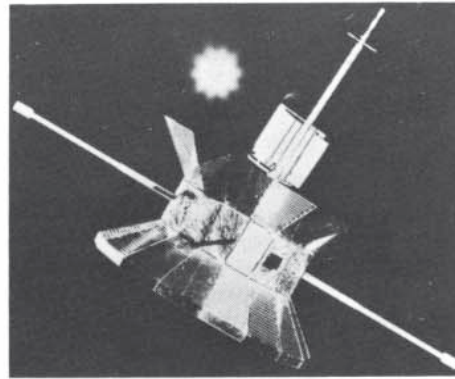
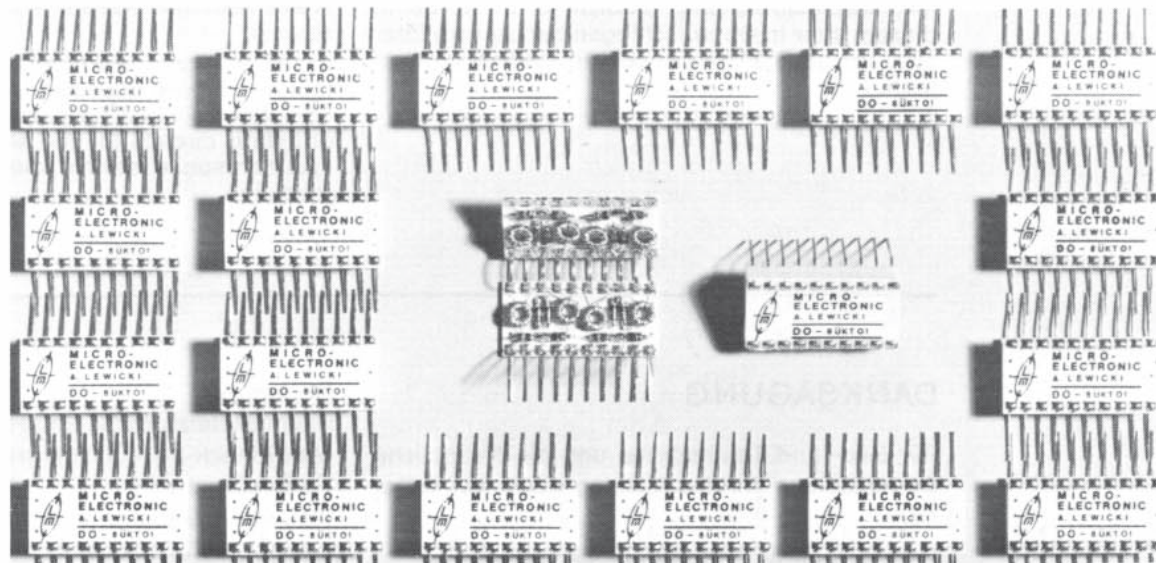
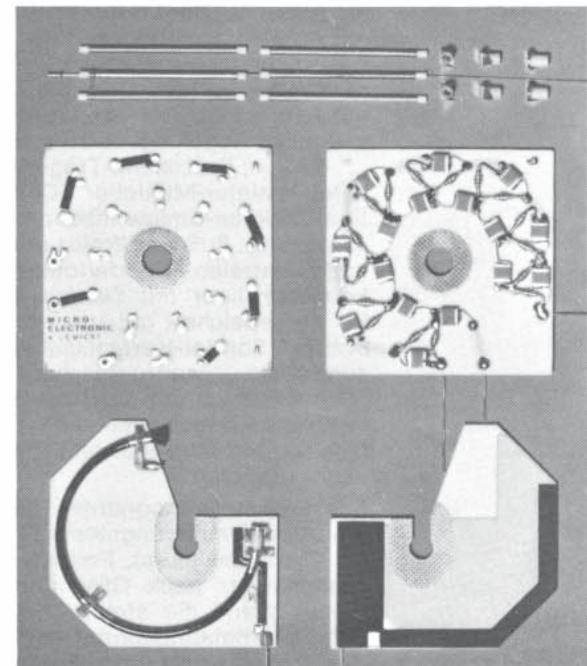




VORTRAG VOM  
„5. INTERNATIONALEN KONGRESS MIKROELEKTRONIK“  
DES INEA, MÜNCHEN 27. - 29. NOVEMBER 1972



# HYBRID-ICs FÜR SONNENSONDE HELIOS



**MICROELECTRONIC**

Dipl.-Ing. Andreas Lewicki  
D-7931 Oberdischingen bei Ulm  
Telefon (0 73 05) 65 88

## Hybrid-ICs für Sonnensonde HELIOS A. Lewicki, Microelectronic, Oberdischingen/BRD

### Zusammenfassung

Für das bisher größte deutsche Raumfahrtprojekt, die deutsch-amerikanische Sonnensonde HELIOS, wurden von der Firma LEWICKI, MICROELECTRONIC, über 1000 Dickfilm-Hybrid-ICs und Dickfilm-Keramikelemente (42 verschiedene Typen) entwickelt und gefertigt. Mit ihnen ist fast die Hälfte der wissenschaftlichen Meßeinrichtungen an Bord des Raumflugkörpers ausgerüstet. Diese Bausteine zeigen vorwiegend extreme Anwendungsgebiete der Dickfilmtchnik: Hochspannungskaskaden und -widerstandnetzwerke im Meg-Ohm bis Giga-Ohm Bereich mit hoher Stabilität und Genauigkeit für die Erzeugung, Regelung und Verteilung von 1 kV = ... 6 kV = ; Präzisions-Trägersubstrate für Halbleiter-Miniatur-Multiplier „Channeltron“; neuartige Dickfilm-Einspannzonen für die Substrat-Justierung; flußmittelfreie Lötungen mit blei- und cadmiumfreien Sonderloten; 8fach Miniaturkernübertrager mit Dioden im SPACE-PACK® für Kernspeicher; gesägte, geschliffene und gebohrte Sonder-Keramiksубstrate als ausgangsfreie, anorganische Hochspannungs-„Schaltkarten“ mit durchkontaktierten Löchern; Hochspannungsisolier- und abschirmröhrchen; Quecksilber-Mini-Stabrelaissträger; Miniaturkollektorkappen u. a.

Alle Dickfilmkomponenten haben die HELIOS-Weltraum-Umgebungstests (Vakuum, Hitze/Kälte, Thermalvakuum), Feuchte-, Schock- und Vibrationstests nach GfW- und NASA-Spezifikationen sowie die elektrischen Streßtests auch unter Normalatmosphäre erfolgreich bestanden. Zur Entwicklung und Fertigung von Hybrid-schaltungen für die wissenschaftliche, militärische und zivile Luft- und Raumfahrt, Kerntechnik, Meeresforschung, Medizin u. a. wurde in diesem Jahr in Oberdischingen bei Ulm ein über 1000 m<sup>2</sup> großes Spezialwerk in Betrieb genommen.

## Hybrid-ICs for the HELIOS Sun Probe A. Lewicki, Microelectronic, Oberdischingen/BRD

### Summary

More than 1000 thick film hybrid ICs and thick film ceramic parts (42 different types) were developed and produced for the largest German space-project, the German/American HELIOS sun probe by LEWICKI, MICROELECTRONIC. Almost half of the scientific measuring apparatus on board the spacecraft is equipped with them. These devices demonstrate mainly the extreme areas of application of the thick film technology: – high voltage cascades and resistor networks in the meg to gigohm range with high stability and precision for the generation, control and distribution from 1 kV up to 6 kV direct current; precision ceramic substrates for “Channeltron” semiconductor miniature secondary electron multipliers; new techniques for the precise mounting and positioning of ceramic substrates; special fluxfree soldering with lead and cadmiumfree special solders; compact, shock and vibration resistant complex ceramic Space-Packs® modules, incorporating ferrite core transducers and diodes for driving 3 HELIOS core memories; specially sawn, ground and drilled ceramic substrates functioning as non-degassing, inorganic, miniature high voltage printed circuit boards with plated trough-holes; high voltage insulating and screening tubes; supporting substrates for miniature mercury capillary relays for 1 kV d. c.; miniature collector caps for “Channeltrons” and more.

All thick film components have successfully passed the HELIOS space environmental tests. These include vacuum, thermal cycling and thermal vacuum tests. In addition, the tests required by GfW and NASA specifications for humidity, shock and vibration as well as electrical stress testing in normal atmospheres have been passed.

In this year at Oberdischingen near Ulm a new factory of more than 1000 square metres will be completed for the development and production of hybrid circuits for the scientific, military and civil aerospace, atomic energy, oceanology and medicine.

---

## DANKSAGUNG

Für Bild- und Textmaterial und die freundliche Erlaubnis zur Veröffentlichung dankt der Autor der

Gesellschaft für Weltraumforschung GfW  
Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH MBB  
Unternehmensbereich Raumfahrt

Dornier AG  
Raumfahrtelektronik GmbH + KG RFE  
Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik  
TU Braunschweig  
Institut für Geophysik und Meteorologie  
Institut für Datenverarbeitungsanlagen  
Universität Kiel  
Max-Planck-Institut für Kernphysik

## 1. Einleitung

„HELIOS“ wurde als bisher größtes deutsches und größtes binationales Raumfahrtprojekt der USA unternommen zur Erforschung des extrem sonnennahen Raumes und zum Ansporn für die Erarbeitung moderner raumfahrtorientierter Technologien und Managementmethoden. Die Gesamtkosten sind auf eine halbe Milliarde DM veranschlagt. Je 1 Exemplar der spinstabilisierten, garrollenförmigen Sonnensonde (Bild 1) von 2.80 m Durchmesser, 3.80 m Höhe (mit Antenne) und 260 kg Gewicht wird im Juni 1974 und Oktober 1975 gestartet. Die HELIOS-Sonden werden näher zur Sonne vordringen als je ein Raumflugkörper zuvor (bis auf 37 Millionen km = 1/4 des mittleren Erde-Sonne-Abstandes). Die Hitze-, Ultraviolett- u. a. Strahlungsbelastung wird dabei das 16-fache der irdischen Maximalwerte erreichen. Um die 18-monatige Funktion der wissenschaftlichen Nutzlast, der Bordversorgungseinrichtungen, Sende- und Empfangsanlagen sicherzustellen, mußten schwierige technologische Probleme gelöst werden. Hierzu gehören ausgasungsfreie strahlungsresistente temperatur- und spannungsfeste, miniaturisierte elektronische Bausteine, zu denen die hier beschriebenen Hybrid-ICs in Dickfilmtechnik zählen.

## 2. Hochspannungskaskaden

Die beiden oberen Substrate in Bild 2 sind die unbestückte Unterseite und die mit Kondensatoren und Dioden bestückte Oberseite einer typischen Hochspannungskaskade (50 x 50 mm). Die gesamte Kaskade besteht aus 12 Stufen mit 24 Dioden, 30 Kondensatoren und einigen Widerständen für die Regelspannung. Ihre Eingangsspannung beträgt maximal 400 Vpp/60 kHz. Sie versorgt die „Channeltron“-Multipliiert (Bild 2 unten) mit 4 kV= Hochspannung, wenn auf dem kontinuierlichen Halbleiterbelag im Inneren dieser Bleiglaskapillaren ein Vervielfachereffekt ausgelöst werden soll. Bild 3 zeigt den geöffneten Innenraum von einem der 3 Sensoren des MAX-PLANCK-INSTITUTS FÜR EXTRATERRESTRISCHE PHYSIK, zur Messung der niederenergetischen Teilchen des Sonnenplasmas (Sonnenwind). Hier sind 9 Channeltron-Substrate auf einer gemeinsamen Achse direkt mit den Kaskaden zusammengebaut. Dadurch sind die hochohmigen, empfindlichen Verbindungsleitungen kurz und störungsfrei. Unter der Säule befinden sich weitere Hochspannungs-Hybridschaltungen. Auf dem Substrat von Bild 4 ist ein Miniatur-Stabrelais von etwa 27 mm Länge und 4 mm  $\varnothing$  erkennbar. Mit diesem Quecksilberfaden-Gasdruckrelais wird eine Gleichspannung von etwa 1 kV durch einen geringen Steuerstrom potentialfrei und prellfrei ein- und abgeschaltet.

Der Sensor-Innenraum darf keinerlei organische Substanzen wie Isolierstoffe, Lacke, Schaltkarten, Kleber usw. enthalten um Fehlmessungen zu vermeiden, die im Vakuum durch ausdampfende Gase (Feuchte, Spaltprodukte) auftreten würden.

Der Einsatz der Dickfilm-Keramiktechnik anstelle konventioneller Schaltkarten geschieht deshalb hier vor allem wegen der Reinheit, Ausgasungsfreiheit und Strahlungsresistenz der Aluminiumoxid-Keramiksubstrate (vorzugsweise  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 96 % und 99,5 %). Zudem ermöglichen die besseren elektrischen, klimatischen und mechanischen Eigenschaften der Keramik-Edelmetall-Schaltungen einen dichteren und hochspannungsfesteren Schaltungsaufbau:

Durchschlagsfestigkeit                    8 kV/mm bei 60 Hz

Keine Verminderung der Überschlagsfestigkeit durch Verbrennungsrückstände nach Überschlägen

Spezifischer Widerstand	$10^{14}$ Ohmcm bei 25° C
	$10^{10}$ - $10^{12}$ bei 300° C
Verlustfaktor tg $\delta$ (nach MIL-I-10, 48 h in $\text{H}_2\text{O}$ , 1 MHz - 25 GHz	0,0001 für $\text{Al}_2\text{O}_3$ 99,5 %
	0,001 für $\text{Al}_2\text{O}_3$ 96 %

Mit Edelmetall-Dickfilmleitern lassen sich weiterhin die Verschlechterungen und Ausfälle verhüten, die bei herkömmlichen Technologien durch Silber- und Zinnwanderung, sowie elektrolytischer und Kontaktkorrosion auftreten können.

Ein wichtiger anderer Vorteil der Keramik ist auch ihre hermetische Dichtigkeit gegen Wasserdampf. Dadurch sind die guten elektronischen Eigenschaften auch bei Änderungen der relativen atmosphärischen Feuchte, des Luftdrucks und der Temperatur stabil und die Substrate verwerfen sich weder durch Austrocknen noch Quellen.

Schließlich können die Edelmetall-Dickfilmleiter auf den Keramiksubstraten mit Glasuren oder glaskeramischen Deckschichten hermetisch dicht überschmolzen werden. Dadurch wird eine Überschlagfestigkeit zwischen benachbarten Leiterbahnen und eine Durchschlagfestigkeit bei Leitungskreuzungen erzielt, die der Durchschlagsfestigkeit des Keramiksubstrats gleichkommt. (z.B. 400 V bei 40  $\mu$  Schichtdicke).

Durch beidseitige Bedruckung und Bestückung der Substrate, auf die wir spezialisiert sind, können Volumen und Gewicht nochmals halbiert werden. Gleichzeitig steigt die Zuverlässigkeit durch den Wegfall der äußeren Zwischenverbindungen.

Bild 8 läßt Hochspannungskaskaden und die ähnlich aufgebaute Siebkette erkennen, die den Mikrometeoritendetektor des MAX-PLANCK-INSTITUTS FÜR KERNPHYSIK, Heidelberg speisen. Bild 7 gibt die Vorder- und Rückseiten der noch unbestückten, 42 x 55 mm großen, Keramiksubstrate wieder.

### 3. Hochohmige Hochspannungsteiler

Auf den Substraten der Bilder 6 und 7 sind die schwarzen Elemente Dickfilmwiderstände ohne Deckglasur. Andere Dickfilmwiderstände sind durch die Schutzglasur hindurch erkennbar. Bei Widerstandnetzwerken zeigen sich Volumen- und Raumverminderung durch die Dickfilmtechnik gegenüber Schaltungen mit diskreten Bauelementen am deutlichsten. Über die Dickfilmwiderstände werden anschließend Kondensatoren, Dioden u. a., eingelötet, so daß sie auch keine größere Substratfläche für sich allein beanspruchen. Im Bereich der hochohmigen Hochspannungswiderstände, z. B. bei 1 bis 1000 Megohm, erzielen die neueren Qualitätsdickfilme mit Temperaturkoeffizienten von 30 bis 100 ppm/° C und Spannungskoeffizienten von 20 bis 80 ppm/° C mit Metallfilmen vergleichbare elektrische Werte bei geringeren Kosten. Gegen Stoß und Vibration sowie atmosphärische Einflüsse sind die glasurgeschützten Dickfilmwiderstandnetzwerke stabiler und durch die Vermeidung von 2 Lötstellen pro Widerstand nochmals sicherer. Durch die Glasurabdeckung des verbindenden Leitungsnetzwerkes können die Widerstände dichter angeordnet werden ohne Gefahr von Überschlägen. 20 Widerstände zu je 20 Megohm, 2 %, 50 ppm/° C, der beiden unteren Substratreihen in Bild 7 teilen 4 kV= in 200 V-Schritten für Speisung der 20 Dynoden des Mikrometeoritendetektors.

Der meanderförmige Widerstand links unten hat mit 1 Gigaohm, 5 %, 150 ppm/° C, 4 kV, den höchsten Widerstands- und Spannungswert dieser Substratfamilie.

### 4. Hochspannungs-Schaltkarten

Die guten Hochspannungs- und Weltraumeigenschaften der Oxidkeramik haben die Ausführung u. a. auch der Verdrahtungsplatine für den Hochspannungsteil des HELIOS-Plasmaexperimentes in Dickfilmtechnik bestimmt. Die Bilder 5a und b zeigen Unter- bzw. Oberseite des Substrates von 85 mm Basislänge. Zur mechanischen Entlastung der Lötstellen sind die Anschlußdrähte durch metallisierte Substratbohrungen gesteckt und auf der Unterseite zu Ösen geformt. Alle Edelmetall-Leiterbahnen sind unter einer Keramikschicht hermetisch dicht verlegt; Versuche haben gezeigt, daß benachbarte Leiter von 1 mm Abstand über mindestens 1 Jahr mit mindestens 800 V= Spannungsdifferenz unter Normalbedingungen ohne Anzeichen schädlicher Nebenwirkungen betrieben werden können. Die Spannungsfestigkeit über kurze Meßzeiten beträgt ein Mehrfaches.

## 5. Dimensionierung der Spannungsfestigkeit

Die Abstände der Schaltungspunkte unterschiedlichen Potentials sind nach der NASA-Spezifikation SP-208 „The Prevention of electrical breakdown in Spacecraft“, des GSFC, berechnet. Dabei wurde die Kundenforderung berücksichtigt, nach der die Dickfilm-Hochspannungsschaltungen nicht nur im Vakuum, sondern auch unter normalen atmosphärischen Bedingungen funktionsfähig sein müssen. Hierdurch können die Bausteine an normalen Laborplätzen gemessen werden. Dies hat die Entwicklungsarbeiten und die Qualitätssicherung in der Fertigung wesentlich für den Kunden vereinfacht und beschleunigt.

Die Lötstellen sind soweit möglich nach der GfW-Spezifikation 005 „Fertigungsvorschrift für die Herstellung zuverlässiger handgelöteter elektrischer Verbindungen“ ausgeführt. Zur Erzielung der Hochspannungsfestigkeit sind allerdings die Lötstellen möglichst kugel- oder halbkugelförmig geformt, weil der nach GfW 005 geforderte magere Lotauftrag zu Spitzenentladungen und Koronaerscheinungen führen kann.

## 6. Ringkern-Übertragerbausteine

Bild 10 zeigt einen neuen, besonders raumfahrtgeeigneten 4 k bit Kernspeicher. Er wurde, ausgehend von Arbeiten des Instituts für Datenverarbeitungsanlagen der TU Braunschweig, von der DORNIER AG entwickelt und gefertigt. Der Speicher wird in 3 der 10 HELIOS-Experimente eingesetzt: E6 „Kosmische Strahlen“ der Universität Kiel, E4 „Searchcoil-Magnetometer“ der TU Braunschweig und im vorgenannten Plasma-Experiment E1.

Zur Ansteuerung der Kernspeichermatrix werden 96 Miniatur-Ferritkernübertrager benötigt, die zusammen mit 192 JAN-TX-Dioden (DO 34, 35) in 12 Hybridbausteinen untergebracht sind. Bild 11 zeigt die Schaltung dieser Bausteine, Bild 12 ein geöffnetes Exemplar und ein vergossenes, Bild 13 die Vorderseite der bestückten Speicherkarte, die auch in Bild 10 erkennbar ist. Die Rückseite der Speicherkarte ist ähnlich wie die Vorderseite bestückt.

In jedem der Bausteine von 25 x 13 x 6 mm Größe und 5 gr Gewicht sind 8 Übertrager mit zusammen 40 Anschlüssen, 16 Dioden mit 32 Anschlüssen und 20 Pins miteinander verbunden. Für die Primärwicklungen aus 80 Windungen Feinsilberdraht von nur 80  $\mu$   $\varnothing$  konnte keine Ringkernwickelmaschine ausfindig gemacht werden und beim Abisolieren und Verzinnen mit normalen Verfahren lösten sich die Drähtchen auf. Neue Wickel- und Löttechniken wurden erarbeitet und erfolgreich angewendet.

Die schwierigste Forderung bestand in einer Vergußmasse, die auch bei -40° C und darunter noch so elastisch ist, daß sie die magnetostriktiven Schwingungen der Kerne nicht behindert, so daß stabile Übertragungseigenschaften über den gesamten Temperaturbereich gewährleistet sind. Andererseits darf die Vergußmasse nicht so weich sein, daß sie bei Vibrationstests (5 - 2000 Hz, 10 - 400 g) und Schocktests (40 - 2000 g) Kernverschiebungen zuläßt und Anschlußdrähtchen abreißen. Ein modifiziertes mäßig ausgasendes Silikonharz ergab die besten Resultate der Versuchsreihe.

In diesem Anwendungsfall wurde die Dickfilm-Keramiktechnik nicht wegen ihrer oben genannten Vorteile gewählt, sondern als Montage-, Kontaktierungs- und Kapselungstechnik hoher mechanischer Stabilität. Im vorliegenden Fall tritt hinzu der Volumen- und Gewichtsgewinn durch den Aufbau als SPACE-PACK<sup>®</sup>. Bei diesem entfällt die äußere Kapsel, weil als Boden und Deckel die Keramiksubstrate selbst dienen. Gleichzeitig vermindert sich die Zahl der äußeren Verbindungen und Lötstellen auf die Hälfte, wodurch sich die Zuverlässigkeit zusätzlich erhöht.

## 7. Keramische Konstruktionsteile mit Dickfilmelementen

Die hohe Festigkeit, Maß- und Formhaltigkeit, Feuchte- und Temperaturstabilität im Verein mit der präzisen Bearbeitbarkeit machen die Keramikelemente auch zu hochwertigen Konstruktionsteilen, die sich mit den Möglichkeiten der Dickfilmtechnik oft gleichzeitig als Schaltungsträger benutzen lassen. Beispiele hierfür sind die in Bild 2 und 3 gezeigten Channeltron-Trägersubstrate. Durch in 3 Ebenen geschliffene Anlagekanten und -flächen und die Einlötlung der Channeltrons mit einer präzisen Lehre (Schutzgas, flußmittelfrei, Sonderlote), können die Einfallsebenen und -achsen der Channeltronrichter in dem Sensorgehäuse auf 10  $\mu$  genau ausgerichtet werden.

Die von uns entwickelte Einspannzone aus geschliffenem Metallpunktraster erlaubt zugleich den elektrischen Anschluß und vermeidet die Verletzung der besonders dichten, ausgasungsfreien und für Dickfilme hafteren oberflächlichen Brennhaut der Keramik durch Planparallel-Schleifen.

Andere Konstruktionselemente mit elektrischer Funktion sind die im oberen Teil von Bild 2 erkennbaren Kollektorkappen für die Channeltrons. Es sind geschliffene Stufenzylinder mit nur 1/10 bis 2/10 mm oberer Wandstärke. Der Auffänger besteht aus einem mit Goldlot hart aufgelöteten Feinsilberblech.

Die danebenliegenden Keramikröhrchen tragen eine Dickfilmmetallisierung und dienen als ausgasungsfreie Isolations- und Abschirmröhrchen für die stöempfindlichen, hochohmigen Hochspannungsleitungen und Signalausgangsleitungen im Sensorinnenraum des Plasmaexperimentes.

## 8. AC/AC-Konverter in Dickfilmtechnik

der in Bildern 9a, b gezeigte einfache Gegentaktwandler von 42 x 55 mm Substratgröße dient zur Umspannung von 5 Vss in 800 Vss / 20 kHz zur Speisung der Hochspannungskaskaden. Dieser Baustein zeigt, daß auch relativ technologiefremde, sperrige konventionelle Bauteile wie größere Ringkerntrafos, TO 5-Transistoren, große Folienkondensatoren usw. auf Keramiksubstrate setzbar sind.

## 9. Qualifikationsvorschriften für die HELIOS-Mission

Die Qualifikationsvorschriften für die HELIOS-Mission sind zu umfangreich um hier auch nur zusammengefaßt dargestellt zu werden. Sie wurden von allen unseren Dickfilmbausteinen vollständig erfüllt. In die protokollierte Fertigung wurde als wichtiger, speziell für Dickfilm-Keramikschaltungen typischer Zuverlässigkeitswert die Abreißkraft von Test-Anschlußdrähten vertikal zur Lötstelle ermittelt, und zwar an 2 Stellen jeder Substratseite. Wichtig für die Vergleichbarkeit der Abreißkräfte ist die Ziehgeschwindigkeit. Die Tests werden nach NASA- und GfW-Vorschrift 005 mit einer Ziehgeschwindigkeit von 12,7 mm je Minute auf einem Dehnungsmeßgerät ausgeführt.

## 10. Einsatzbereich und Wirtschaftlichkeit der Dickfilmtechnik

Die dargestellten Hybrid-ICs für die Sonnensonde HELIOS lassen erkennen, daß die Materialien und Verfahren der Dickfilmtechnik weit über das übliche Einsatzgebiet hinaus angewendet werden können. Dabei können sie, bei fachgerechter Anwendung, durch höhere mechanische, thermische, klimatische und elektrische Stabilität, höhere Strahlungsresistenz, Reinheit und Ausgasungsfreiheit höhere Zuverlässigkeitsforderungen erfüllen, als konventionelle Technologien. Dadurch sind die Dickfilm-Hybridschaltungen für die Raumfahrt besonders geeignet. Hochspannungs-Hybridschaltungen für 50 kV und darüber scheinen bei richtiger Dimensionierung durchaus realisierbar.

Bei technologiegemäßer Entwicklung und Fertigung kann der Qualitätsgewinn, den die Dickfilm-Keramiktechnik ermöglicht, sowohl bei Kleinserien von Sonderbausteinen wie auch bei mittleren Stückzahlen wirtschaftlich erzielt werden.

Kleinere, bewegliche Spezialbetriebe mit geringen Gemeinkosten können in vielen Fällen – z.B. bei Multilayern – die zuverlässigeren Dickfilmbausteine sogar schneller und preiswerter liefern als dies normalerweise bei konventionellen Bausteinen möglich ist.

Ein über 1000 qm großes Spezialwerk mit 55 Arbeitsplätzen für die Entwicklung und Fertigung von Hybrid-ICs für die Luft- und Raumfahrt, Kerntechnik, Meeresforschung, Medizin u. a. ist in diesem Jahr in Oberdisingen bei Ulm fertiggestellt worden (Bild 14)

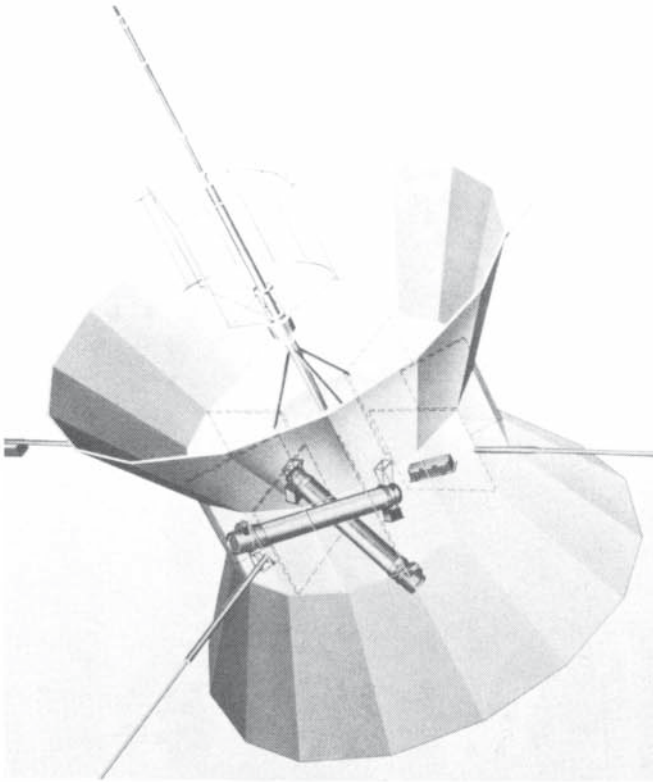


Bild 1: Sonnensonde HELIOS mit Mikrometeoritenexperiment E1 des MPI f. Kernphysik.

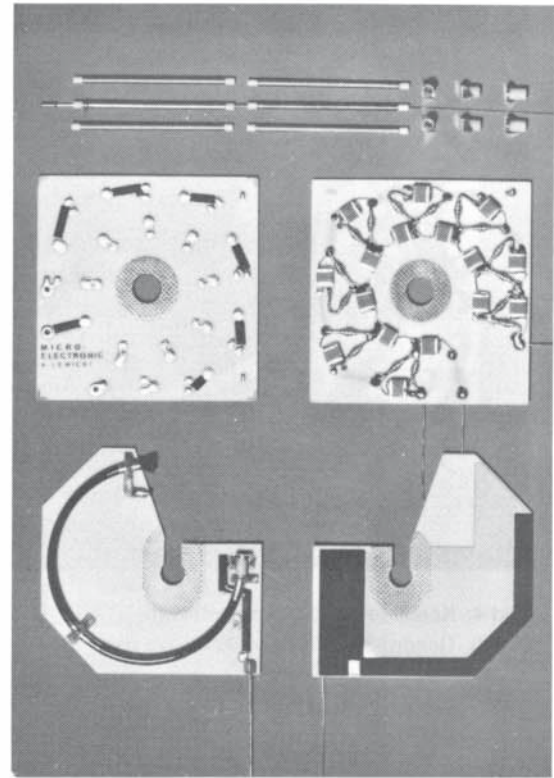


Bild 2: Channeltron-Substrat mit HV-Kaskade (5 × 5 cm)  
Oben HV-Abschirmröhrchen

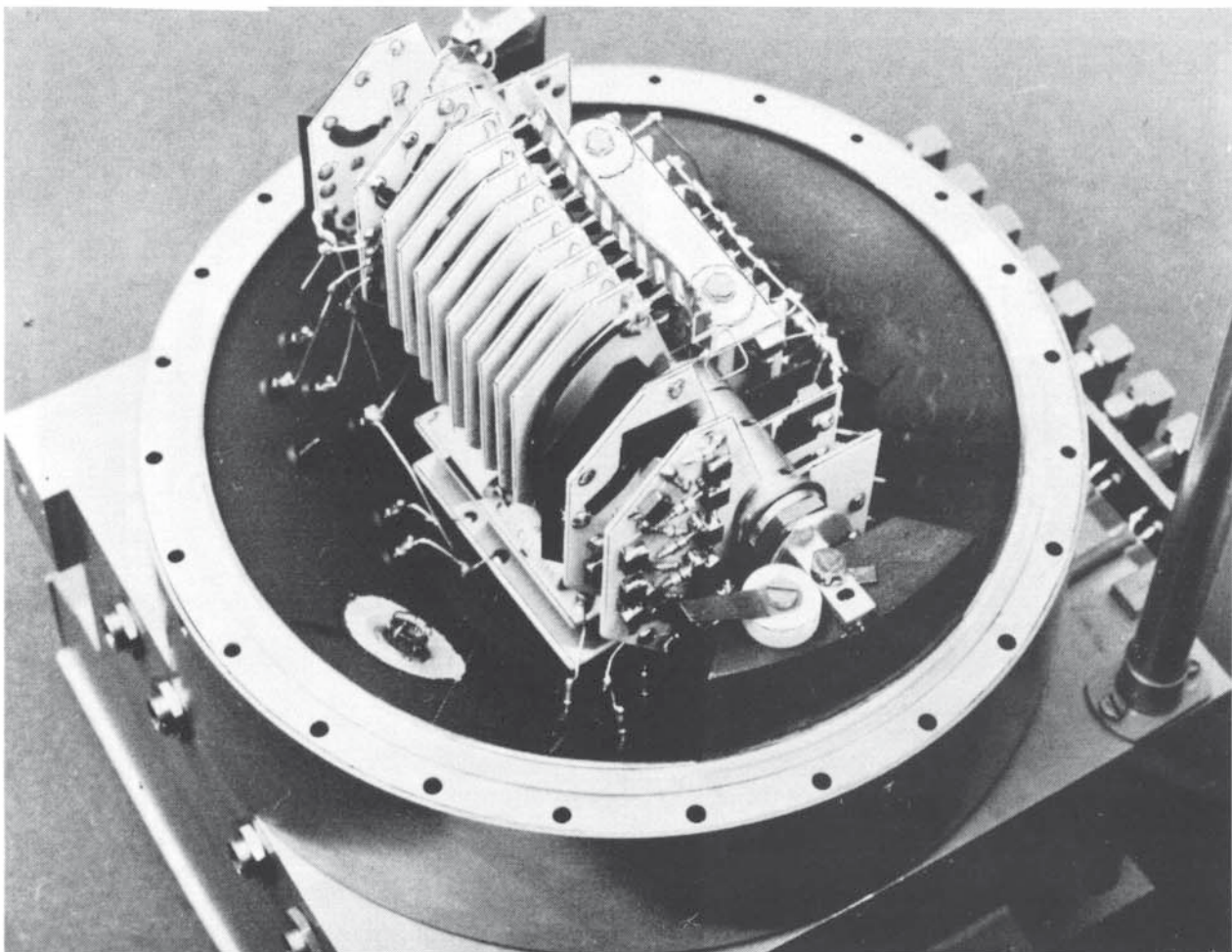


Bild 3: Innenraum eines der 3 Sensoren des Plasma-Experiments (Sonnenwind) des MPI für Extraterrestrische Physik. Werkbild MBB, Unternehmensbereich Raumfahrt.

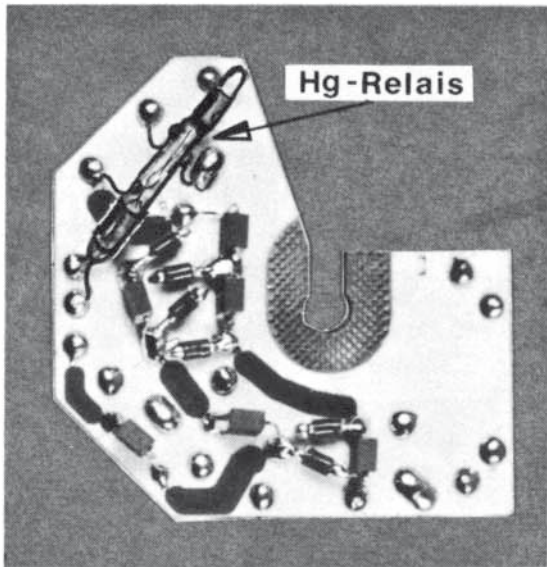


Bild 4: Kaskade mit Quecksilberfaden-  
(links) Gasdruck-Relais zur Schaltung von 1 kV=

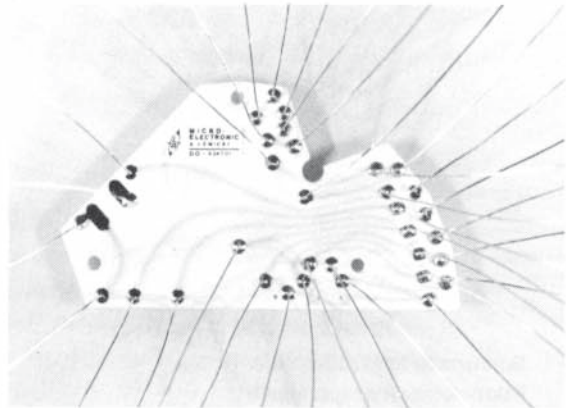
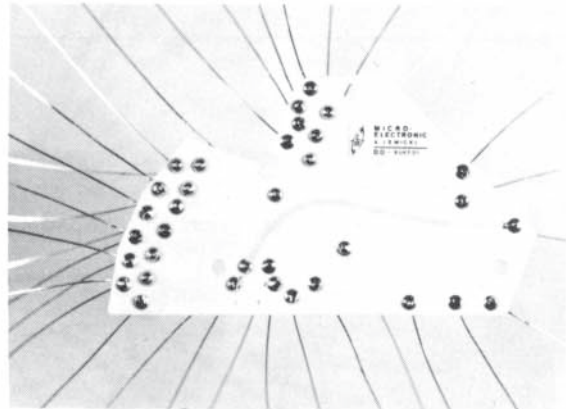


Bild 5: Ober- und Unterseite einer durch-  
(rechts) metallisierten HV-Schaltkarte  
(Basis 85 mm)

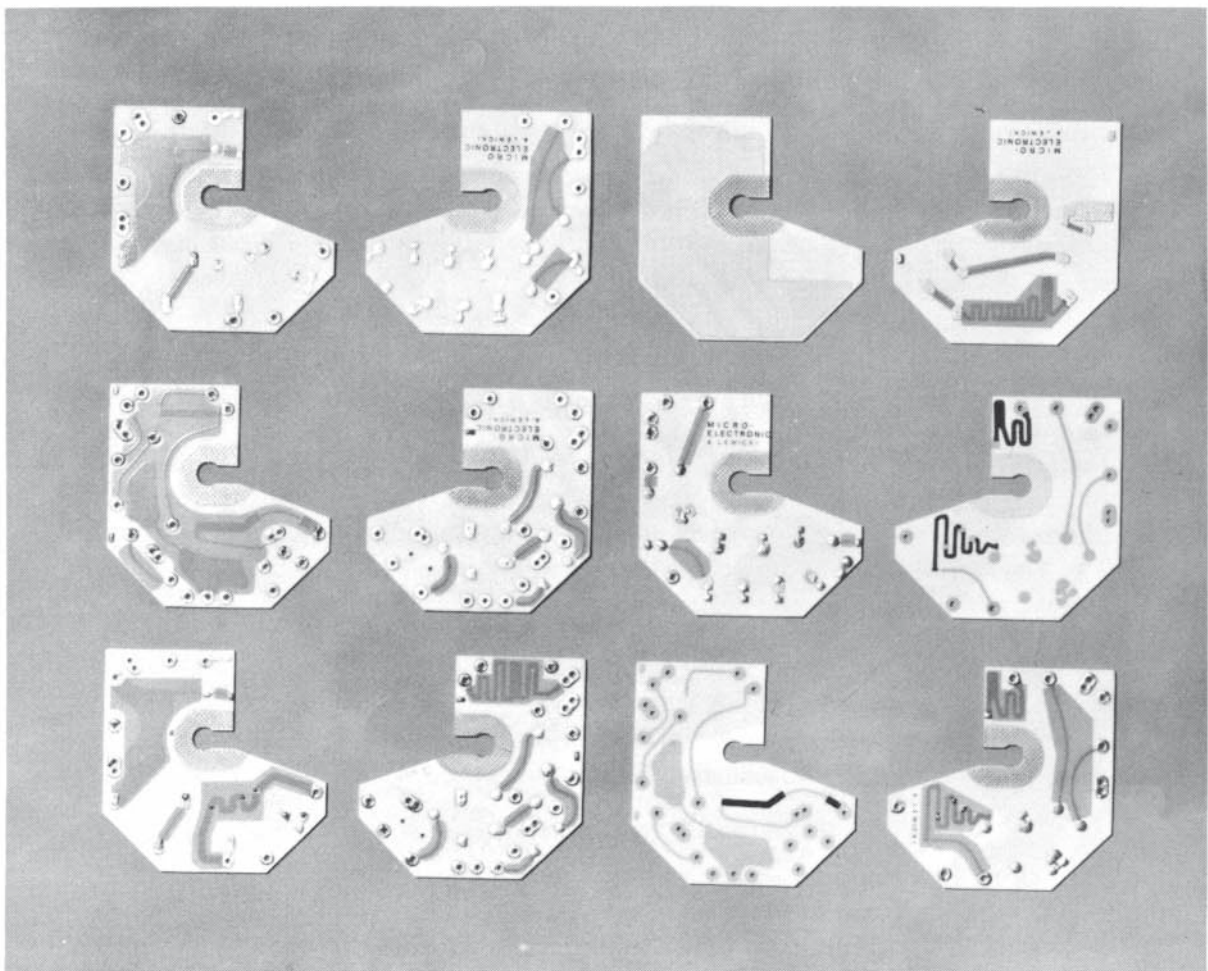


Bild 6: Vorder- und Rückseiten von Hybrid-ICs für HELIOS-Experiment E1, vor der Bestückung, mit und ohne Glasur



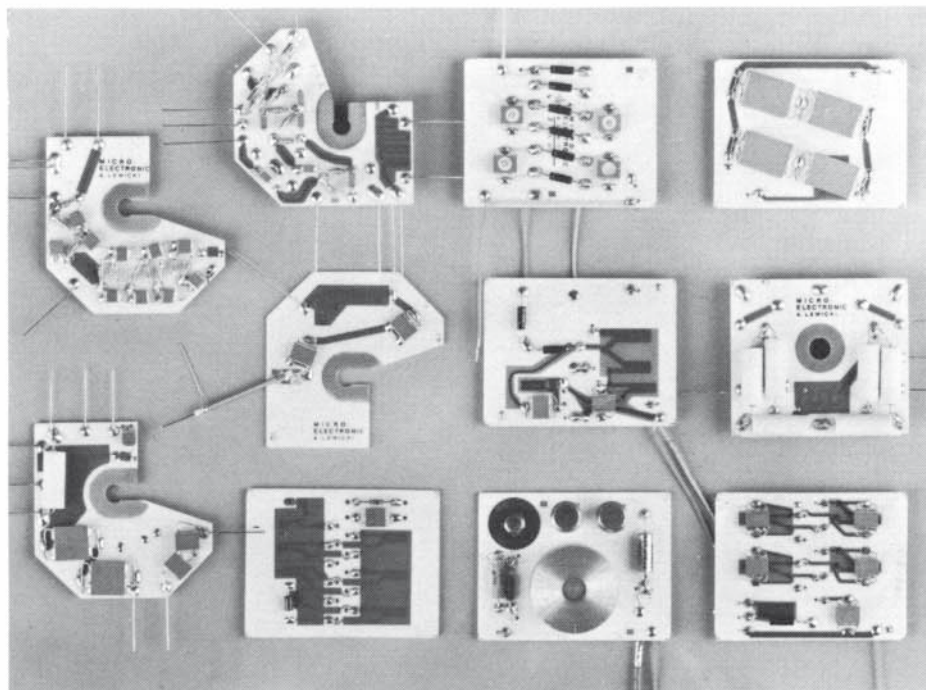
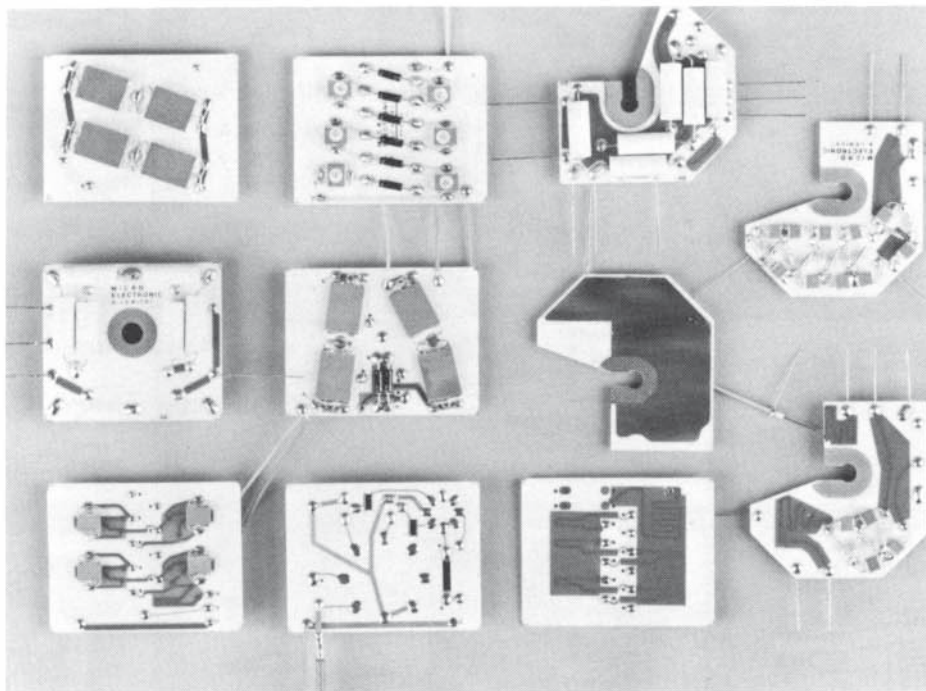


Bild 7a, b: Vorder- und Rückseiten der Substrate von den Bildern 6 und 7 nach der Bestückung.

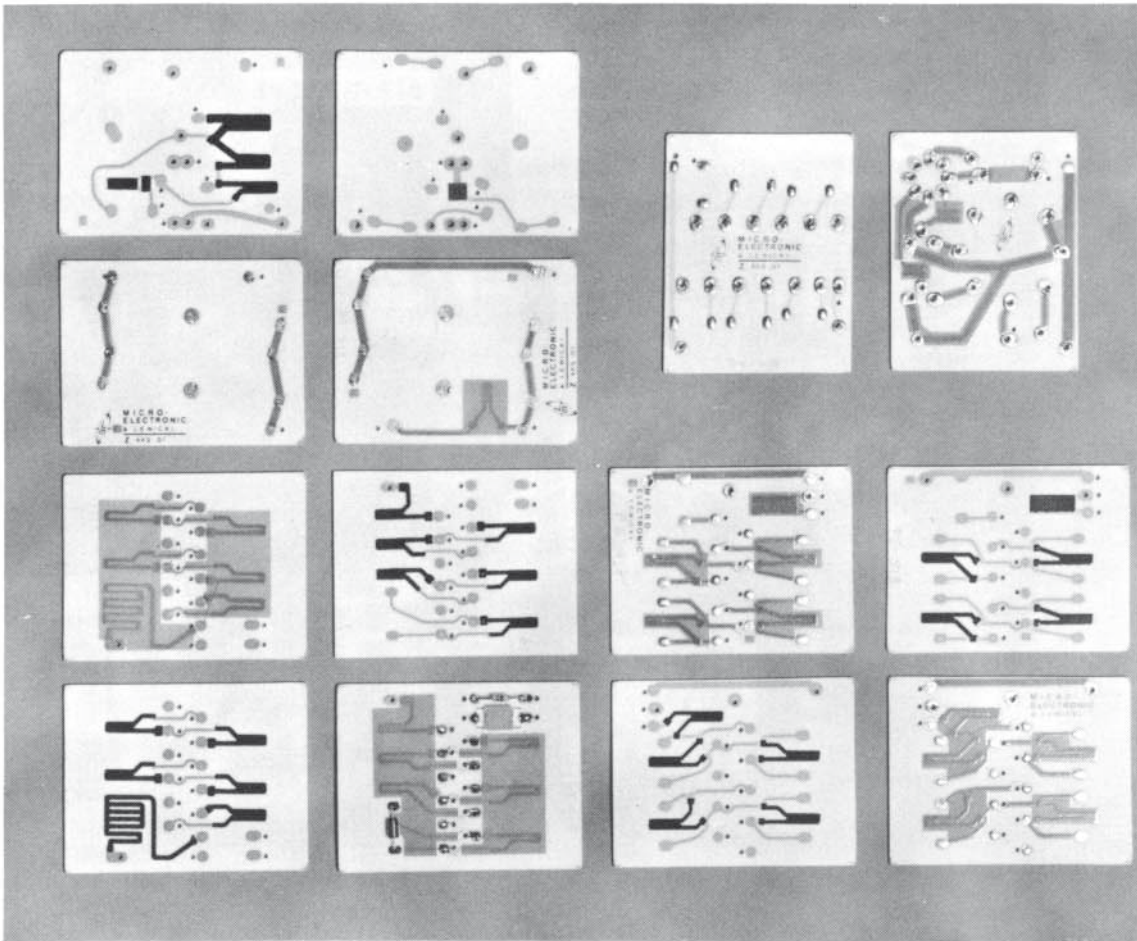


Bild 7: Vorder- und Rückseiten von Hybrid-ICs für HELIOS-Experiment E10, vor Bestückung, mit und ohne Glasur

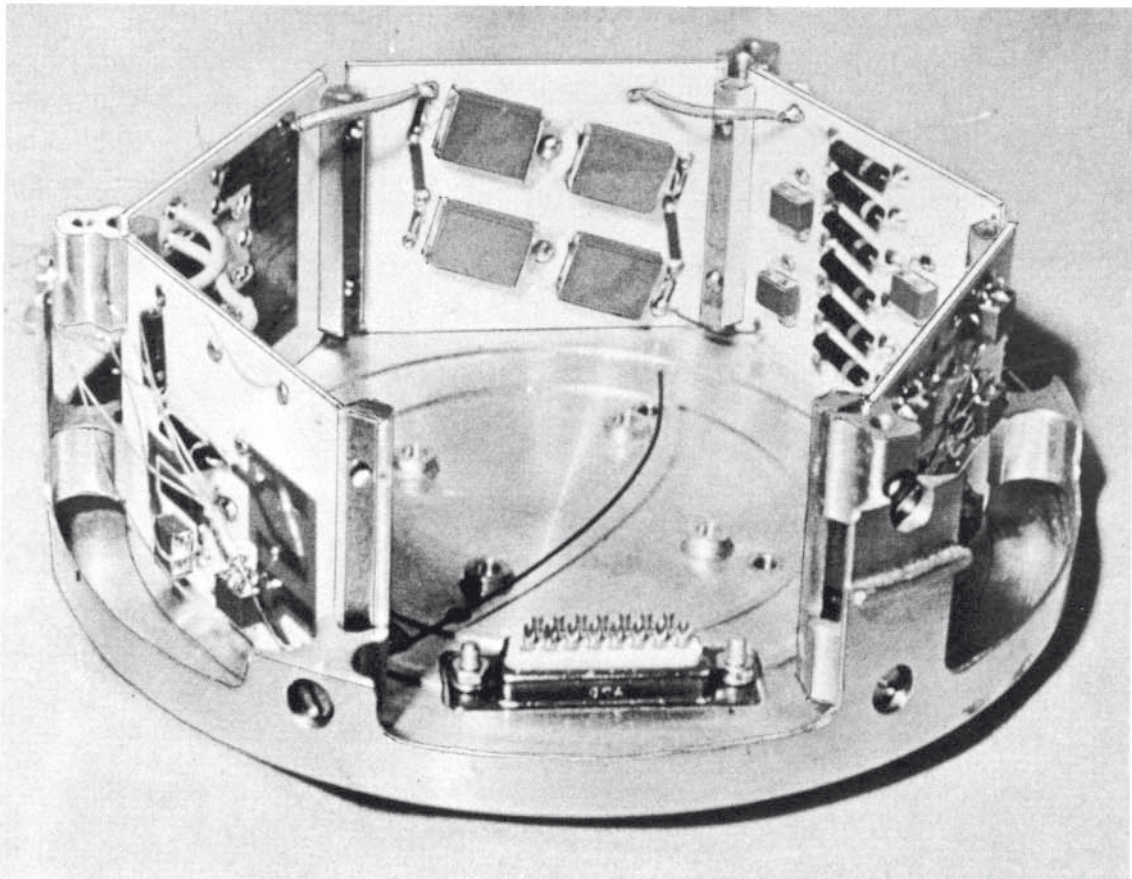


Bild 8: HV-ICs und AC/AC Konverter für E10. Werkbild RFE

Bild 9: 5 Vss/800Vss, 20 kHz Gegentaktwandler für HELIOS-Experiment E 10.  
 Links Vorderseite (42 × 55 mm) mit Ein- und Ausgangstrafo, TO 5-Transistoren und Kondensatoren.  
 Rechts Rückseite mit 3 Widerständen.  
 Das Substrat dient zugleich als Kühlkörper.  
 Bild RFE

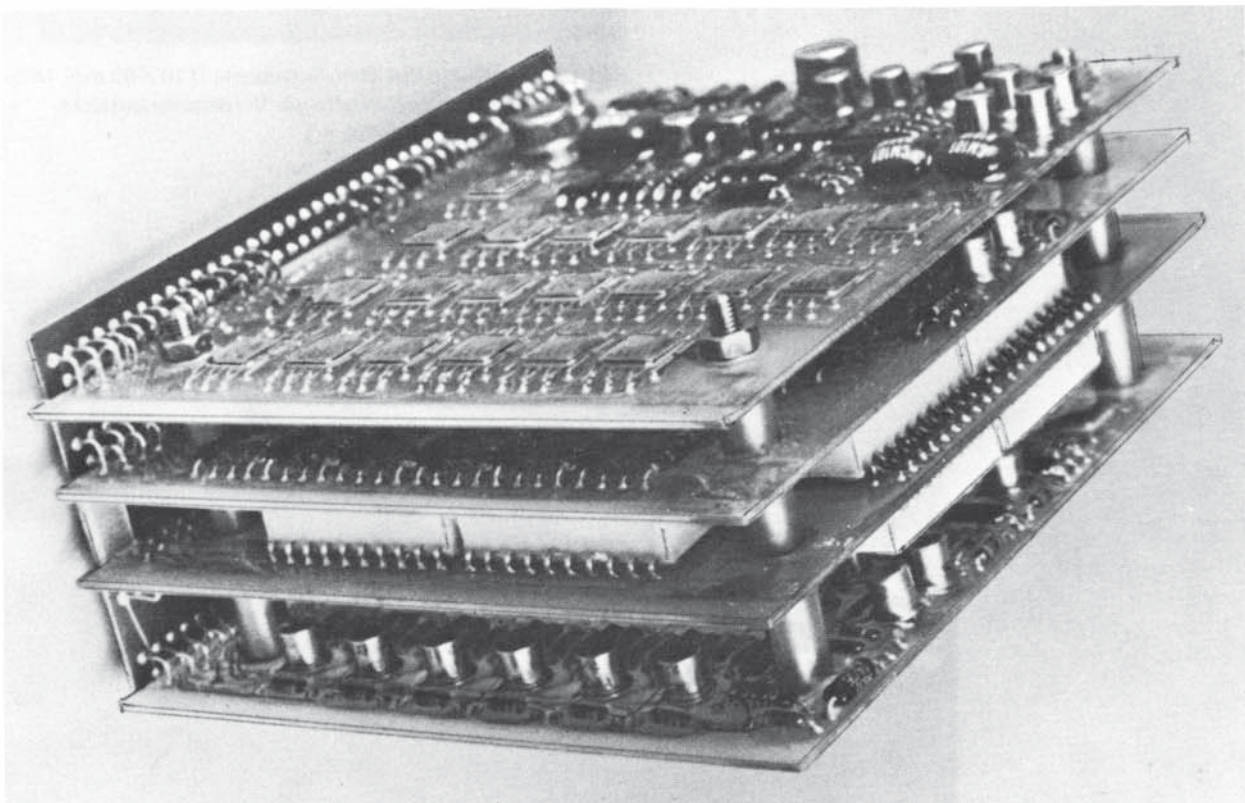
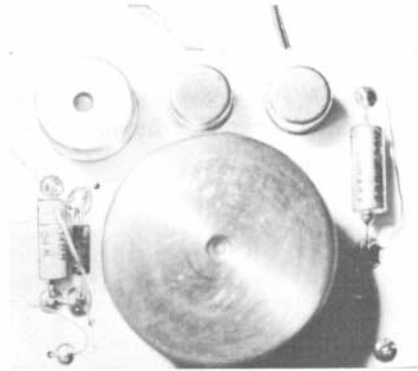
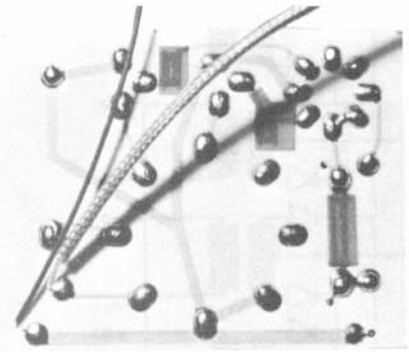


Bild 10: HELIOS-Kernspeicher (4 k bit) für Experimente 6, 4, 1. Die 2. Schaltkarte v. u. ist die eigentliche Speicher-Schaltkarte mit Kernmatrix und Ringkern-Übertrager-ICs, vgl. Bild 13.  
 Werkbild DORNIER AG

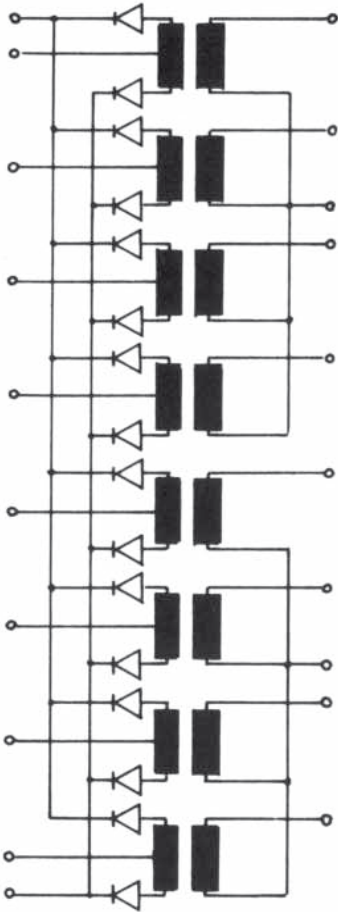


Bild 11: Schaltbild des Übertrager-Hybridbausteins

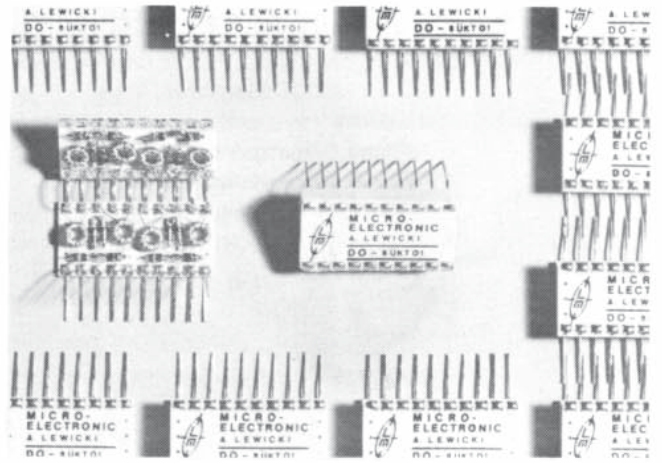


Bild 12: Geöffneter und vergossener Übertrager-Baustein (25 × 13 × 6 mm, 5 gr.)

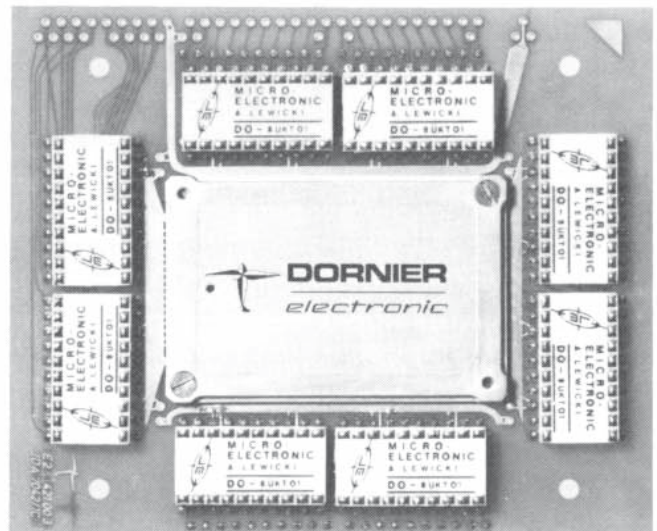


Bild 13: Bestückte Speicher-Schaltkarte (110 × 90 mm). Mitte Kernmatrix. Rückseite wie Vorderseite bestückt. Werkbild DORNIER AG.

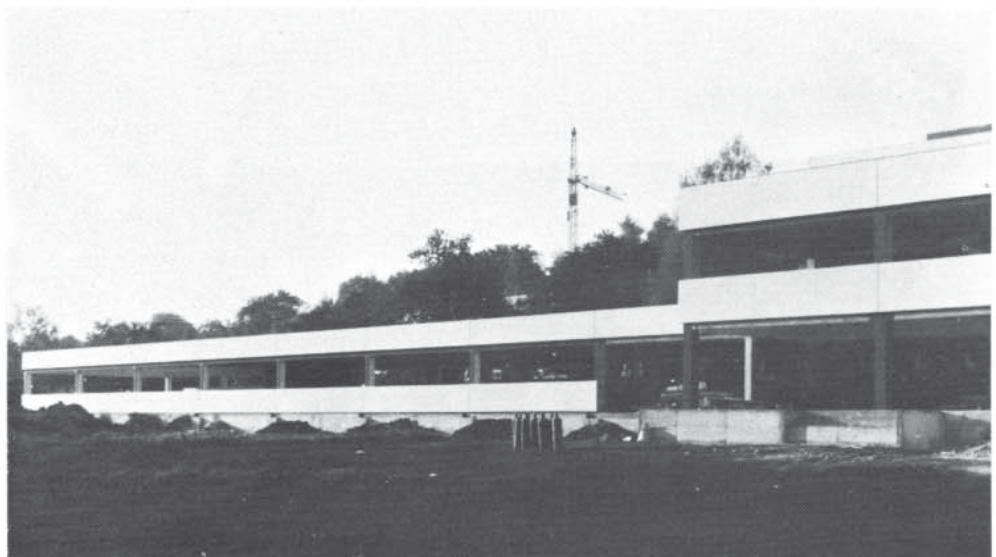


Bild 14: Spezialwerk für Hybrid-ICs in Oberdisingen, 1972 fertiggestellt. Nutzfläche über 1000 qm. 55 Arbeitsplätze. Werkbild MICROELEKTRONIC, LEWICKI