

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ
И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

В. Л. БОНЧ-БРУЕВИЧ, И. П. ЗВЯГИН,
А. Г. МИРОНОВ

ДОМЕННАЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
НЕУСТОЙЧИВОСТЬ
В ПОЛУПРОВОДНИКАХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1972

531.9

521

УДК 537.311.33

Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках.
В. Л. Бонч-Бруевич, И. П. Звягин, А. Г. Мионов. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1972 г.

Книга посвящена изложению современных представлений о доменной электрической неустойчивости, возникающей при определенных условиях в полупроводниках с горячими электронами. Это явление, открытое и исследованное в последние семь лет, вызывает широкий интерес как в связи с возможными практическими приложениями (генераторы Ганна и т. п.), так и в принципиальном отношении: речь идет здесь о поведении существенно неравновесной макроскопической системы. В книге рассматриваются механизмы, ответственные за возникновение электрических доменов и токовых шнуров, сообщаются необходимые сведения из теории горячих электронов в полупроводниках (в том числе и пространственно неоднородных), подробно излагаются основы теории доменов и шнуров. В частности, изучается флуктуационная и статическая устойчивость полупроводника с горячими электронами, причем даются явные критерии абсолютной и конвективной неустойчивости применительно к рассматриваемой системе. Исследуются статические неоднородные распределения электрического поля («статические домены»); решается задача о стационарном движении доменов и шнуров; вычисляется импеданс образца, содержащего покоящиеся или движущиеся домены или токовые шнуры. Одна глава посвящена физике звуко-электрических доменов, возникающих в условиях усиления звука электронным потоком в полупроводниках — пьезоэлектриках. Дается сравнение теории с опытом.

Книга рассчитана на научных работников и студентов-физиков (теоретиков и экспериментаторов), а также на радиоинженеров, интересующихся полупроводниковой электроникой.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных обозначений	7
Введение	9

Г Л А В А I

ПОЛУПРОВОДНИКИ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

§ 1. Некоторые опытные факты	14
§ 2. Дифференциальная проводимость	18
§ 3. Полупроводники с несколькими экстремумами	24
§ 4. Концентрационная нелинейность	31
§ 5. Перегревные механизмы	38
§ 6. Механизм температурно-электрической неустойчивости	44
§ 7. Флуктуации в пространственно однородной системе с отрицательной дифференциальной проводимостью	49

Г Л А В А II

ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

§ 1. Функция распределения и кинетические коэффициенты	59
§ 2. Кинетическое уравнение	61
§ 3. Уравнения непрерывности	66
§ 4. Плотность тока	72
§ 5. Роль межэлектронных столкновений. Два предельных случая	78
§ 6. Локальные аппроксимации	82
§ 7. Внутреннее поле. Граничные условия	93

Г Л А В А III

ТЕОРИЯ СЛАБОГО СИГНАЛА

§ 1. Электрическая устойчивость цепи	105
§ 2. Малые отклонения от однородности	107
§ 3. Импеданс образца	113
§ 4. Флуктуационная неустойчивость	124

§ 5. Абсолютная и конвективная неустойчивость	130
§ 6. Флуктуационная устойчивость в системе с электронной температурой	138

ГЛАВА IV

СТАТИЧЕСКИЕ ДОМНЫ

§ 1. Введение. Основные уравнения	142
§ 2. Пространственно однородное решение	146
§ 3. Затравочные неоднородности	148
§ 4. Критерий статической устойчивости	151
§ 5*. Биполярный случай	158
§ 6*. Возможность пространственно неоднородных решений. Гистерезис	161
§ 7*. Статические домены в коротких образцах	168
§ 8. Статические домены в длинных образцах	173
§ 9*. Метод «псевдокатода»	188

ГЛАВА V

СТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ДОМЕНОВ

§ 1. Постановка задачи	195
§ 2. Риманово решение	200
§ 3. Дрейфовая нелинейность (качественное исследование). Условия существования периодических решений	206
§ 4. Форма домена. Правило площадей	217
§ 5. Вольтамперная характеристика образца с доменом. Некоторые возможные приложения	226
§ 6*. Нелинейные волны малой амплитуды	234
§ 7. Рекомбинационная нелинейность. Качественное исследование модели с одним типом ловушек	239
§ 8*. Форма рекомбинационного домена	246
§ 9. Влияние прилипания на характеристики рекомбинационных доменов	251

ГЛАВА VI

ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНЫЕ СОСТОЯНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКА С S-ОБРАЗНОЙ
ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

§ 1. Вводные замечания и основные уравнения	256
§ 2*. Дисперсионное уравнение для волн малой амплитуды. Приближение несжимаемого электронного газа	259
§ 3. Токовые слои и шнуры	262
§ 4. Некоторые особенности поведения полупроводников с S-образной вольтамперной характеристикой	267

ГЛАВА VII

**УСТОЙЧИВОСТЬ НЕОДНОРОДНЫХ
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОЛЯ И ЗАРЯДА.
ИМПЕДАНС СИСТЕМЫ С ДОМЕНАМИ**

§ 1.	Введение	271
§ 2.	Малые флуктуации в образце с доменами	273
§ 3.	Устойчивость стационарного движения доменов	283
§ 4*.	Абсолютная и конвективная неустойчивость системы с движущимися доменами	291
§ 5.	Гистерезис, связанный с образованием стационарно движущегося домена. Усиление	296
§ 6*.	Резонансные свойства образца с доменами	299
§ 7*.	Устойчивость стационарно движущихся доменов относительно вариации граничных условий	304
§ 8.	Устойчивость статических доменов	307
§ 9.	Устойчивость токовых слоев и шнуров	314
§ 10.	Режим ограниченного накопления объемного заряда	319

ГЛАВА VIII

ЗВУКОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДОМЕНЫ

§ 1.	Введение. Некоторые экспериментальные данные	327
§ 2.	Возможные механизмы отрицательной дифференциальной проводимости	330
§ 3.	Гидродинамическое приближение	332
§ 4.	Пространственно однородное решение	339
§ 5.	Статическое распределение силы звука в макроскопически однородных образцах	341
§ 6.	Статическая устойчивость пространственно однородного распределения силы звука	343
§ 7.	Стационарное движение звукоэлектрических доменов	345
§ 8.	Нестационарные решения	350

ГЛАВА IX

**НЕКОТОРЫЕ АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ
ДОМЕНОВ**

§ 1.	Нерешенные задачи	354
§ 2.	Нелокальная трактовка задачи о малых флуктуациях вблизи пространственно однородного состояния	356
§ 3.	Доменные и шнуровые распределения различных физических величин	361

ПРИЛОЖЕНИЯ

I. Распространение низкочастотной электромагнитной волны в пространственно однородной среде с отрицательной дифференциальной проводимостью	365
II. Распределение температуры и концентрации в полупроводнике в условиях температурного гашения фотопроводимости	368
III. Формула для плотности тока при произвольном виде изоэнергетических поверхностей	370
IV. Кинетическое уравнение в слабом внешнем поле при наличии тонкого контакта	372
V. Оператор, сопряженный с \mathcal{L}	377
VI. Некоторые сведения из качественной теории дифференциальных уравнений	378
VII. Вычисление инкремента нарастания малых флуктуаций в бесконечно длинном образце с широким доменом	394
Литература	399
Предметный указатель	413