

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 99 (1981)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Kristalle - aus einzelnen Atomen massgeschneidert: Molekularstrahl-Epitaxie: Voraussetzung für neue Generation leistungsfähiger Halbleiter-Bauelemente  
**Autor:** Hintsches, Eugen  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74517>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Kristalle – aus einzelnen Atomen massgeschneidert

Molekularstrahl-Epitaxie: Voraussetzung für neue Generation leistungsfähiger Halbleiter-Bauelemente

Einzelne Atome können kontrolliert zu perfekt gebauten, künstlichen Schichtkristallen zusammengesetzt werden.

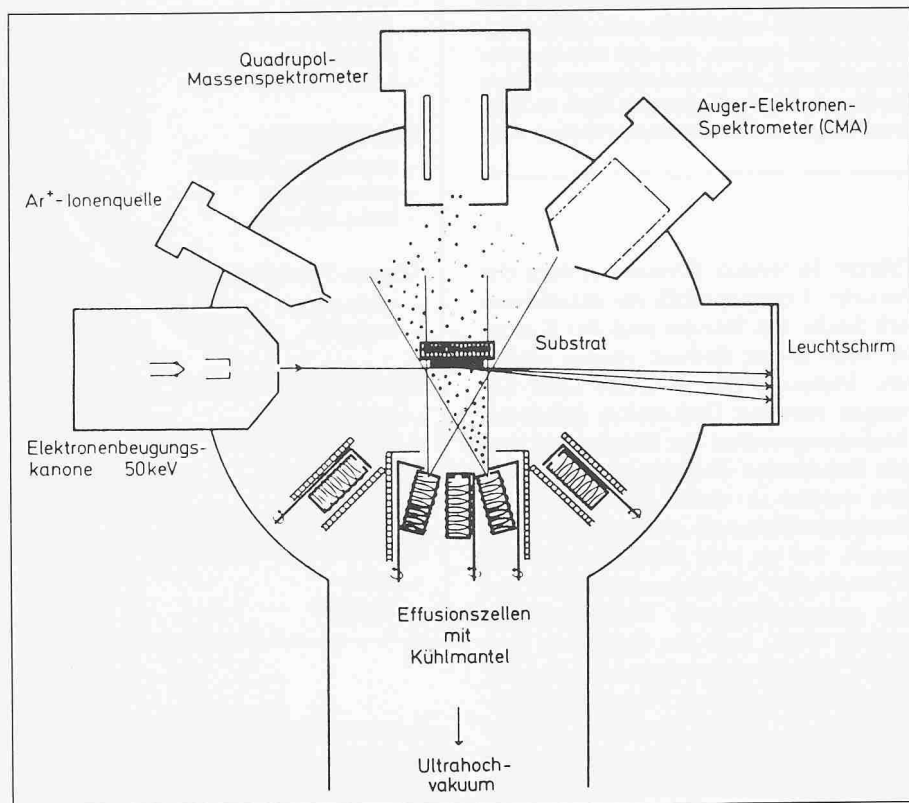
Solche massgeschneiderten Systeme aus Halbleiter-Materialien sind Voraussetzung für eine neue Generation elektro-

nischer Bauelemente: Das Herstellungsverfahren, die Molekularstrahl-Epitaxie (MBE = englisch: molecular beam epitaxy), stand im Mittelpunkt einer wissenschaftlichen Konferenz, die erstmals in Europa vor kurzem im Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart-Büsnau, stattfand.

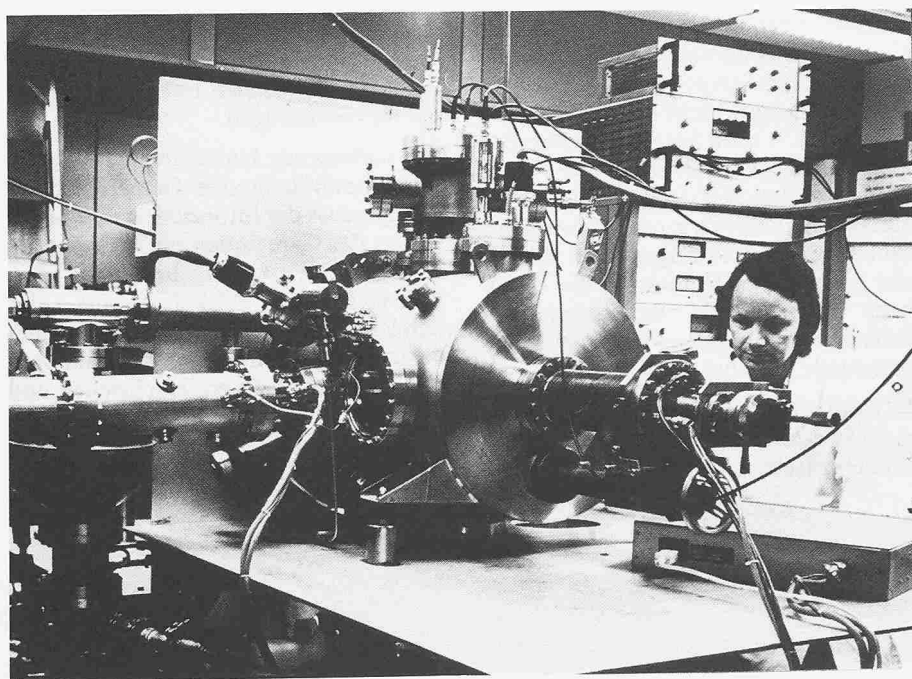
Eine Arbeitsgruppe unter der Leitung von Dr. Klaus Ploog hat mit Unterstützung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie die Molekularstrahl-Epitaxie Anfang 1975 als eine der ersten in Europa am Stuttgarter Max-Planck-Institut demonstriert und seither weiterentwickelt. «Obwohl vor allem in den USA bereits einige Prototypen für Produktionsanlagen arbeiten, hat die Molekularstrahl-Epitaxie den endgültigen technischen Durchbruch noch nicht erzielt», betont Albrecht Rabenau, Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung. «Denn das Verfahren steht in Konkurrenz mit anderen Kristallzucht-Methoden, es hat aber im Vergleich dazu eine Reihe von Vorteilen»: Bei der Molekularstrahl-Epitaxie wird festes Ausgangsmaterial, zum Beispiel Gallium und Arsen für die Herstellung von Galliumarsenid, getrennt in kleinen Öfen bis zum Verdampfen erhitzt. Verschlüsse an diesen Öfen lassen das entstehende dampfförmige Material – die Molekularstrahlen – nur kontrolliert entweichen, so dass auf einer Unterlage, dem Substrat, eine nur wenige Atomlagen dünne Kristallschicht gezielt abgeschieden werden kann. Diesen Vorgang kann man – auch mit anderen Substanzen – beliebig oft wiederholen. So entstehen viele, weniger als ein Millionstel Millimeter dünne, scharf begrenzte Kristallschichten übereinander, sogenannte Sandwich-Strukturen. Dabei besteht die Möglichkeit, das Material durch den Einbau von Spuren anderer Elemente bewusst zu verunreinigen, also zu «dotieren», um so beispielsweise die elektrische Leitfähigkeit des Kristalls zu verändern.

Solche aus einzelnen Atomen perfekt aufgebaute Schichtkristalle haben völlig neuartige physikalische Eigenschaften, die sonst nicht zu erreichen sind. «Weil wir die elektrischen Eigenschaften von Halbleiter-Materialien gezielt verändern können, ist die Molekularstrahl-Epitaxie für die Verbesserung von bereits bekannten und für die Entwicklung von neuen Bauelementen der Signal- und Optoelektronik von grosser Bedeutung geworden», bestätigt Klaus Ploog. Er ist laut Prof. Rabenau ein «Mann der ersten Stunde für die Molekularstrahl-Epitaxie in Europa».

Der technische Aufwand für diese ungewöhnliche Kristallzuchtmethode ist



Schematische Darstellung des Prinzips der Molekularstrahl-Epitaxie: Im Ultrahochvakuum wird das aus getrennten Öfen, den Effusionszellen (unten), verdampfte Material auf eine Unterlage, das Substrat, in nur wenigen Atomlagen gezielt abgeschieden. Zahlreiche Messgeräte (oben) überwachen dabei bereits während des Wachstums den Aufbau der dünnen Kristallschichten aus Halbleiter-Materialien.



«Mann der ersten Stunde der Molekularstrahl-Epitaxie in Europa» ist Dr. Klaus Ploog vom Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart – hier neben einer dieser Ultrahochvakuum-Kristallzucht-Anlagen.

allerdings sehr gross: Das Wachstum muss – weil einzelne Atome aufeinander gestapelt werden – ungestört von Verunreinigungen erfolgen, in einer Ultrahochvakuum-Apparatur. Aus ihr wird die Luft bis auf den zehnmilliardsten Teil des normalen Drucks entfernt. In dieser Umgebung wachsen die dünnen Kristallschichten, von zahlreichen Messgeräten überwacht, sehr langsam – je Sekunde nur ein Zehnmillionstel Millimeter. «Wegen solcher extremen

Ansprüche scheint diese Technik auf den ersten Blick zunächst nur ein Werkzeug der Forschung zu sein, etwa für das bessere Verständnis des Aufwachsens und der Zusammensetzung neuer Materialien», meint *Hans-Joachim Queisser*, Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung.

Aber wie so oft in der Halbleiter-Technik seien auch die zunächst sehr aufwendig erscheinenden Methoden

schnell zu Produktionswerkzeugen geworden. Die Molekularstrahl-Epitaxie ermögliche die Herstellung von Strukturen, die man mit anderen Verfahren nicht erzeugen kann: Deshalb, so fasst Queisser zusammen, «ist dieses Kristallzucht-Verfahren nützlich etwa für die Herstellung von leistungsfähigen Höchstfrequenz-Bauelementen, die für die künftige Nachrichten-Übertragung in den achtziger und neunziger Jahren gebraucht werden.»

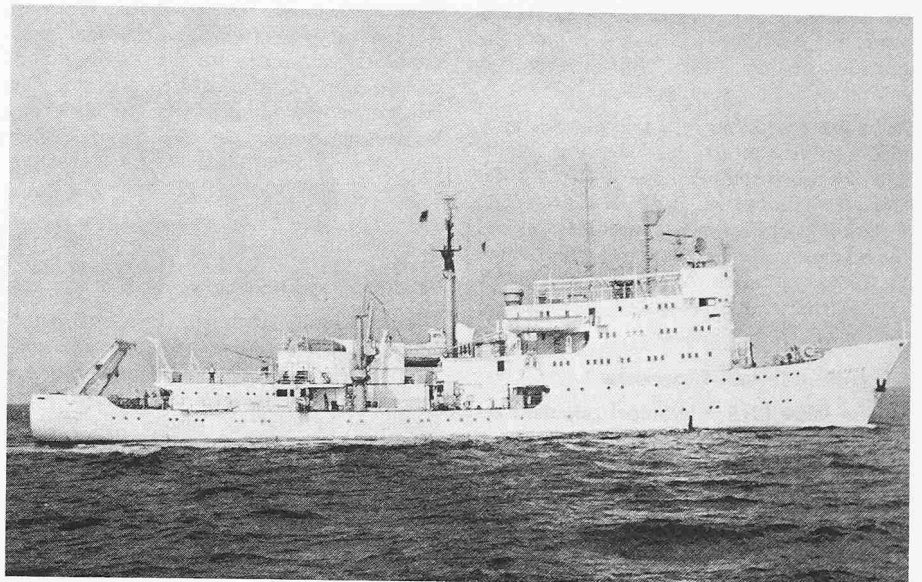
*Eugen Hintsches, München*

## Umschau

### Die längste Fahrt der «Meteor»

*Forschungsschiff kehrte aus der Antarktis zurück*

Von einer 203 Tage dauernden Expedition in die Antarktis ist das Forschungsschiff «Meteor» wieder in seinen Heimathafen Hamburg zurückgekehrt. Über den Verlauf und die bisherigen Ergebnisse dieser längsten aller bisher 56 Reisen dieses von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem Deutschen Hydrographischen Institut (DHI) gemeinsam betriebenen Forschungsschiffes berichtete der Vorsitzende der DFG-Senatskommission für Ozeanographie und Koordinator der Expedition, Prof. Dr. *Gotthilf Hempel*, Kiel/Bremerhaven, kürzlich in Bonn.



### Erforschung des antarktischen Ökosystems

Die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierte «Meteor»-Fahrt in die Antarktis war Bestandteil des internationalen Unternehmens Biomass, das der Erforschung des antarktischen Ökosystems und seiner lebenden Naturschätze dient. Auf drei, jeweils fünf Wochen dauernden Fahrtabschnitten operierte die unter dem Kommando von Kapitän Walter Feldmann stehende «Meteor» in der Scotia-See und vor der antarktischen Halbinsel. Die in diesem Jahr besonders ungünstigen Eisbedingungen behinderten vor allem zu Beginn des antarktischen Sommers die Untersuchungen der insgesamt 72 an der Expedition beteiligten Wissenschaftler.

Fragen nach der Produktion von biologischen Substanzen durch die einzelligen Algen des Phytoplanktons standen im Mittelpunkt des ersten antarktischen Fahrtabschnittes. Unter der Leitung von Prof. Dr. *Bernt Zeitzechel*, Kiel, wurde die Frühjahrsentwicklung des Planktons am Rande des langsam zurückweichenden Eises untersucht. Die von Kieler Physikern für den Einsatz in der Ostsee kon-

struierten Sensoren zur Ermittlung von Temperatur und Salzgehalt bewährten sich auch unter den rauen Polarbedingungen und lieferten exakte Messwerte von der Feinschichtung des Wassers. Erstmals konnte bei den Untersuchungen auch das Absinken abgestorbenen Planktons in freischwimmenden Sinkstoff-Fallen gemessen werden.

Die von Prof. Dr. *Sebastian Gerlach*, Bremerhaven, geleiteten geologischen und biologischen Forschungsarbeiten des zweiten Fahrtabschnittes erbrachten am steinigen Meeresboden vor Südgeorgien und am Rande der Weddell- und Scotia-See gute Bohrproben, welche die jüngste Erdgeschicht widerspiegeln. Mikrobiologen stellten am Meeresboden trotz der dort herrschenden Kälte Temperaturen von 0° C hohe Abbau-Aktivitäten der Bakterien fest.

Der dritte und letzte Teil der Expedition diente der weiteren Erforschung des Krills. In enger Zusammenarbeit mit dem deutschen Fischereiforschungsschiff «Walther Herwig» sowie Schiffen aus Argentinien, Chile, Polen, der Sowjetunion und den USA wurde die Verbreitung des Krills und seiner

Brut mit Echoloten und Netzen erfasst und die Form der Krillschwärme tagelang vermessen. Mit Hilfe von Unterwasserfernsehen und -photographie konnten die Bestandsdichten der Schwärme abgeschätzt werden. Stellenweise wurden bis zu 1000 Tiere je Kubikmeter gefunden. Gleichzeitig nutzten Physiologen die Gelegenheit, mit frisch gefangenem Krill und anderen Plankton-Organismen an Bord Experimente über Atmung, Nahrungsaufnahme und Wachstum anzustellen. Der Südsommer 1980/81 war offenbar besonders günstig für die Fortpflanzung des Krills. Noch nie hat man solche Mengen von Krill-Brut gefangen – über tausendmal mehr als in früheren Jahren. Eine Premiere besonderer Art erlebten die Wissenschaftler, als ein frisch gefangenes Krill-Weibchen an Bord der «Meteor» laichte. Inzwischen leben die Schalentiere schon sieben Wochen im Kieler Meereskunde-Institut, wo sie sich bereits gehäutet haben.

Auf der Rückseite machte die «Meteor» für sechs Tage in Buenos Aires fest. Niemals zuvor, so berichtete Expeditionsleiter Professor Hempel, sei das Schiff von so vielen In-