

75 Jahre Transistor

Hermann Schumacher, DF2DR



Ein hundertjähriger Traum





Lee de Forest (Quelle: Betmann/Getty Images)

Ortsverband Ulm, P14

22

Zwischenbetrachtung: Halbleiter





Dotierte Halbleiter





 $n \cdot p = n_i^2$

Oberflächenzustände





Den Oberflächeneffekten auf der Spur



Unsere Hauptdarsteller:



John Bardeen (1908-1991) US-amerikanischer Physiker



Walter Brattain (1902-1987) US-amerikanischer Physiker



William Shockley (1910-1989) US-amerikanischer Physiker Boss von Bardeen und Brattain



Rückseitenpotential

Die Idee ...

Ortsverband Ulm, P14

6

Der berühmte Messaufbau





Quelle: Nokia Bell Laboratories

Das Labortagebuch



DATE Dec 74 1 CASE No. 39129 We altained the fallaring A. C. values at 1000 cycles = .015 17. 14. 2. valle Ep = 1,5 R. M.S valle Pp = 2.25×10-5 100 Parnesgain 40 Voltage gam. Carrent less 25 and was then connected the fallowing circuit 2moul 261B 2613 125,000:1000 125,000 !1000 correct was actually 2 pt here cauld been an the heaper and

DATE Dec 24 1947 8 CASE No 38139 was determined e order Madet gain what on greater. Varianse this text and listened witnessed win pricent when. have use the Lellerin R. B. Sidney, H. R. Maare, J. Barden She Pranan, W Sharkles, H. Flitteles R. Baron. my. N. H. H. maare auchted setting up the circuit and the demonstration accured an the afternoon & Dec 221987

Das Patent



UNITED STATES PATENT OFFICE

2,524,035

THREE-ELECTRODE CIRCUIT ELEMENT UTILIZING SEMICONDUCTIVE MATE-RIALS

John Bardeen, Summit, and Walter H. Brattain, Morristown, N. J., assignors to Bell Telephone Laboratories, Incorporated, New York, N. Y., a corporation of New York

Application June 17, 1948, Serial No. 33,466

40 Claims. (Cl. 179-171)

Da fehlt doch wer ...





Wut macht erfinderisch!





31.12.1947-2.1.1948: Shockley erfindet den Sperrschicht-Bipolartransistor als Volumen-Bauelement.

Patented Sept. 25, 1951

2,569,347

UNITED STATES PATENT OFFICE

2,569,347

CIRCUIT ELEMENT UTILIZING SEMICON-DUCTIVE MATERIAL

William Shockley, Madison, N. J., assignor to Bell Telephone Laboratories, Incorporated, New York, N. Y., a corporation of New York

Application June 26, 1948, Serial No. 35,423



So funktioniert Shockleys Bipolartransistor





So funktioniert Shockleys Bipolartransistor



 $I_C \sim \frac{dn_{Basis}(y)}{dv}; I_B \sim \frac{dp_{Emitter}(y)}{dv}$ (Beispiel npn-Transistor) Die Ströme sind Diffusionsströme: n_{Basis}₄ Emitter **Basis** Kollektor U_{BE} UCB $\frac{n_i^2}{N_{A,Basis}}e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$ $I_C \sim e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$ U_{BE}>0; U_{BC}=0 npn Ε С Β n_i^2 y $\overline{N}_{A,Basis}$ $U_{BE}=U_{BC}=0$

Shockley begründet "Silicon Valley"





The original building where Shockley Semiconductor Laboratory opened in 1956.

https://www.eejournal.com/wp-content/uploads/2018/08/Quonset-Hut.jpg

... weil er ein unmöglicher Boss ist.



Die verräterischen Acht (Foto: 1960)



By Wayne Miller - Original publication: Magnum Photos for Fairchild Semiconductor Immediate source: Magnum Photos NYC33964, Fair use, https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=38191310

Transistoren treiben Informationstechnologie

Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.

... aber welche Transistoren?

- 1959: Md. Attalah, D. Kahng erfinden den MOSFET. 1962: Erstes MOSFET-IC.
- 1963: Frank Wanlass erfindet CMOS.
- 1972: Intel 4004 (MOS).
- 1975: Erster reiner CMOS-Mikroprozessor (Intersil)

Huge Volume, Small Price

Price per trillion transistors, US \$; transistors sold per year, trillions





Der MOSFET funktioniert ganz anders.





Bipolartransistor: Steuerung der Steigung der Minoritätsträgerdichte in der Basis. MOSFET: Steuerung der Majoritätsträgerdichte im Kanal.

Bipolartransistor: nicht tot zu kriegen.



IHP 2016



B. Heinemann et al., SiGe HBT with f_T/f_{max} of 505 GHz/720 GHz, IEDM 2016

100-160 GHz FMCW Radar







Das war's, Leute!





Kontakt: Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher, DF2DR DARC OV P14 Email: <u>df2dr@darc.de</u>