

Рисунок 3 – Графики временной зависимости напряжений на электродах полевого транзистора

В заключение можно сказать, что, проведя сопоставление осциллограмм и данных, полученных с узлов реальных макетов, и графиков временной зависимости напряжений в компьютерных моделях катушки Тесла-Бровина, приходим к выводу о большой степени совпадения этих данных. Таким образом, при изучении данного феномена не удалось обнаружить никаких новых процессов.

Литература

1. Бровин В. И. КАЧЕР-технология и её применение в больших сложных системах // В сборнике: Труды четырнадцатой международной конференции: «Проблемы управления безопасностью сложных систем», Москва, ИПУ РАН, декабрь 2006 г., (под ред. Н. И. Архиповой и В. В. Кульбы), М., РГГУ, 627 с. С. 502–505.

2. Горун В. А. Исследование автогенератора высоковольтных колебаний «Качер Бровина» / В. А. Горун, В. И. Гладковский // Актуальные вопросы физики и техники : сб. материалов XII Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Максименко Николая Васильевича, Гомель, 20 апреля 2023 г. / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. – Ч. 1. – С. 172–175.

А. А. Бугримов

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. А. Концевой**, ст. преподаватель

СТОЯЧАЯ ВОЛНА ВОЗМУЩЕНИЯ НА ВЕРШИНЕ ДЕНДРИТА, РАСТУЩЕГО ИЗ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО РАСПЛАВА

Дендритный рост кристалла из переохлажденного расплава чистого вещества наблюдается при достаточно больших переохлаждениях ΔT : например, для никеля при

$\Delta T > 57\text{K}$. В прикладном отношении проблема высокоскоростного затвердевания расплава актуальна в связи с разработкой технологий получения материалов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами [1]. В данной работе изучены некоторые кинетические свойства вершины дендрита и выполнен анализ процессов роста в чистом расплаве никеля.

Уравнение роста дендрита при глубоких переохлаждениях расплава чистого вещества с учетом локально-неравновесных свойств теплопереноса запишем в виде [2, 3]:

$$(L + L_*U_2 + K) \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{N}{\gamma} (L_* + U_2K) - \frac{cN^2}{\gamma\mu} - \frac{3c}{\mu} N \frac{\partial N}{\partial t} + L\gamma \frac{\partial^2 N}{\partial t^2} + 2U_2N \frac{\partial K}{\partial t} + N(q_v + q_{nj}K) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial K}{\partial t} = \frac{\partial^2 N}{\partial y^2}. \quad (2)$$

где $x = F(y, t)$ – двумерная плоская линия роста кристалла;

x, y – прямоугольные декартовы координаты;

ось x направлена вдоль оси симметрии дендрита в сторону твердой фазы;

y – поперечная координата;

t – время; считаем, что фазовая граница движется справа налево, в сторону отрицательных значений x .

Остальные обозначения такие же, как в [2, 3]. Это уравнение имеет точное решение:

$$F_0(y, t) = N_0t + \left(\frac{K_0y^2}{2} \right), \quad (3)$$

$$N_0 < 0, K_0 > 0; N_0, K_0 - \text{const},$$

которое определяет стационарный параболический профиль, перемещающийся с постоянной скоростью. Линеаризация уравнения роста на точном решении (3) имеет своим результатом уравнение, определяющее малое возмущение $f(y, t)$, [11].

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} - \alpha_0 \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) + \alpha_1 \frac{\partial f}{\partial t} + \alpha_2 \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} - \alpha_3 \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = 0, \quad (4)$$

где $\alpha_i = \alpha_i(\Delta T)$ – коэффициенты, зависящие от переохлаждения расплава посредством функций $N_0 = N_0(\Delta T)$, $\mu = \mu(\Delta T)$.

Кривизна K_0 входит в (4) как свободный параметр. Уравнение (4) формально содержит две «скорости звука» $w_1^2 = \alpha_0$, $w_2^2 = \alpha_3 / \alpha_2$, $0 < w_1^2 < w_2^2$, существенно зависящие от ΔT .

Незатухающая стоячая волна возмущения имеет вид:

$$f(y, t) / H = \cos ky \sin mt, \quad t \geq 0, \quad y \in [0, y_1), \quad (5)$$

$$k^2 = \frac{\beta_1 \beta_2}{\beta_3 - \beta_0 \beta_2}, \quad m^2 = \frac{\beta_1 \beta_3}{\beta_3 - \beta_0 \beta_2},$$

$$w_2 = m / k = (\beta_3 / \beta_2)^{1/2}, \quad (6)$$

где $\frac{m}{k}$ – скорость стоячей волны, перемещающейся со скоростью звука w_2 ;

β_i – безразмерные коэффициенты, соответствующие размерным коэффициентам α_i .

Ниже представлены результаты расчетов свойств стоячей волны (5), возбуждаемой на вершине дендрита для никеля. Числовые значения теплофизических параметров никеля соответствуют известным в литературе справочным данным.

На рисунке 1 показаны зависимости скорости волны и периода колебаний во времени от величины переохлаждения никеля. Хорошо видна немонотонная, имеющая максимум зависимость скорости волны (6) от ΔT .

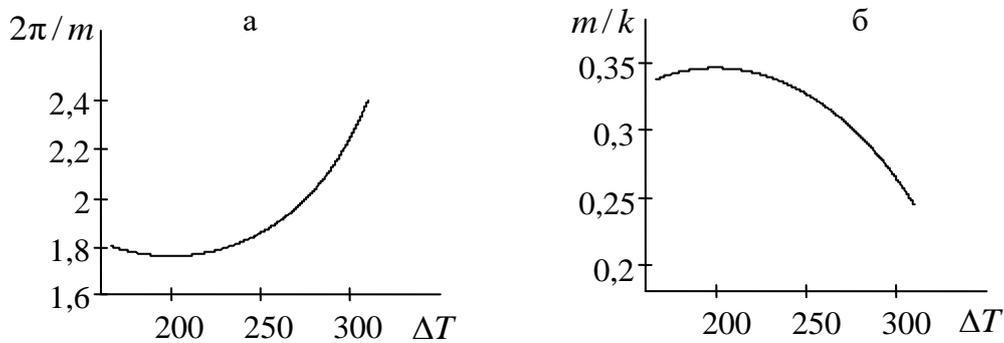


Рисунок 1 – Незатухающая стоячая волна возмущения:
а – период колебаний во времени; б – скорость волны

Стоячая волна, затухающая с течением времени, определяется решением уравнения (4):

$$\frac{f(y, t)}{H = \exp(-rt) \cos ky \sin mt}, \quad (7)$$

$$k^2 = H_1 / H_0, \quad m^2 = H_2 / H_0, \quad H_0 = \beta_3 - \beta_0 \beta_2 + 2\beta_0 r,$$

$$H_1 = 9\beta_2 r^2 + \beta_1 \beta_2 - r(3\beta_1 + 9r^2 + 2\beta_2^2),$$

$$H_2 = \beta_1 \beta_3 + r[r(\beta_0 \beta_2 + 3\beta_3) - 2\beta_0 r^2 - 2\beta_2 \beta_3].$$

Эти выражения имеют физический смысл ($k^2 > 0$, $m^2 > 0$), соответствующий периодическому решению, в малой правой конечной окрестности $r=0$. Для представленной здесь серии расчетов в безразмерных величинах $0 \leq r \leq 0,6$. Для никеля периоды колебаний возмущения по координате y и по времени t монотонно возрастают с увеличением величины переохлаждения и по мере увеличения параметра затухания r , рисунок 2.

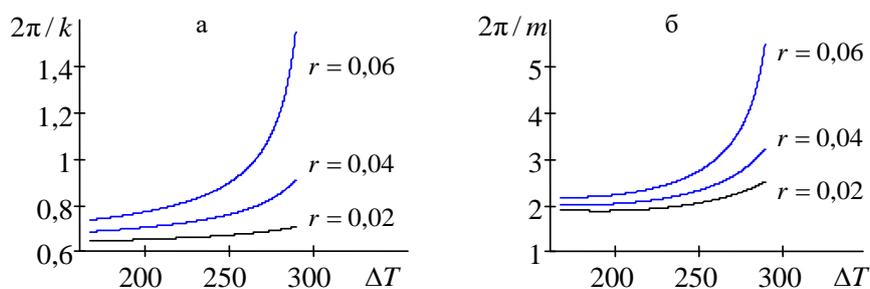


Рисунок 2 – Затухающая стоячая волна возмущения:
а – период колебаний по координате y ; б – период колебаний по времени

Литература

1. Васильев, В. А. Высокоскоростное затвердевание расплава: Теория, технология и материалы / В. А. Васильев, Б. С. Митин, И. Н. Пашков и др.; Под науч. ред. Б. С. Митина. – Москва: СП «Интермет инжиниринг», 1998. – 394 с.
2. Шабловский, О. Н. Кинетика роста вершины дендрита в глубоко переохлажденном расплаве. Часть 1. Уравнение фазовой границы кристаллизации / О. Н. Шабловский // Успехи прикладной физики. – 2013. – Т. 1, № 6. – С. 680–685.
3. Шабловский, О. Н. Кинетика роста вершины дендрита в глубоко переохлажденном расплаве. Часть II. Аналитическая структура возмущений линии роста / О. Н. Шабловский // Успехи прикладной физики. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 12–17.

Е. Д. Головин

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ СТЕРЖНЕВИДНОЙ ЧАСТИЦЫ. ПРИБЛИЖЕНИЕ ВКБ

Введение. Генерация второй гармоники в поверхностных слоях малых centrosymmetric частиц была впервые продемонстрирована более тридцати лет назад. С помощью данного явления в настоящее время проводят изучение нелинейных оптических свойств таких частиц. Также оно используется для исследования физических и химических процессов, происходящих на поверхностях частиц малых размеров, и является уникальным инструментом исследования мембран биологических объектов. Это явление можно описать с помощью нескольких моделей: нелинейная модель Релея – Ганса – Дебая (РГД), нелинейная модель Вентцеля – Крамерса – Бриллюэна (ВКБ) и нелинейная модель на основе точного решения задачи Ми.

Постановка задачи. В данной работе с использованием приближения ВКБ теоретически получим формулу для вычисления напряжённости поля второй гармоники, генерируемого в нелинейном поверхностном слое. Пусть на цилиндрическую диэлектрическую частицу с радиусом основания a и высотой h ($a \ll h$), покрытую нелинейным слоем толщиной d_0 , падает плоская электромагнитная волна с циклической частотой ω и волновым вектором $\mathbf{k}^{(\omega)}$. Отношение показателя преломления частицы к показателю преломления среды на частоте ω обозначим η_ω .

В данной задаче генерацией излучения от торцевых поверхностей частицы можно пренебречь, поэтому будем рассматривать генерацию в слоях на боковой поверхности частицы. Найдём выражение для вектора электрической напряжённости волны, падающей на поверхность частицы, с учётом сдвига фазы.