

# Neues Hochvakuum für CCD-Kamera 2

## Theoretische Grundlagen und Funktionsweise

Bei unserer CCD-Kamera 2 befindet sich der großflächige, rückseitenbelichtete Marconi CCD-Chip nicht wie bei anderen Kameraherstellern üblich in einem IC-Gehäuse mit Fenster, sondern ohne Gehäuse (direkt gebondet) zusammen mit dem 4-stufigen Peltierelement in einem Vakuum-Package des Kameraherstellers. Dieses Vakuum-Package ist mit dem (einzigem) Kamerafenster und den elektrischen Durchführungen für Peltier und CCD versehen, für Hochvakuum geeignet abgedichtet. Zweck dieser Anordnung ist es, jegliche Wärmeleitung durch Konvektion vor dem CCD zu unterbinden. Man erreicht das bei einem Innendruck von weniger als  $10 \text{ hoch } -3$  Millibar. Auf diese Weise wird es möglich, auch großflächige CCD's mit einer geringen Kühlleistung auf tiefe Temperaturen zu bringen. Unsere Kamera kann mit ihrer thermoelektrischen Kühlung in einer halben Stunde von  $+20^\circ\text{C}$  Raumtemperatur auf  $-50^\circ\text{C}$  Chiptemperatur abgekühlt werden bei einer Wärmeabgabe von 90W. Sie ist danach in der Lage, diese Temperatur mit einer Genauigkeit von 40 Millicelsius zu halten und produziert dann nur noch 20W an Abwärme. Man möge diesen Wert doch mal mit anderen Kameras vergleichen. Mit dieser Temperaturregelung wird es uns in Zukunft möglich sein, CCD-Photometrie mit entsprechender Präzision durchzuführen.



Ein Nachteil soll aber nicht verschwiegen werden. Das Hochvakuum vor dem CCD hält nicht ewig. Schuld ist nicht eine mangelhafte Dichtheit des vorhandenen Vakuum-Ventils (Das Vakuum-Package der Kamera hat ein Spezialventil mit Indium-Dichtung), sondern das "Ausgasen" der Materialien im Laufe der Zeit innerhalb der Vakuum-Kammer. Nach 3 Jahren Betrieb hatte sich das Vakuum soweit verschlechtert, dass die übliche Zieltemperatur von  $-50^\circ\text{C}$  nicht mehr erreicht werden konnte, und selbst  $-40^\circ\text{C}$  nur mehr bei Außentemperaturen unter  $+10^\circ\text{C}$  möglich waren. Die Leistungsaufnahme der Kamera im Betrieb stieg auf ca. 60W an, was sich ohne sekundäre Wasserkühlung schon sehr negativ auf das Kuppelseeing ausgewirkt hat.

## Neuevakuierung der Kamera

Die Neuevakuierung kann entweder vom Kamerahersteller selbst oder kundenseitig vorgenommen werden. Der Hersteller Roper Scientific liefert zur Kamera dazu ein spezielles Manual, in dem die Handhabung seitens der Kamera und die notwendigen technischen Voraussetzungen für die Vakuumtechnik beschrieben sind. In diesem Manual wird ein Vakuum von  $10 \text{ hoch } -6$  Millibar empfohlen. Dieser Druck markiert die Grenze zwischen Hochvakuum (HV) und Ultrahochvakuum (UHV). Es sind schon mehrstufige Vakuumpumpen erforderlich, um solch ein hohes Vakuum zu erreichen. In der Vorstufe verwendet man mechanische Kolben- oder Drehschieberpumpen. Sie können maximal bis zum Dampfdruck des Schmieröls der Pumpe, also bis etwa  $10 \text{ hoch } -1$  Millibar absaugen. In der zweiten Stufe sollten laut Manual von Roper Scientific Öldiffusionspumpen in Kombination mit einer Tieftemperatur-Kryofalle zur Anwendung kommen. Damit ist der angegebene Druck erreichbar. Bei Öldiffusionspumpen besteht die Gefahr, dass durch Störungen oder Bedienungsfehler Diffusionsöl auf die Hochvakuumseite gelangen kann. Das können wir auf dem CCD wirklich nicht brauchen. Die Kryofalle soll da auch einen gewissen Schutz bieten. Noch besser ist allerdings die Verwendung einer Turbomolekularpumpe. Derartige Pumpen werden in der Ultrahochvakuumtechnik eingesetzt und sind in der Lage auch auf  $10 \text{ hoch } -10$  Millibar zu pumpen. Im Aufbau sind sie dem Turbintriebwerk eines Flugzeugs nicht unähnlich, nur eben in Miniaturausführung. Die kleinen Turbinen werden elektrisch angetrieben, haben spezielle Lager und werden auf gewaltige Drehzahlen gebracht (z.B. 90000 U/min). Werden sie im Vorvakuum einer Drehschieberpumpe gestartet, so sind sie in der Lage die Gasmoleküle mit den Turbinenschaufeln schneller zu treffen und in die gewünschte Richtung wegzuschleudern, als die Moleküle Gelegenheit haben sich gegenseitig zu treffen und in beliebige Richtungen abzustößen. Die Brown'sche Molekularbewegung wird damit bei den Turbinenschaufeln der Turbopumpe in eine bestimmte Richtung, zur Vorvakuumseite hin gelenkt. Wenn die Grenze zum Hochvakuum erreicht ist, bewegen sich die Restmoleküle nur noch von Gefäßwand zu Gefäßwand und treffen sich nicht mehr gegenseitig. Physikalisch gesehen ist die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle größer geworden als die Abmessungen der ganzen Vakuum-Kammer. Das pro Zeiteinheit erreichbare Vakuum hängt dann nicht mehr vom Volumen, sondern nur noch von der Oberfläche und dem Querschnitt gewisser Engstellen im Inneren der Vakuum-Anordnung ab. Man muss bei unserer Kamera mit Pumpzeiten von 24 Stunden rechnen, bis ausreichend viele Gasmoleküle sich bequemt haben zur Turbopumpe hin zu diffundieren und ein Vakuum von  $10 \text{ hoch } -6$  Millibar erreicht wird. Wenn man zur Kontrolle auch den Druck messen will, benötigt man schon sehr spezielle "Manometer". In einer sogenannten Penning-Druckmesszelle werden die Restmoleküle im elektrischen Feld ionisiert und der gemessene Jonenstrom ist dann ein Maß für den Druck.

## Anordnung im Labor

Auch wenn manche Besucher der Sternwarte Harpoint unsere Ausrüstung schon als „semiprofessionell“ bezeichnet haben, ein Ultrahochvakuumlabor haben wir freilich (noch) nicht vor Ort. Derartige Einrichtungen sind in manchen Labors von Universitätsinstituten zu finden. Weiters können neben dem Kamerahersteller selbst auch Firmen die sich mit der Belegung von Teleskopspiegeln sowie der Vergütung von Optiken beschäftigen, geeignete Einrichtungen haben. Das Labor in dem unsere Kamera neu evakuiert wurde, wollen wir hier nicht nennen. Um unsere CCD-Kamera 2 überhaupt an UHV-Equipment anschließen zu können, war zunächst die Anfertigung eines sogenannten DN10-Vakuumflansches notwendig. Dieser wurde von uns in der Werkstatt unserer Sternwarte gefertigt und mit dem Ventilanschlussröhrchen der CCD-Kamera dauerhaft verbunden. DN10 ist der quasi genormte Vakuum-Anschluss im Laborbereich für kleine Durchmesser. Die Dichtung der Teile untereinander erfolgt dabei mit speziellen O-Ringen welche für besonders hohe Anforderungen zusätzlich sparsam mit Vakuum-fett eingelassen werden. Kunststoffschläuche können in der Hochvakuumtechnik nicht verwendet werden. Die CCD-Kamera wurde aus Sicherheitsgründen zunächst mit einem Metallbalg-gedichteten Hochvakuum-Magnetventil verbunden. Dieses Ventil hat die Aufgabe bei Stromausfall oder einer sonstigen Störung der Vakuum-Pumpen sofort zu schließen und damit das „Einsaugen“ von Schmutzpartikel in das Vakuum-Package der Kamera und damit direkt auf das Silizium des CCD sicher zu unterbinden. Da die Turbomolekularpumpe bei einer Störung eine gewisse Zeit braucht bis sie die Drehzahl und somit das Hochvakuum verliert, ist die Schliesszeit des Magnetventils vollkommen ausreichend. Das Magnetventil wurde deshalb elektrisch mit dem Alarmausgang der Steuerelektronik der Turbomolekularpumpe verbunden. Auf der anderen Seite des Magnetventils kam ein T-Stück zur Anwendung. An dieses T-Stück wurde einerseits das erwähnte Penning zur Druckmessung angeschlossen, andererseits wurde es mit der kleinen aber leistungsfähigen Turbomolekularpumpe verbunden (sie ist nicht wesentlich größer als die Kamera selbst). Die Turbopumpe ihrerseits war zur Erzeugung des notwendigen Vorvakuums mittels Metallbalg Schlauch mit einer großen Drehschieber-Vakuumpumpe gekoppelt

## Praktische Durchführung

Zuerst wurde die Vorvakuumpumpe gestartet. Nach kurzer Zeit war der Druck soweit gefallen, dass die Turbomolekularpumpe gestartet werden konnte. Nachdem die Pumpen nach etwa 20 Minuten ein Vakuum von  $10^{\text{hoch}} - 4$  Millibar erreicht hatten, haben wir vorsichtig das Ventil an der Kamera geöffnet. Der gemessene Druck stieg dabei kurzzeitig auf  $10^{\text{hoch}} - 1$  Millibar an, das noch vorhandene Vakuum in unserer Kamera war also in der Tat schon ziemlich schlecht. Nach kurzer Zeit waren aber wieder  $10^{\text{hoch}} - 3$  Millibar erreicht. Eine Stunde später drang uns der einem Techniker nur allzu bekannte Geruch nach verschmorter Elektronik in die Nase „verdammte“. Nebenbei war der uns jetzt schon bekannte Ton der auslaufenden Turbopumpe zu vernehmen (eine mit voller Drehzahl von 90000 U/min laufende Pumpe ist übrigens geräuschlos). Die Elektronik des Magnetventils vor der Kamera war schadhaft und seine Magnetspule ist deshalb nach 90 Minuten Einsatz heißgelaufen. Wir haben somit zwar nicht die vorgesehenen  $10^{\text{hoch}} - 6$  Millibar erreicht, aber 5 mal  $10^{\text{hoch}} - 4$  Millibar sind für unsere Kamera auch ganz nett.

## Funktionstest

Zunächst haben wir an unserer Sternwarte die Kamera vorsichtig in Stufen von  $10^{\circ}\text{C}$  heruntergekühlt und dabei aufmerksam die Oberfläche des CCD beobachtet. Sollte das Vakuum-Package der Kamera undicht sein, so würde sich sofort Tau oder Eiskristalle an der Oberfläche des CCD zeigen. In diesem Fall muss man laut Hersteller den Vorgang sofort abbrechen und Tau bzw. das Eis verdampfen, damit der wertvolle CCD selbst keinen Schaden nimmt. Das Ventil unserer Kamera war aber offensichtlich dicht, schließlich hatten wir es gemäß der Anleitung mit dem vorgeschriebenen Drehmoment und mit Hilfe eines Drehmomentenschlüssels verschlossen. Der abschließende „harte“ Kühlttest der CCD-Kamera brachte einen neuen Rekord hinsichtlich der Abkühlzeit:  $-50^{\circ}\text{C}$  CCD-Temperatur nach nur 22 Minuten Kühlung bei Raumtemperatur. Darüber hinaus haben

Flatfield-Aufnahmen gezeigt, dass es zu keiner weiteren Kontamination der CCD-Oberfläche mit neuen Staubpartikeln gekommen ist, was ein Vergleich mit älteren Flatfield-Aufnahmen beweist.

Wir konnten jetzt der Versuchung nicht widerstehen, wir wollten jetzt wissen wie tief wir den CCD unserer Kamera herunterkühlen können. Bei einer frühwinterlichen Temperatur in unserer Sternwarte so um den Gefrierpunkt haben wir die CCD-Solltemperatur in WINSPEC auf sage und schreibe  $-70^{\circ}\text{C}$  eingestellt und nach ca. 40 Minuten war diese Temperatur erreicht (wahrscheinlich ein neuer Rekord in Amateursternwarten). Dabei haben wir die Kamera noch gar nicht mit der selbstgebauten zusätzlichen Flüssigkeitskühlung betrieben (sie ist wegen Revision der Pumpe nicht in Betrieb). Der 4-stufige Peltierblock der Kamera wurde nur mit dem eingebauten Lüfter gekühlt. Die Leistungsaufnahme der Kamera stieg dabei nur auf ca. 50W. Dieser Test zeigt dass mit dem derzeit vorhandenen Vakuum in der CCD-Kammer hinreichende Leistungsreserven bei der CCD-Kühlung vorhanden sind.

## **Schlussbetrachtung**

Es ist zu erwarten, dass die Ausgasungsvorgänge innerhalb der Vakuum-Kammer unserer CCD-Kamera mit der Zeit zurückgehen, da ja ein Grossteil der flüchtigen Stoffe bereits weg sind. Wir hoffen daher die Kamera auch mit einem Vakuum von nur 5 mal  $10^{\text{hoch } -4}$  Millibar wieder einige Zeit problemlos betreiben zu können.

© Sternwarte Harpoint, 2005, Autor: Dipl. Ing. Hans Robert Schäfer