

# Elektrische Kontaktierung von Nanostrukturen in der Schule

## Eine Anleitung für Lehrer

Luca Banszerus

Juni 2010

*Die Mikro- und Nanoelektronik werden in der Schule häufig nicht behandelt, weil es äußerst schwierig ist Nano- oder Mikrostrukturen elektrisch zu kontaktieren. In der Forschung werden solche Kontaktierungen meist mit optischer Lithographie oder Elektronenstrahlolithographie gefertigt, die dazu nötigen Geräte sind allerdings für die wenigsten Schulen bezahlbar. Wenn man jedoch die Fülle an interessanten Experimenten betrachtet und zugleich bedenkt, dass die Nanotechnologie eine der Schlüsseltechnologien für die Zukunft ist<sup>1</sup>, ist klar, dass ein so wichtiges Feld in der Schule abgedeckt werden muss. In dieser Anleitung wird eine Methode detailliert beschrieben, mit der man mit schulischen Mitteln elektrische Kontakte an Sub-15µm-Strukturen anbringen kann. In diesem Beispiel wurde Graphen, eine monolagige Kohlenstoffschicht, mit dem Verfahren kontaktiert.*

Das Grundprinzip der hier vorgestellten Kontaktierungsmethode beruht darauf sehr spitze Nadeln aus geschmolzenem Indium zu ziehen und anschließend über dem zu kontaktierenden Objekt, z.B. einem Graphenflake, auszurichten. Danach wird die Nadel auf der beheizten Probe aufgeschmolzen. Sobald die Probe wieder ausgekühlt ist, hat man einen stabilen ohmschen Kontakt auf eine monoatomare Schicht aufgebracht<sup>2</sup>. Zum Anlöten von Graphen benötigt man ein Auflicht-mikroskop um das Graphen sehen zu können, sowie ein zweites Mikroskop um mit dem Objektstisch die Indiumspitze ausrichten zu können. Zudem muss man die Probe heizen. Dazu reicht eine einfache Drahtheizung die um einen Streifen Fliese gewickelt ist völlig aus. Zum Ziehen der Indiumspitze kann man eine feine Spritzenadel benutzen, die in einem Metallröhrchen mit einer Schraube festgeklemmt ist. Das Metallröhrchen kann man mit Heißkleber auf einen Objektträger kleben und so mit dem Objektstisch des zweiten Mikroskops sehr

fein in x-, y-, und z-Richtung bewegen (Abb.1). Die Temperatur, sowie die Zuggeschwindigkeit sind entscheidend für die Qualität der Indiumspitze. Daher macht es Sinn, z.B. mit C-Control und einem PTC Widerstand ein kleines Stück Indium auf ca. 170°C zu heizen, diese Temperatur liegt ca. 20°C über dem Schmelzpunkt des Indiums und eignet sich gut um Spitzen aus dem flüssigen Tropfen zu ziehen<sup>2</sup>. Beim Herausziehen der Nadel sollte relativ langsam, aber kontinuierlich gezogen werden um eine dünne Spitze zu erhalten. Unter 50-facher Vergrößerung des Auflichtmikroskops sollte die Spitze jetzt immer noch extrem spitz aussehen (Abb. 3). Um die Nadel auf die beheizte Probe aufschmelzen zu können, sollte sie im richtigen Winkel und an der richtigen Position darüber schweben. Beim Annähern der Spitze kann man den Abstand zum Substrat dadurch abschätzen, dass die Spitze und der Schatten der Spitze genau übereinander liegen, wenn die Spitze das Substrat berührt. Beim Annähern sollte man ggf.

noch Korrekturen an der Nadelposition vornehmen, bevor man das letzte Stück ruckartig annähert, damit die Spitze wie gewollt an das Substrat schmilzt. Beim Entfernen der Spritzenadel aus dem Indiumkontakt sollte man die Nadel zuerst genau von der Spitze der Indiumnadel wegbewegen und anschließend nach oben herausziehen. Damit wäre der erste Kontakt am Graphen angebracht, wiederholt man den Vorgang, so kann man weitere Kontakte am Graphenflake anbringen. Sobald die Probe ausgekühlt ist, kann man von den Enden der Indiumkontakte zu den Kontakten auf der Platine mit feiner Litze Verbindungen herstellen. Dabei empfiehlt es sich, das Substrat mit Tesafilm auf der Platine zu fixieren, damit die sehr dünnen Indiumkontakte geschont werden. Es ist relativ trivial, sich eine eigene Ätzmaske zu erstellen und Platinen so nach den eigenen Bedürfnissen zu strukturieren. Wir haben z.B. eine Maske entworfen, die an der Rückseite des Wafers über einen Backgatekontakt für FET-Anwendungen verfügt. Durch die Platinen werden gleich zwei Probleme gleichzeitig gelöst. Zum einen ist eine Vergrößerung der Kontaktfläche der immer noch relativ kleinen Indiumnadeln gelungen und zum anderen werden die Indiumkontakte vor Krafteinwirkungen geschützt. Es ist durchaus denkbar, mit diesem preiswerten und schnellen Verfahren auch andere Nanostrukturen wie z.B. Nanodrähte zu kontaktieren. Voraussetzung dafür ist lediglich, dass das Nanoobjekt in mindestens einer Dimension mehrere Mikrometer lang ist.

### Tipps und Anregungen:

Indium kann man bei vielen Metallhändlern, z.B. AlfaAesar kaufen. Bereits wenige Gramm Indium in Form von Draht oder Barren reichen für viele Kontakte.

Es ist sehr nützlich die beiden Mikroskope gemeinsam auf einer Holzplatte zu fixieren, damit sie sich nicht relativ zueinander bewegen können.

Zum Platinenätzen finden sich zahlreiche Anleitungen im Internet.

Die hier präsentierten Forschungsergebnisse stammen aus einer Jugendforschungs-Arbeit, die zusammen mit Michael Schmitz durchgeführt wurde. Michael hatte die Idee, die Indiumkontakte mit einer Platine sicher zu kontaktieren. Ich möchte ihm an dieser Stelle danken.

- [1] <http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>
- [2] C.O. Girit and A. Zettl, *Appl. Phys. Lett.* **91**, 193512, (2007)
- [3] <http://www.jufo.stmg.de/2008/Graphen/Graphen.pdf>
- [4] <http://www.jufo.stmg.de/2010/Graphene/Graphene.pdf>

**Luca Banszerus** geb. Dez. 1991 ist derzeit Schüler des **St. Michel-Gymnasiums in Bad Münstereifel** (Jgst. 12).

**2008 und 2010** wurde er bei **Jugend forscht** mit einem **Bundessieg** ausgezeichnet.

Kontakt unter:  
[lucabanszerus@googlemail.com](mailto:lucabanszerus@googlemail.com)



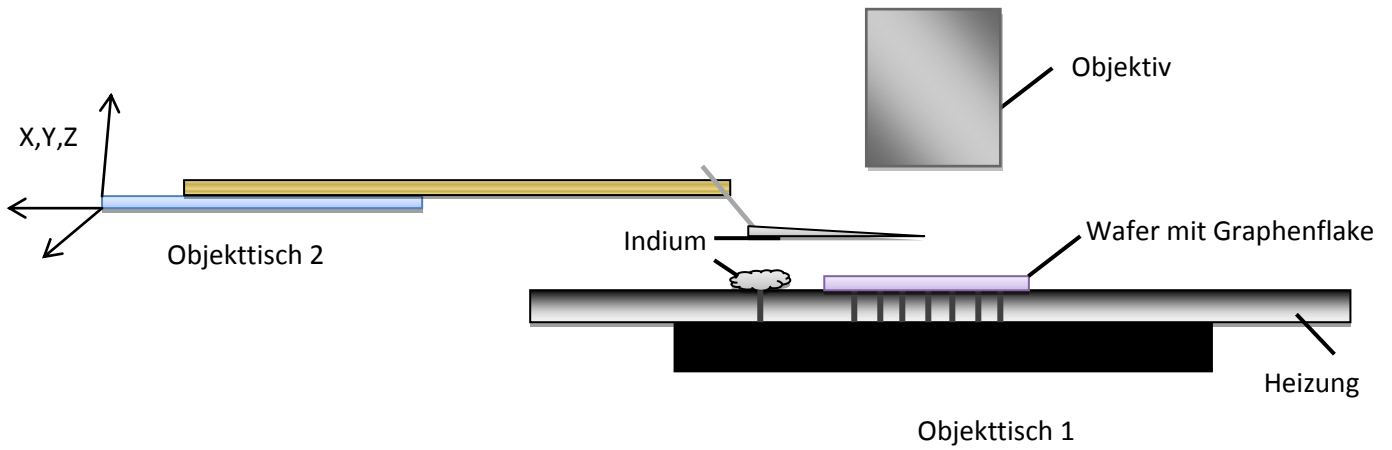


Abb. 1 Schematischer Aufbau der Lötapparatur

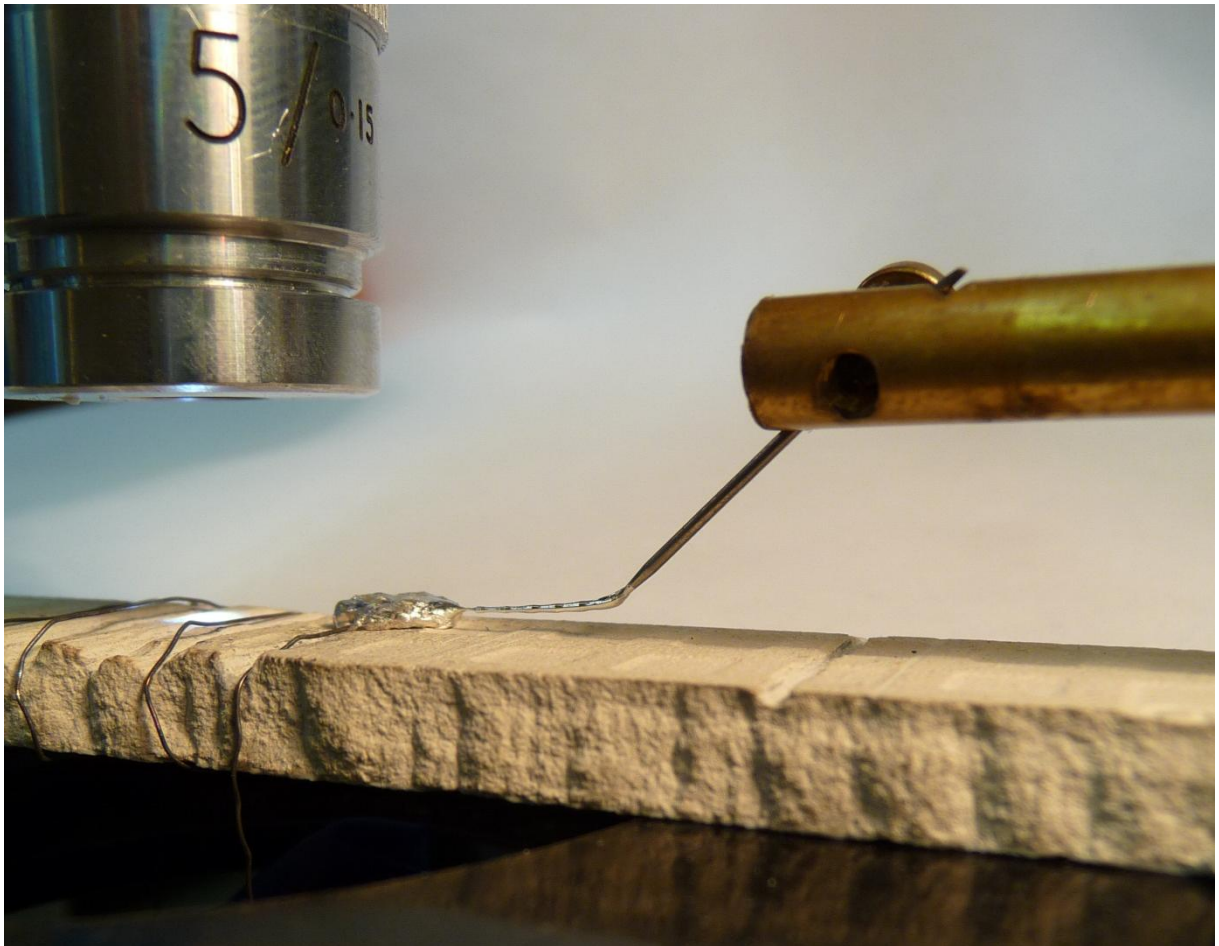


Abb.2 Ziehen einer Indiumspitze aus einem Tropfen flüssigen Indiums

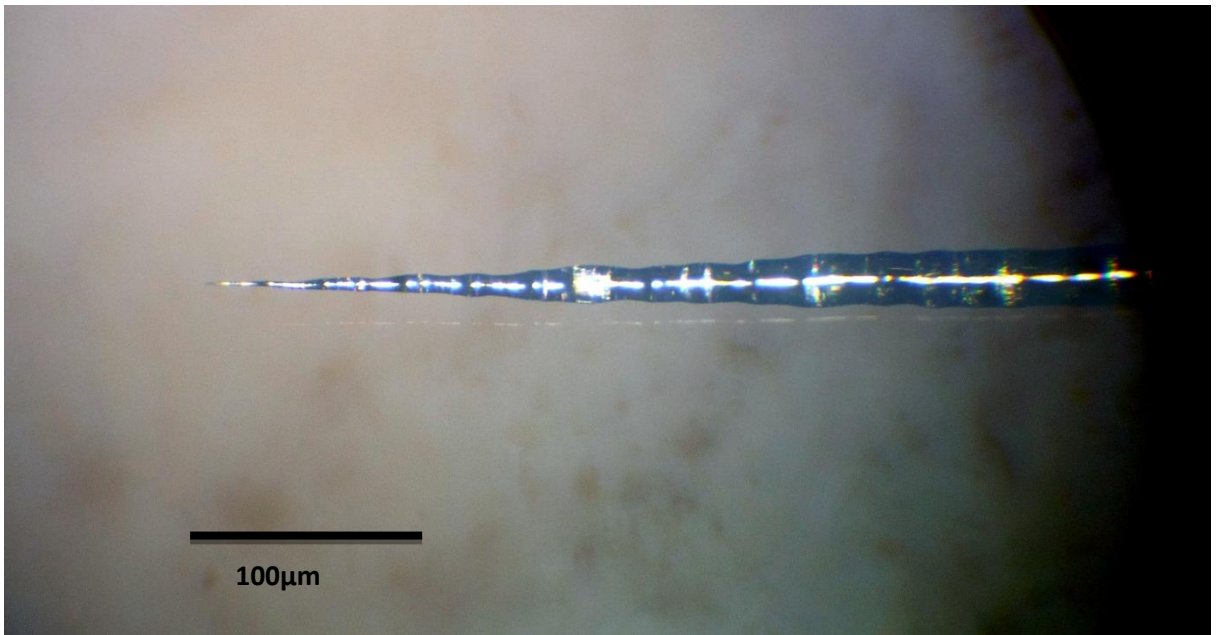
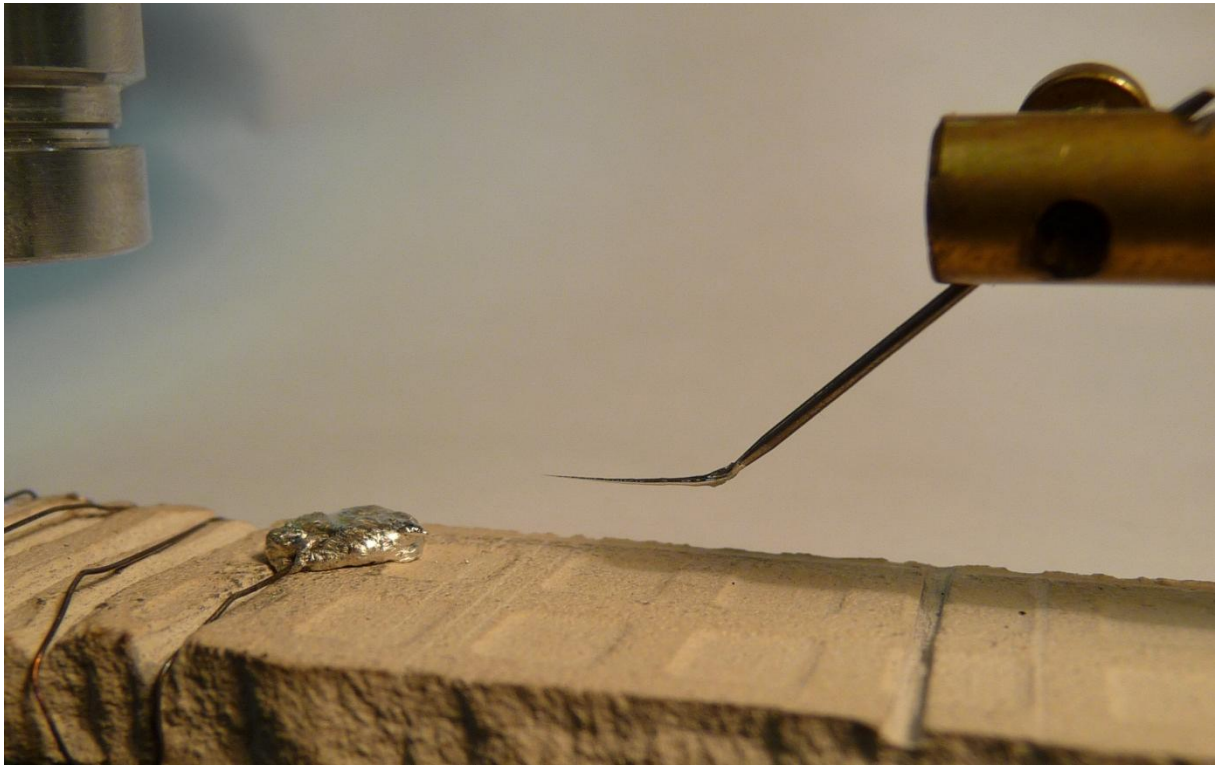


Abb.3 oben: Indiumspitze an der Nadel, unten: Spitze unter dem Mikroskop



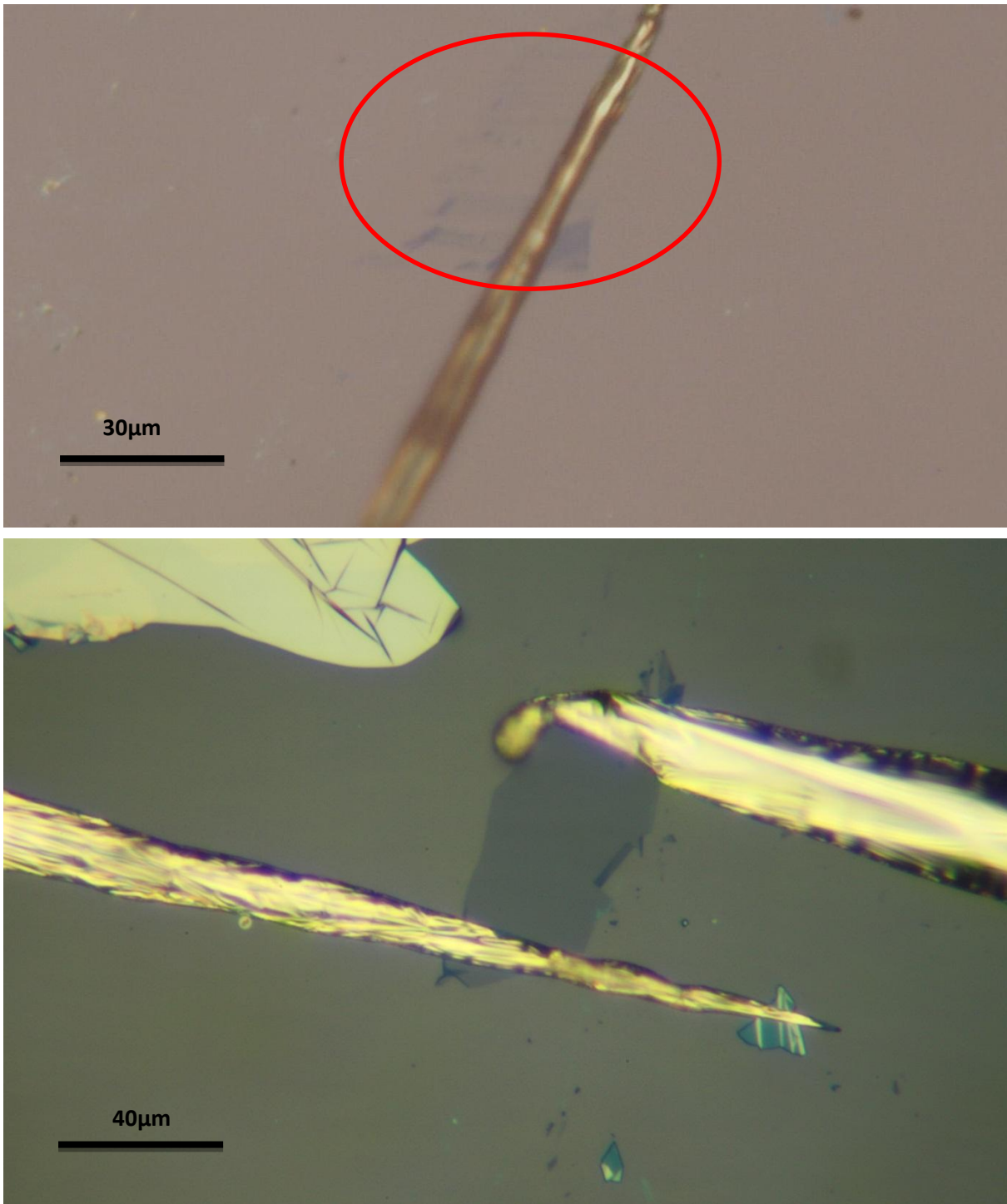


Abb. 4 Einfach und doppelt kontaktiertes Graphen

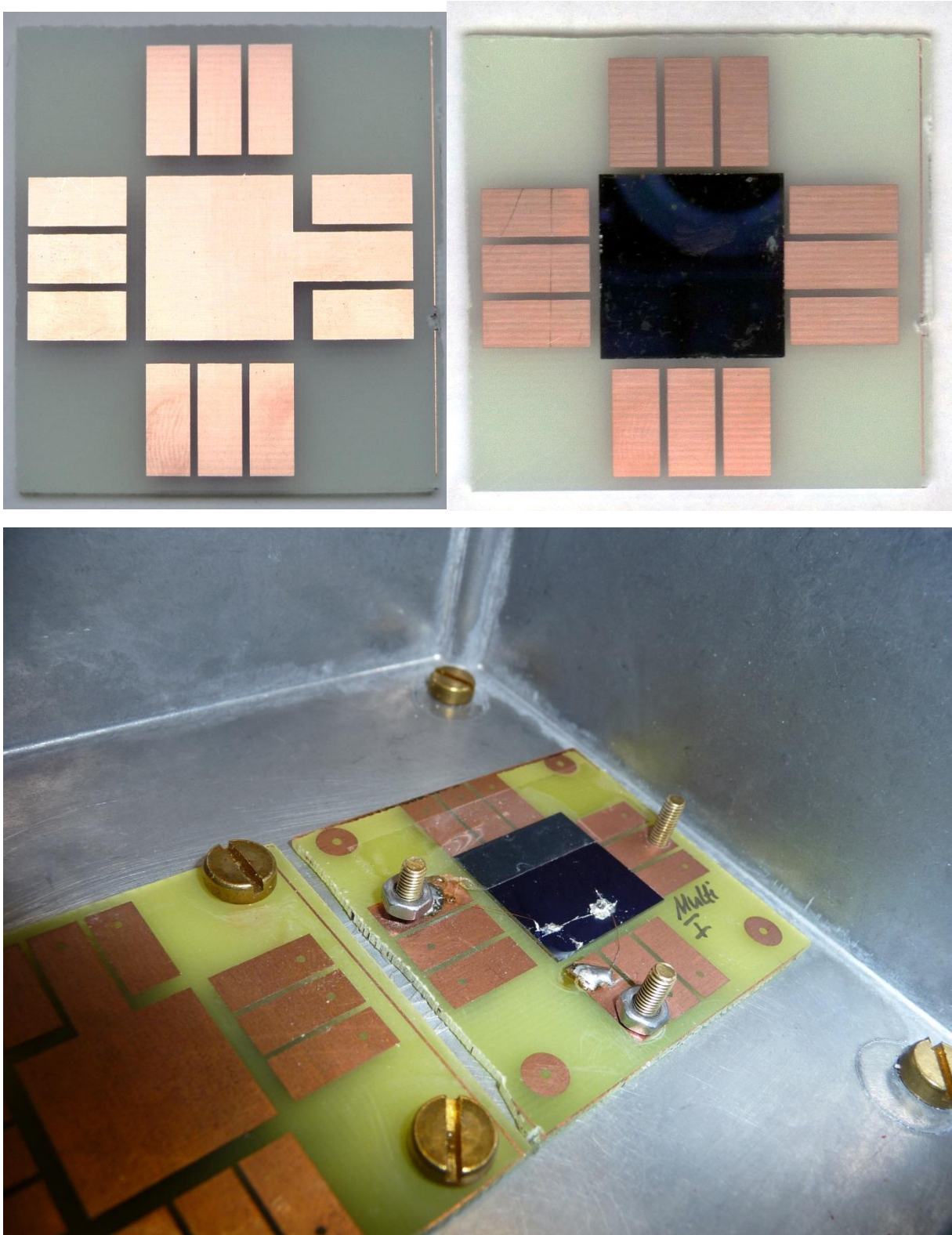


Abb. 5 oben links: selbstgeätzte Kontaktplatte, oben rechts: Kontaktplatte mit Wafer,  
unten: Kontaktiertes Graphen