Ladungsdots klar aufgelöst werden, wie Abbildung 100 zeigt. Allerdings sinkt auch das Signal.

Wie kann die Probe weiter optimiert werden? Eine Verbesserung der Signalstärke kann durch eine Verringerung der Schichtdicke oder durch eine Erhöhung der Dielektrizitätskonstante ϵ des Isolators erreicht werden. Zur Realisierung der zweiten Option muss natürlich ein anderes Material mit einem möglichst großen ϵ -Wert verwendet werden. Eine Idee bestand in der Verwendung von PZT (Blei-Zirkonat-Titanat, $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$), einer ferroelektrischen Keramik, die mit einer Dielektrizitätskonstante von über 1000 hergestellt werden kann. Zudem könnte man Informationen dann anstelle der Ladungsdots durch ein Umklappen der ferroelektrischen Domänen speichern. Leider zeigten unsere Untersuchungen an PZT-Schichten, dass diese Keramik eine extrem raue Oberfläche besitzt. Zudem konnten auf Silizium noch keine hohen Dielektrizitätskonstanten mit PZT erreicht werden, obwohl die HL-Industrie an solchen Schichten stark interessiert und die Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet dementsprechend hoch ist [Sco95].

Eine andere Möglichkeit für die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses besteht in der Reduzierung der Schichtdicke. Dann sinken aber auch Trap-Dichte (und damit die mögliche Ladungsdichte) und Langzeitstabilität. Letztere kann durch eine Optimierung der Probenstruktur verbessert werden: Likharev zeigte mit der Berechnung von Fowler-Nordheim-Tunnelströmen durch verschiedene Isolator-Schichtsysteme die Möglichkeit auf, wie eine starke Asymmetrie zwischen Belade- und Entlade-Spannung zu erreichen ist [Lik98, Lik99]. Dadurch könnte auch die bei unserer Probenstruktur, extrem hohe Schreibspannung von 40V drastisch gesenkt werden.

Die Trap-Dichte in dünnen Dielektrika lässt sich auf einem recht einfachen Weg erhöhen: In das Dielektrikum werden Cluster eines anderen Materials eingebettet. Dies konnte schon realisiert und für die Ladungsspeicherung eingesetzt werden (Siliziumcluster in Siliziumdioxid [Tiw96], Kobalt in Siliziumdioxid [Scha99]).

Bedeutend für eine Verwendung als Basistechnologie für einen Massenspeicher ist die Reduzierung des Verschleißes zwischen Sonde und Probe. Durch die Härte und Rauigkeit der Siliziumnitrid-Schicht und durch die großen elektrischen Spannungen/Ströme wird die Sonde extrem beansprucht. Dies führt zu einem schnellen

Verschleiß und damit zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche (Auflageradius) der Sonde. Damit erhöht sich natürlich auch die Größe der erzeugten Ladungsdots. Eine Lösung dieser Verschleiß-Problematik besteht eventuell in der Verwendung von Metallclustern, die in einer Polymermatrix eingebettet sind (Modellskizze siehe Bild 101). Die entsprechenden Proben werden zz. am Lehrstuhl Chemie (Prof. Möller) der Universität Ulm präpariert und sollen demnächst untersucht werden.

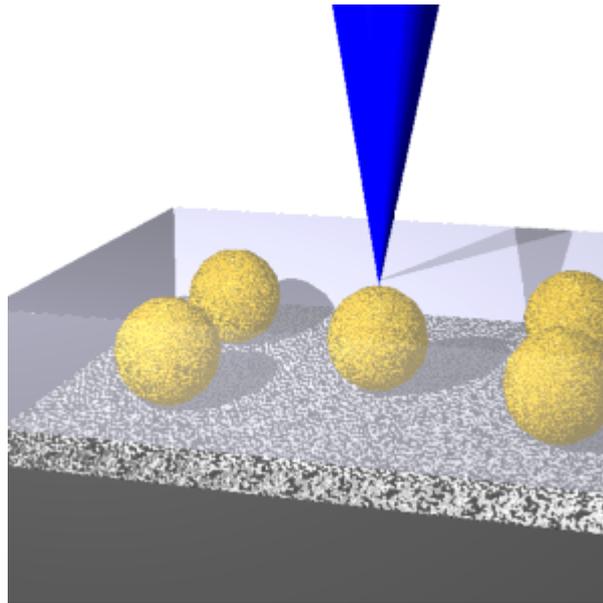


Bild 101: Modell der Ladungsspeicherung in Metallcluster, die in einer Polymermatrix eingebettet sind.

Als Ausblick soll noch auf die Möglichkeit hingewiesen werden, dass sich durch eine entsprechende Strukturierung der Oberfläche mit Ladungsdots, geladene Teilchen aufbringen und fixieren lassen. Durch die Erzeugung der entsprechenden Potentiallandschaft ließen sich sogar gezielt auch biologische Moleküle mit der adäquaten Oberflächenpotential-Struktur anlagern [Wri98]. Dies würde ein weites Feld für die Nanochemie und Nanobiologie eröffnen.

3.1.1 High-Speed-Systeme

Wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt wurde, lassen sich mit Rastersondenmethoden Strukturen im Nanometer-Bereich und damit eine extrem hohe Datendichte erzeugen. Von einem Massenspeicher der Zukunft wird aber zusätzlich noch eine hohe Datentransferrate erwartet. Um diese zu erreichen gibt es zwei Wege: Einmal kann von einer Raster- zu einer Rotationsbewegung der Probe übergegangen werden. Zum anderen kann man eine große Anzahl von miniaturisierten SPMs parallel einsetzen. Kürzlich wurde ein Feld von 32×32 Cantilevern vorgestellt [Vet99]. Die Schwierigkeit dieses Ansatzes liegt in der reproduzierbaren Herstellung von z.B. 1024 gleich guten Sondenspitzen. Zudem muss eine Methode entwickelt werden, die die intelligente Verteilung der Daten erlaubt. Denn nur wenn die Daten optimal auf die Subsysteme verteilt sind, kann mit einer entsprechenden Steigerung der Datenrate des Gesamtsystems gerechnet werden.

Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die erste Möglichkeit: den Aufbau eines Rotationssystems. Bild 102 zeigt den schon in der Diplomarbeit entwickelten ersten Prototypen.

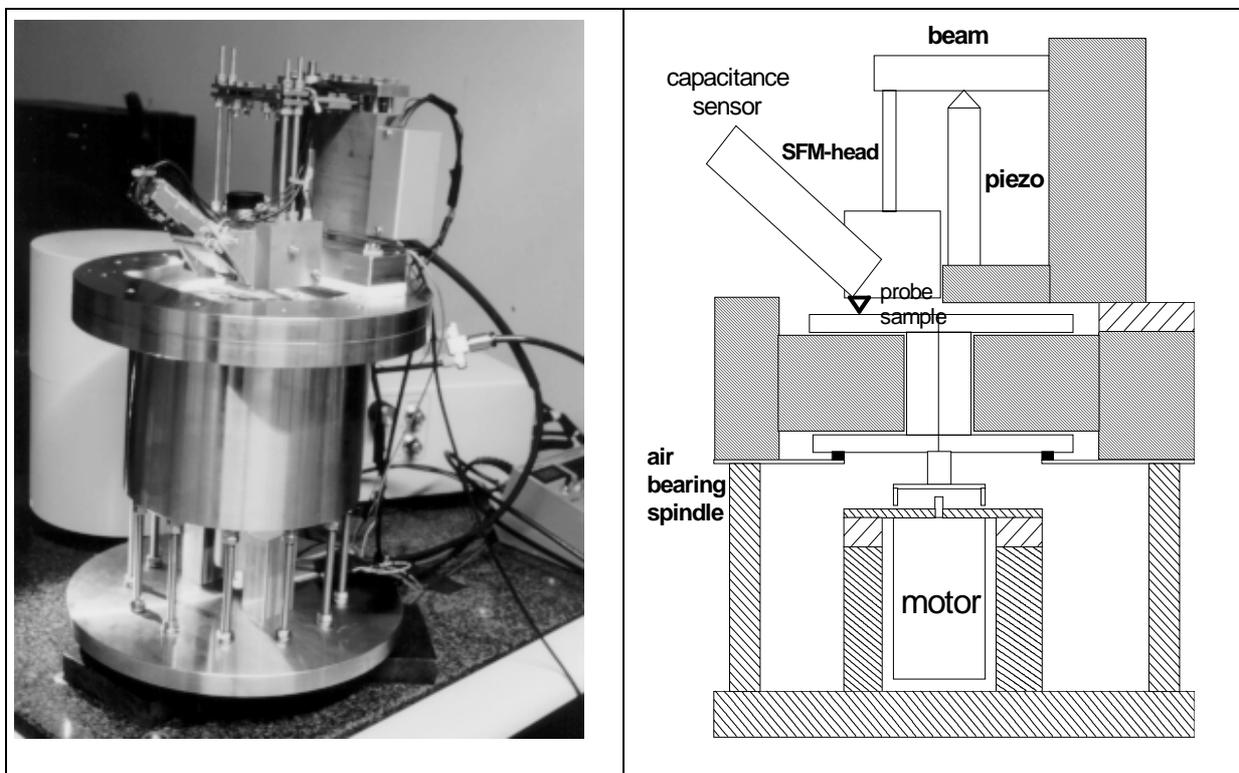


Bild 102: Aufnahme und Schemazeichnung des ersten Prototyps eines High-Speed-Systems, das auf der Rasterkapazitätsmikroskopie basiert.

Der Diplomarbeit [Bor96] können auch Einzelheiten bzgl. der Konstruktion und des Aufbaus entnommen werden. Im Laufe der Entstehung der vorliegenden Arbeit konnte dieser Prototyp in Betrieb genommen werden.

Als zugrunde liegende Speichertechnik wurde die Ladungsspeicherung gewählt (siehe 3.1.1). Die Ladungen wurden bei niedriger Drehzahl des Luftlagers in die Probe hineingeschrieben. Ein externer PC sorgte dafür, dass die Daten nur während einer Umdrehung geschrieben wurden. Denn die Sonde wird nur durch die mechanisch sehr stabile Konstruktion – quasi passiv – auf einer Spur gehalten (die Schwankungen der Achse des Luftlagers betragen nur einige 100nm). Deshalb muss der Schreibvorgang nach einer Umdrehung abgebrochen werden. Anschließend können die Daten per Kapazitätssensor ausgelesen und die Umdrehungszahl gesteigert werden.

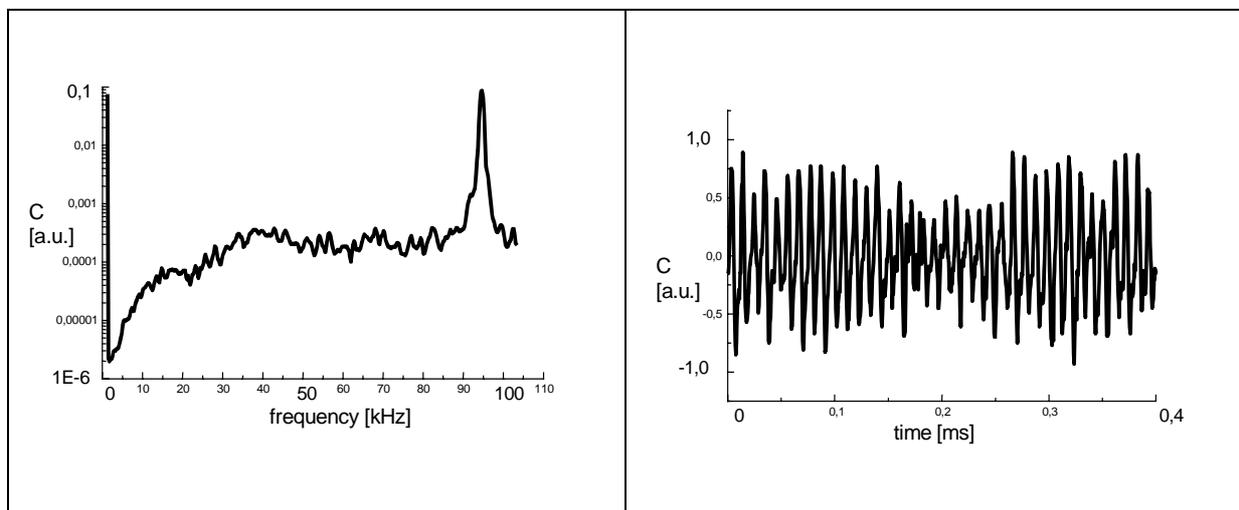


Bild 103: Spektrum der erreichten Datentransferrate.

Als Signal des High-Speed-Systems wird die Kapazität direkt gemessen, da die Bandbreite bzw. Zeitkonstante eines Lock-In-Verstärkers zu gering für die erreichte hohe Datentransferrate ist. Ohne Modulationstechnik wird das Signal-Rausch-Verhältnis entscheidend schlechter. Allerdings konnte in der Messung, die zu Bild 103 führte, ein Signal-Rausch-Verhältnis von beinahe 60dB erreicht werden.

Nach der Datenspur-Aufzeichnung mit dem High-Speed-System wurde die Probe mit einem SCM untersucht. Es gelang, die Datenspuren auf der Probe mit dem SCM wiederzufinden und zu analysieren. Dabei zeigte sich, dass die Breite der Ladungsstrukturen bei einigen μm lag. Kleinere Datenstrukturen mit hohen Datentransferraten konnten nicht erzielt werden. Dies ist auf die Verwendung eines metallischen Cantilevers und einer harten Probenoberfläche zurückzuführen. Bei

großen Relativgeschwindigkeiten von einigen m/s wird der Cantilever schon binnen Sekunden abgeschliffen.

Um dieses System zu optimieren und damit einer möglichen kommerziellen Nutzung zuzuführen, müssen die Sonde, die Probe und der Sensor der Anwendung angepasst werden. Hier sollte man sich an den schon vorhandenen Lösungen aus kommerziellen Produkten orientieren. Aus dem Bereich der magnetischen Speicherung stellen die Schreib-Leseköpfe ein hervorragendes Beispiel dafür dar: Nicht nur der Sensor wurde entscheidend verbessert, auch das Flugverhalten wurde optimiert, so dass die mittlere Flughöhe in modernen Festplatten nur noch einige 10nm beträgt. Dies stellt wiederum hohe Ansprüche an die Probe (u.a. an die Rauigkeit und Härte der Oberfläche).

Insgesamt können mit dem oben beschriebenen Prototypen – selbst mit optimierten Sonden und Proben – keine ultra-hohen Datendichten erzielt werden, da die Sonde nur mit einer Genauigkeit von in etwa $\pm 1\mu\text{m}$ auf der Spur gehalten werden kann. Sollen Strukturen unter $1\mu\text{m}$ erzeugt werden, so muss ein Verfahren entwickelt werden, mit dem die Sonde automatisch – aktiv – auf der Spur gehalten werden kann. Für die Entwicklung eines sogenannten Auto-Tracking-Systems (ATS) wurde, aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Umgang mit dem ersten Prototyp, ein zweiter entwickelt. Dieser ist in Bild 104 abgebildet. Eine Skizze liefert Bild 105.

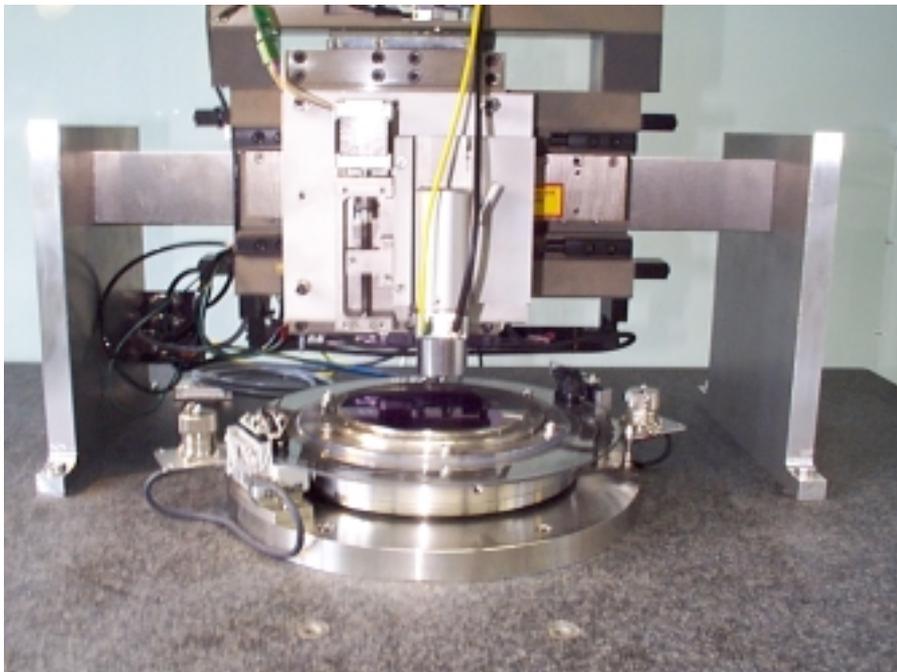


Bild 104: Ansicht des zweiten Prototyps.

Die Position des Rotations- bzw. des Linear-Luftlagers kann über einen Glasmaßstab mit einer Genauigkeit von einem 100stel Grad bzw. von 120nm gemessen werden. Damit ist es möglich, das System für eine Vorstrukturierung der Probe einzusetzen. Mit der entsprechenden Genauigkeit könnten dann sogenannte Servo-Informationen auf der Probe erzeugt werden. Sie sollen bei hohen Datentransferraten dem Auto-Tracking-System helfen, auf der Spur zu bleiben (eine weitere Möglichkeit einer Realisation eines ATS bestünde in der Verwendung eines Kamms von Cantilevern, von denen einige nur für das Tracking genutzt werden).

Der zweite Prototyp befindet sich noch in der Aufbauphase, allerdings ist mit den ersten Testmessungen in nächster Zeit zu rechnen.

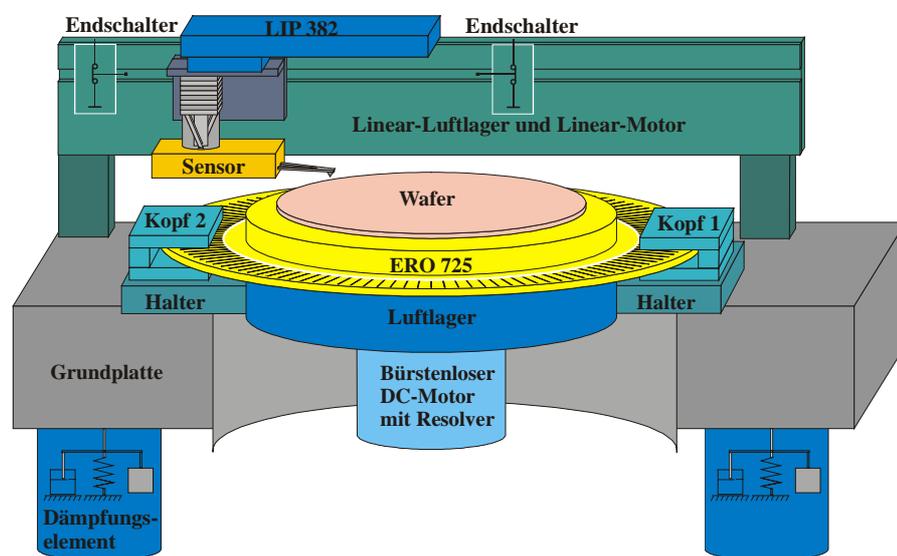


Bild 105: Prinzipskizze des zweiten Prototyps eines High-Speed-Systems..

Bereits der aktuelle Stand der Dinge vermittelt einen Eindruck des großen Potentials eines High-Speed-Systems, das auf der Rastersondenmikroskopie basiert. Mit immer kleiner werdender Strukturgröße treten in der kommerziellen Datenspeichertechnologie dieselben Probleme auf, die sich heute schon an dem zweiten Prototypen aufzeigen lassen (z.B. das Auto-Tracking-System: IBM erprobt mittlerweile den Einsatz von Mikroaktuatoren, mit denen der Schreib-Lesekopf einer Festplatte der Datenspur nachgeführt werden soll). Damit liefert der Aufbau dieses Prototypen auch Know-How, das in einer Speichertechnologie der Zukunft dringend gebraucht wird.