

RASTERTUNNELMIKROSKOP IM SELBSTBAU
SOWAS PRAKTIKUM HERBST 2010

Erläuterungen zum Rastertunnelmikroskop und Optimierungsmöglichkeiten

JUDITH GOLDA, CHRISTIAN KLUMP, CHRISTIAN SCHULTE-BRAUCKS

1 INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|---|--|---|
| 1 | Inhaltsverzeichnis..... | 2 |
| 2 | Durchführung einer Messung..... | 3 |
| 3 | Funktionsweise der Software STM-Steuerung..... | 4 |
| 4 | Inbetriebnahme der Steuerung..... | 5 |
| 5 | Bedienung der Steuerungssoftware..... | 5 |
| 6 | Ausblick..... | 6 |

2 DURCHFÜHRUNG EINER MESSUNG

Zunächst sollen kurz die erforderlichen Vorbereitungen zum Start einer Messung beschrieben werden. Die Einstellungen der Software werden allerdings hier ausgelassen und in Abschnitt 4 und 5 beschrieben. Will man an der Schaltung etwas ändern, ist zu beachten, dass die gedruckten und als Eagle-Dateien bereitgestellten Schaltpläne nicht mehr der aktuellen Version entsprechen. Die vorgenommenen Änderungen wurden in den ausgedruckten Schaltplänen, die sich im Projektordner befinden, per Hand ergänzt.

VERKABELUNG

Die mit x , y und z bezeichneten und die unbeschriftete BNC-Buchse gehen zur Anschlussbox der LabVIEW-Messkarte an beliebige analoge Ein-/Ausgänge. Die gewählten Anschlüsse müssen dann in den entsprechenden DAQ-Assistenten im HauptVI eingestellt werden (siehe Abschnitt 4). Dabei ist zu beachten, dass x und y (vom Computer aus gesehen) Ausgänge und z und die unbeschriftete Buchse Eingänge sind. Die unbeschriftete BNC-Buchse dient zum Messen der Biasspannung. An der mit *I-Out* bezeichneten BNC-Buchse liegt eine Spannung in V an, die dem Tunnelstrom in nA entspricht. Diese kann auf einem Oszilloskop angezeigt werden. Der Vorverstärker wird auf der einen Seite mit einer BNC-Kupplung mit dem kurzen Kabel, das vom Messkopf kommt verbunden und auf der anderen Seite mit einem gewöhnlichen, möglichst kurzen Cat5-Netzwerkkabel (kein Cross-Kabel) mit der entsprechenden Buchse an der Reglerbox verbunden. Das dicke Kabel mit der sechspoligen Buchse wird mit der Beschriftung *oben* nach oben an den sechspoligen Stecker am Messkopf gesteckt. Das zweiadrige Kabel führt die Biasspannung und wird an den zweipoligen Stecker, der sich auf der Grundplatte befindet, gesteckt. Hierbei auf die Farbcodierung achten. Alle Massen sind verbunden; Verpolung führt zum Kurzschluss. Die drei Bananenbuchsen sind für die Spannungsversorgung. Es wird eine symmetrische Spannungsversorgung von mindestens $\pm 14V$ benötigt. Die genaue Höhe der Spannung ist unkritisch, da sie mit 78L12 bzw. 79L12 auf genau $\pm 12V$ geregelt wird, allerdings entsteht mit steigender Eingangsspannung die an den Regler-ICs entstehende Abwärme und sollte daher $\pm 20V$ nicht überschreiten. Die schwarze Buchse ist für die Masse, die rote für die positive Spannung, die blaue für die negative Spannung.

VORBEREITUNG

Zunächst muss eine Messspitze gerissen werden. Dazu hält man den Platin-Iridium-Draht ein Stück vor dem Ende mit einer Kombi- oder Spitzzange fest und zieht mit einem scharfen Saitenschneider bei wenig Druck (also unbedingt ohne den Draht abzukneifen) so feste, dass er abreißt. Die so entstandene Spitze wird jetzt in die hohle Seite eines Beinchens aus einem IC-Sockel eingeführt und dieser zugeedrückt, sodass die Spitze fixiert ist. Mit der anderen Seite des Sockel-Beinchens kann man die Spitze nun im Spitzenhalter fixieren. Beim Umgang mit dem Draht und der Spitze sollten alle Werkzeuge vorher mit Alkohol gereinigt werden und am besten Einmalhandschuhe getragen werden. Natürlich darf die Spitze nicht mit anderen Gegenständen in Kontakt kommen, da sie sonst sofort stumpf ist.

Eine Probe sollte auf einem ferromagnetischen Halter mechanisch und elektrisch kontaktiert werden. Die einfachste Möglichkeit ist, die Probe mit Leitsilber auf einer Unterlegscheibe zu befestigen. Dann kann sie einfach auf die Metallfolie auf dem Kontaktmagneten gelegt werden. (Achtung, scharf! Bei dieser handelt es sich um eine Rasierklinge, da alle dickeren Metallfolien das Magnetfeld zu sehr abschirmen.)

ANNÄHERUNGSPROZESS

Nun kann man mit dem Annähern von Spitze und Probe beginnen. Dazu sollte das LabVIEW-Programm schon laufen, also Biasspannung und vor allem z-Spannung anzeigen. Diese wird zunächst am rechten Anschlag stehen, da der z-Piezo vollständig ausgedehnt ist. Außerdem ist es hilfreich, sich den Tunnelstrom auf einem Oszilloskop anzeigen zu lassen. Dieser sollte zu Anfang null sein. Die rote und grüne LED am Reglerkasten sind nur eine grobe Anzeige. Zu anfang sollte die grüne LED leuchten. Die Biasspannung, das ist die Spannung zwischen Spitze und Probe, kann auf ungefähr 0,5 V eingestellt werden (Anzeige am Computer, Regler am Kasten). Der Integralgain verändert die Regelgeschwindigkeit des analogen Regelkreises (rechts langsam, links schnell). Wünschenswert ist eine schnelle Regelung, was allerdings die Schwingungsneigung verstärkt. Er kann am Anfang ungefähr in Mittelstellung gebracht werden. Nun beginnt man mit Hilfe der vorderen beiden Feintriebsschrauben die Spitze abzusenken, bis man mit bloßem Auge oder einer Lupe fast keinen Spalt mehr zwischen Spitze und Probe erkennen kann. Dann beginnt man an der hinteren Schraube (in entgegengesetzter Richtung, also rechtsherum) zu drehen, während man ständig (am besten mit mehreren Leuten) die z-Spannung und den Tunnelstrom beobachtet. Praktisch ist es, wenn man den Hebelarm an der hinteren Feintriebsschraube mit einem langen Imbusschlüssel verlängert. Sobald sich an z-Spannung oder Tunnelstrom etwas tut, verlangsamt oder stoppt man die Annäherung und justiert den Abstand so, dass die z-Spannung auf dem Computer ungefähr mit 0 V angezeigt wird. Beide LEDs am Reglerkasten sollten jetzt aus sein. Jetzt kann man mit dem Regler für den Sollstrom (am Kasten) den Tunnelstrom auf etwa 1 nA einregeln. 1 V Spannung am I-Out Ausgang bedeutet dabei 1 nA Tunnelstrom. Wenn der Tunnelstrom stark schwingt, kann man versuchen, ihn zunächst auf null zu regeln und dann langsam hochzudrehen. Außerdem kann man die Regelgeschwindigkeit mit dem Int-Gain Regler absenken. Nun kann man eine Messung starten.

3 FUNKTIONSWEISE DER SOFTWARE STM-STEUERUNG

Für die Anforderungen und das Blockdiagramm der Steuerung siehe „SOWAS-STM-Präsentation.pdf“.

HAUPT VI („STM-STEUERUNG.VI“)

Das Haupt VI besteht aus drei in einander verschachtelten While-Schleifen. Die äußerste ist für den Standby-Betrieb. Mit der Case-Struktur kann zwischen Messung und Standby hin- und hergeschaltet werden. Die innerste While-Schleife steuert den y-Piezo, die While-Schleife der nächsthöheren Ebene steuert den x-Piezo. Die Sequenzstruktur stellt sicher, dass immer erst ein x-Wert eingestellt wird, dann ein y-Wert und zuletzt die z-Spannung ausgelesen wird. Die Standby-Schleife ist dafür da, auch im Standby-Betrieb z-Spannung und Bias-spannung auszulesen, was wichtig für den Annäherungsprozess ist. LabVIEW kann offensichtlich die Hardware stets nur nacheinander ansteuern, weshalb auch in der Standby-Schleife eine Sequenzstruktur eingefügt wurde.

Liste der Sub-VIs des Haupt VI:

- **„SubVi bündeln Messdaten Array.vi“**
Auf dem Frontpanel werden alle wichtigen Steuerungsparameter eingegeben. Die Parameter und Zusatzinformationen werden im „Sub Vi bündeln Messdaten Array“ zu einem String-Array gebündelt und an das „save_to_zip.Vi“ weitergegeben.
- **„xyz-Daten Array Initialisierung.vi“**
Initialisiert das xyz-Daten Array mit Größe je nach Auflösung der Messung

- **„xy-Schrittweitenregelung.vi“**
Berechnet aus Auflösung und Spannungsbereich die Schrittweite des x-Piezos.
- **„Richtungssteuerung y-Piezo.vi“**
Mit Scantyp *single direction/back&forward* kann ausgewählt werden ob die Messspitze in y-Richtung hin und her fahren soll oder nach jeder Zeile zurückspringen soll. Steht der Schalter auf *back&forward* bewegt sich der y-Piezo je nachdem ob der x-Zähler gerade oder ungerade ist in die eine, oder in die andere Richtung.
- **„xyz Daten Array Schreiben.vi“**
Schreibt die x-,y-,z-Daten in das zuvor initialisierte Array.
- **„Kontrastoptimierung.vi“**
Skaliert die z-Werte anhand von Maximal- und Minimalwert auf 256 Stufen.
- **„Graustufentabelle.vi“**
Erstellt eine Graustufenfarbtabelle.
- **„3D Darstellung.vi“**
Erstellt 3D-Darstellung. Diese geht zum Frontpanel und als jpeg zum Speicher-VI.
- **„2D Darstellung.vi“**
Erstellt 2D-Darstellung und gibt diese als jpeg zum Speicher-VI.
- **„save_to_zip.vi“**
Erstellt zunächst temporäre Dateien mit Messparameter, x-Daten, y-Daten, z-Daten, 2D-Darstellung und 3D-Darstellung und bündelt diese anschließend in einem Zip-Archiv. Die Bezeichnung der Messung erfolgt automatisch nach Datum und laufender Zahl, wobei automatisch überprüft wird welche Messungen schon vorhanden sind.

ANZEIGE VI

Das AnzeigeVI kann bestehende Messungen öffnen und mittels manueller linearer Regression bearbeiten und optimieren. Die bearbeiteten Messergebnisse können anschließend abgespeichert werden.

Liste der Sub-VIs des Anzeige VI

- **„load_from_zip.vi“**
Öffnet eine Zip-Datei mit gespeicherten Messdaten und gibt x-,y-,z-Daten Arrays, Messparameter 2D- und 3D-Darstellung aus
- **„SubVi split Messdaten Array.vi“**
Splittet das Messdaten Array in die einzelnen Steuerparameter auf.
- **„autoreg.vi“**
Soll Parameter für automatische lineare Regression liefern (funktioniert nicht richtig).
- **„ebeneundmanuelleregression2.vi“**
Zieht anhand der manuell einzugebenden (bzw. den vom autoreg.vi gegeben) Parametern von den Messergebnissen eine Ebene ab, da einer Messung immer eine schiefe Ebene überlagert ist.
- **„save_to_zip.vi“**
Speichert die bearbeiteten Messdaten.

4 INBETRIEBNAHME DER STEUERUNG

In der vorliegenden Steuerungssoftware wurde die Hardwareansteuerung entfernt und durch manuelle Bedienelemente ersetzt (um die Software zu Hause zu testen). Zur Hardwareansteuerung müssen die manuellen Bedienelemente wieder durch die DAQ-Assistenten der Messkarte ersetzt werden. Es müssen x- und y-Piezo angesteuert und z-Piezo und Biasspannung ausgelesen werden.

5 BEDIENUNG DER STEUERUNGSSOFTWARE

Wird das VI ausgeführt, befindet es sich zunächst im Standby-Betrieb. Man kann z-Spannung und Biasspannung ablesen und die Spitze annähern. (siehe Durchführung einer Messung)

Vor dem Start einer Messung gibt man auf der linken Seite des Frontpanels die nötigen Messparameter ein. Dazu gehören x-Auflösung, y-Auflösung, x-Spannungsbereich, y-Spannungsbereich, Eichung und Verzögerungszeit. Es wird aus den Daten ein ungefährender Wert für die zu erwartende Dauer der Messung berechnet. Die Messspitze wird sofort nach Eingabe des Messbereiches an den Startwert verfahren. Zusätzlich kann man Zusatzinformationen und Abgaben zum Material eingeben. Sollte die Eichung des Rastertunnelmikroskops nicht bekannt sein gibt man am besten den Wert eins oder einen beliebigen anderen Wert ungleich null ein.

Wird die Messung gestartet, baut sich das Bild von links nach rechts auf. Im LineScan kann Zeile für Zeile das Höhenprofil der Probe beobachtet werden. Hier kann man während einer Messung schon beobachten ob die Messergebnisse sinnvoll sind, ob zum Beispiel eine Zeile zu Ihrer vorherigen passt.

Ist die Messung abgeschlossen, so kann man sich auch die 3D Darstellung der Oberfläche anschauen. Das VI speichert eine Messung nur, wenn sie komplett durchgelaufen ist. Wird die Messung vorher abgebrochen, so gehen die Messergebnisse verloren.

6 AUSBLICK

Mögliche Schritte zur Fertigstellung bzw. Optimierung des STM

- **Fehlersuche mit Referenzgeräten**
Die bereits begonnene systematische Fehlersuche muss weiter fortgesetzt werden, um mit dem STM Aufnahmen machen zu können. Der mechanische Aufbau sowie der Vorverstärker wurden bereits an einem externen Aufbau des Lehrstuhls von Prof. Dr. Köhler getestet und sind voll funktionsfähig.
- **Überprüfung des LabVIEW-Programms auf seine Funktionstüchtigkeit und evtl. Fehlersuche**
Das Programm konnte noch nicht vollständig auf Fehler getestet werden und eine Überprüfung ist somit notwendig.
- **Überarbeitung des analogen Regelkreises**
Hier wäre zum Beispiel eine Logarithmierung der Tunnelspannung sinnvoll, da diese exponentiell vom Abstand abhängt und so evtl. abrupte Änderungen und damit Schwingungsvorgänge vermieden werden können.
- **geringerer Verstärkungsfaktor**
Um größere Stabilität zu erhalten, sollte man einen geringeren Verstärkungsfaktor in Betracht ziehen.
- **Speicherung von Regelgeschwindigkeit und Sollstrom**
Zur Optimierung der Messdaten sollten Regelgeschwindigkeit- und Sollstrom-Einstellungen direkt mit den Messergebnissen gespeichert werden, um eine bessere Dokumentation und Reproduzierbarkeit zu erreichen.
- **Steuerkarte mit drei Ausgängen**
Eine Steuerkarte mit drei Ausgängen würde evtl. den analogen Regelkreis überflüssig machen, da man die Z-Regelung mit Hilfe von LabVIEW steuern könnte.
- **Eichung**
Wenn das STM funktioniert, ist noch eine Eichung der Piezos mit Hilfe eines Eichgitters notwendig, um den aufgenommenen Strukturen Maßstäbe zuzuordnen.
- **Schrittmotorannäherung**
Da die Annäherung von Hand sehr schwierig und stoßempfindlich ist, kann eine Schrittmotorannäherung sinnvoll sein.
- **Überarbeitung der linearen Regression**
Noch müssen die Parameter bei der linearen Regression des Programms von Hand angeglichen werden. Eine Überarbeitung der linearen Regression sollte das überflüssig machen.