

# Physikalische Zuverlässigkeit

Hartmann Hieber

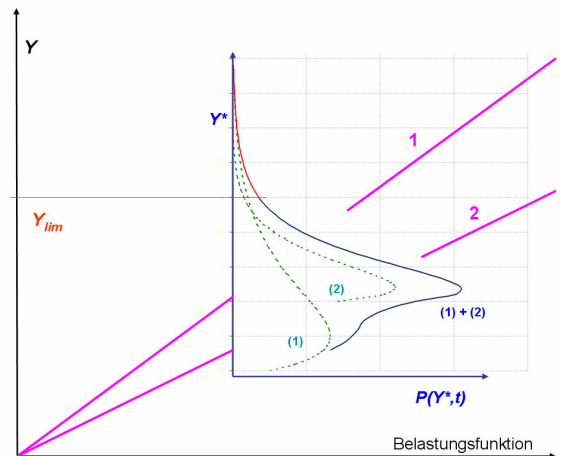
ICR Weimar — 03643-771650 — hieber@icrjena.de

Elektroniksysteme mit Schadensrisiko im Falle des Versagens erfordern eine Fehleranalyse in den potentiellen Schwachstellen. Gewünscht ist die Zuverlässigkeitsprognose über vorgegebene Belastungsfolgen. Die Versagensmechanismen sind oft so miteinander verknüpft, daß bestimmte Fehlerkinetiken direkt voneinander abhängen. Die Fokker-Planck-Gleichung

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Y} \{ f(Y, t) \cdot p(Y, t) \} + \frac{\partial^2}{\partial Y^2} \{ g^2(Y, t) \cdot p(Y, t) \}$$

ermöglicht in höherdimensionaler Form die numerische Berechnung von Fehlerdichte-Verteilungsfunktionen  $p(Y, t)$  aus 2 oder mehr Fehlerkinetiken. Vorgegeben werden die Driftkoeffizienten  $f(Y, t)$  und die Diffusionsterme  $g^2(Y, t)$ .  $Y(t)$  ist die physikalische Größe, über deren Skala die Verteilungen gesucht werden. Die numerische Integration nach der Methode Crank-Nicolson [1] liefert den Fehlererwartungswert dafür, daß  $Y(t)$  die Grenze  $Y_{lim}$  überschreitet:

$$\int_{Y_{lim}}^{\infty} p(Y, t) dY$$



In den untersuchten Anwendungen werden typische Fehlerkinetiken benutzt:

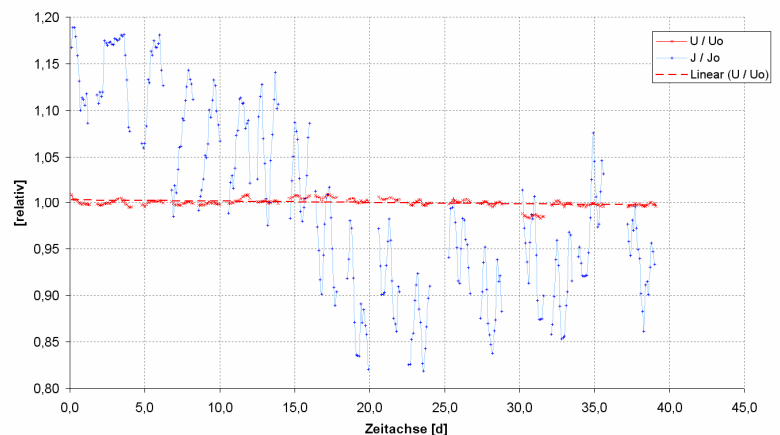
- Wechsel zwischen Reoxidation und Reduktion mit Gaskomponenten unterschiedlicher chemischer Aktivität führen zur reversiblen Diffusion und zur irreversiblen Drift des Widerstandes von Halbleiter-Gassensoren
- Mit IR-Laser gelötete Mikroverbindungen [2] zeigen im Verlauf der mechanischen Wechselbelastung Phasenwachstum, verbunden mit Rißkeimbildung und Rißwachstum bis zum Bruch
- Thermische und mechanische Lastwechsel an Photovoltaik-Modulen führen infolge der Grenzflächendiffusion von Wasser zur Delamination, die sich in Leistungsverlusten auswirkt

Die Funktionen für die Drift und für die Diffusion werden mittels der Maximum-Likelihood-Methode aus den Meßdaten bestimmt, vgl. z. B. [3]. Die Kinetik des lokalen Rißwachstums wird mittels der Cahn-Allen-Gleichung in ähnlicher Weise vorausberechnet, wie sie hier zur numerischen Lösung der Fokker-Planck-Gleichung angewandt wird [4]. Die Drift- und Diffusionsfunktionen werden iterativ aus den Meßdaten optimiert.

Die experimentelle Bestimmung niedriger Ausfallraten für  $\geq 2$  Fehlertypen ist aufwendig. Deshalb wird eine vereinfachte Formulierung der Lösung für Fehlerdichte-Verteilungsfunktionen vorgeschlagen, die auf der klassischen Mott-Formel

$dp/dY = A_1 \exp\{-(Y(t)-Y_1)/\tau_1\} + A_2 \exp\{-(Y(t)-Y_2)/\tau_2\}$  beruht, vgl. [5]. Die Methode setzt die Kenntnis der Drift- und Diffusionskoeffizienten in den infrage kommenden Fehlerkinetiken voraus. Damit lassen sich auch niedrige Fehlerraten bis  $< 10^{-11} \text{ h}^{-1}$  für praktische Systeme unterschiedlicher Komplexität bestimmen.

Driftanalyse mit Leerlaufspannung (rot) - Kurzschlußstrom (blau)



[1] Von Rosenberg D U, Methods for the numerical solution of partial differential equations, Amer. Elsevier Publ. (New York, 1971).

[2] Hieber H, Microsoldering with Short-Pulsed IR Laser, EMPC-2011 (Brighton, UK, 2011-09-12/-15).

[3] Kleinhans D, Stochastische Modellierung komplexer Systeme, Diss. U Münster (2008).

[4] Biner S B, S Y Hu, Simulation of damage evolution in composites: A phase field model, Acta mat. 57(2009), 2088-97.

[5] Grady D, Fragmentation of rings and shells, Springer (NY, 2006)