

Integral parameters of xenon dendrites

Doctoral Thesis

Author(s):

Hürlimann, Erich

Publication date:

1992

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000638113>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. No. 9606

INTEGRAL PARAMETERS OF XENON DENDRITES

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

Presented by
ERICH HÜRLIMANN
Dipl. Phys. ETH Zürich
born December 18, 1960
citizen of Walchwil ZG

Accepted on the recommendation of

PD Dr. J.H. Bilgram
Prof. Dr. P. Günter
Prof. Dr. W. Kurz

1991

Abstract

The shape of xenon dendrites has been studied in situ during growth into a 3-dimensional "infinite" volume of supercooled melt. The contours of dendrite projections have been extracted from digitized video pictures by an image processing system. In difference to earlier studies of the properties of the dendrite tip, the whole dendrite has been investigated now. Special emphasis was given on the development of sidebranches and the coarsening process in dendrite regions far away from the dendrite tip. No reproducible parameters have been found to characterize individual sidebranches far from the tip. The following geometry parameters of the dendrite have been determined: the radius of curvature R of the dendrite tip, the distance z_{SB} between the tip and the position of the first sidebranch with an amplitude of about $1 R$ and the amplitude w_p of the sidebranches as a function of the position l_p at the fins along the dendrite. These measurements have been performed in the supercooling range $0.025 \text{ K} \leq \Delta T \leq 0.150 \text{ K}$. Parameters which characterize individual sidebranches do not take into account the interaction of the sidebranches through the diffusion field. A new set of integral parameters is proposed: the contour length U , the projection area F and the volume V of a dendrite. These parameters characterize the integer dendrite. They have been measured in supercooling range $0.025 \text{ K} \leq \Delta T \leq 0.170 \text{ K}$. It is found that parameters characterizing a dendrite are scaled by the tip radius R :

- 1.) The thermal gradient around a dendrite tip is characterized by a length of diffusion ahead of a growing dendrite which is of the order of magnitude of R .
- 2.) The position of the first sidebranch, i.e. the distance z_{SB} from the tip where a sidebranch has the amplitude $1 R$ is about $18 R$ for any supercooling.
- 3.) The sidebranch spacing S near the tip scales with R , i.e. S/R is independent of supercooling.
- 4.) The amplitude w_p of the sidebranches which build the envelope increases with l_p as $(w_p/R) \propto (l_p/R)^{1.72}$.
- 5.) The projection area F of the dendrite is proportional to the contour length U . The proportionality is $4 R$.
- 6.) The filling factor $V/(\frac{4\pi}{3} L^3)$ of a sphere with a volume $\frac{4\pi}{3} L^3$ which contains a dendrite of overall dimension L , is proportional to R .

These relations can be described by modelling the dendrite by simple rods. Using the assumption of continuity for the latent heat, it can be deduced that the filling factor is independent of L ; a result found in the experiments.

Kurzfassung

Es wurden in-situ Xenon-Dendriten untersucht, die in ein 3-dimensionales Volumen unterkühlter Schmelze hineinwachsen. Die Konturen der Dendritenprojektionen wurden mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems von digitalisierten Videobildern extrahiert. Im Gegensatz zu früheren Experimenten, bei denen die Eigenschaften der Dendritenspitze bestimmt worden waren, wurde in diesem Experiment der ganze Dendrit untersucht. Einen Schwerpunkt bildeten die Untersuchungen der Seitenarmentwicklung und des Vergrößerungsprozesses in Regionen weit weg von der Dendritenspitze. Es wurden keine reproduzierbaren Parameter gefunden, die einzelne Seitenarme weit weg von der Dendritenspitze charakterisieren. Folgende Geometrieparameter wurden bestimmt: der Krümmungsradius R der Dendritenspitze, die Distanz z_{SB} zwischen der Dendritenspitze und der Position des ersten Seitenarms mit der Länge R und die Amplitude w_p der Seitenarme als Funktion der Position l_p auf den Rippen, die sich entlang des Dendriten ausbilden. Die Messungen wurden im Unterkühlungsbereich $0.025 \text{ K} \leq \Delta T \leq 0.150 \text{ K}$ durchgeführt. Parameter, welche einzelne Seitenarme charakterisieren, berücksichtigen die Wechselwirkungen zwischen den Seitenarmen nicht. Ein neues Set von vollständigen Parametern wird vorgeschlagen: die Länge U der Dendritenkontur, die Fläche F der Dendritenprojektion und das Volumen V des Dendriten. Diese Parameter charakterisieren den gesamten Dendriten. Sie wurden im Unterkühlungsbereich $0.025 \text{ K} \leq \Delta T \leq 0.170 \text{ K}$. Es wurde gefunden, dass alle Parameter, die den Dendriten charakterisieren, mit dem Krümmungsradius skalieren:

- 1.) Der thermische Gradient um eine Dendritenspitze wird durch eine Diffusionslänge vor dem wachsenden Dendriten charakterisiert. Diese Diffusionslänge ist von der gleichen Größenordnung wie der Krümmungsradius R .
- 2.) Die Distanz z_{SB} beträgt ungefähr $18 R$. Dies wurde für alle untersuchten Unterkühlungen gemessen.
- 3.) Der Seitenarmabstand S in der Nähe der Dendritenspitze skaliert mit R , d.h. S/R ist unabhängig von der Unterkühlung.
- 4.) Die Amplitude w_p der Seitenarme, deren Spitzen auf der Umhüllenden des Dendriten liegen, nehmen mit der Länge l_p folgendermaßen zu:

$$(w_p/R) \propto (l_p/R)^{1.72}.$$

- 5.) Die Projektionsfläche F des Dendriten ist proportional zur Konturlänge U . Die Proportionalitätskonstante beträgt $4 R$.

6.) Der Füllfaktor $V/(\frac{4}{3}\pi L^3)$ einer Kugel mit dem Volumen $\frac{4}{3}\pi L^3$, welche einen Dendriten der Länge L enthält, ist proportional zu R .

Diese Ergebnisse können durch ein einfaches Modell, in dem der Dendrit durch Stäbchen angenähert wird, beschrieben werden. Ausgehend von der Energieerhaltung ergibt sich, dass der Füllfaktor unabhängig von L wird; in Übereinstimmung mit den experimentellen Daten.