

05.2;06.2;09

©1995

ТОНКИЕ ИОНИЗИРОВАННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПЛЕНКИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ВНЕШНИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ОТРАЖЕНИЯ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ

В.Н. Чупис, А.Ю. Сомов, О.А. Косыгин, Е.М. Семенова

Стационарная ударная ионизация в полупроводниках, как показывают результаты исследований [1-2], позволяет эффективно управлять параметрами СВЧ излучения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах.

В этом направлении значительный интерес представляет исследование взаимодействия электромагнитной волны с пространственно неоднородной плазмой в тонких, толщиной меньше характерной диффузионной длины, полупроводниковых элементах. С одной стороны, это связано с миниатюризацией волноведущих систем и требованием минимальности вносимого ослабления; с другой стороны, в тонких полупроводниковых элементах наблюдается ряд новых явлений, связанных с влиянием поверхности на распределение ионизированных носителей в объеме полупроводника. В таких полупроводниках диффузия высокоэнергетических носителей из области разогрева может оказывать существенное влияние на величины пороговых полей и электродинамические характеристики тонкого элемента [3].

В связи с этим в рамках данной работы проведено исследование особенностей эффекта ударной ионизации в тонких полупроводниках и возможности использования этого явления для управления параметрами электромагнитного поля в волноводных системах в КВЧ диапазоне.

В экспериментах использовались образцы n -InSb ($n = 2.8 \cdot 10^{12}$ см, $E = 5 \cdot 10^5$ см²/(В · с)) в форме прямоугольной пластинки с размерами в плоскости 3.4×2.2 мм и набором толщин 0.20; 0.12; 0.8 и 0.05 мм. Скорость поверхностной рекомбинации приготовленных образцов составляла $\sim 10^4$ см/с. Необходимо отметить, что влияние поверхности сказывается не только в убыли неравновесных носителей за счет поверхностной рекомбинации, но и в ее влиянии на механизм набора носителями энергии ионизации [4].

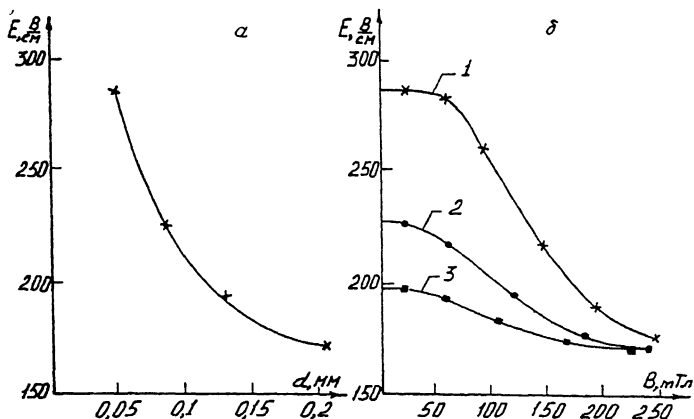


Рис. 1. Зависимости напряженности порогового поля от толщины полупроводникового образца (а); от индукции внешнего магнитного поля для тонких полупроводников (б): 1 — $d = 0.05$ мм; 2 — $d = 0.08$ мм; 3 — $d = 0.12$ мм.

Полупроводниковая пластина на диэлектрической подложке располагалась в стандартном волноводном тракте 8-мм диапазона перпендикулярно к оси волновода. Волноводная секция с полупроводником, находящимся при температуре жидкого азота, помещалась между полюсами магнита. На образец действовали СВЧ импульсы длительностью 0.5 мкс при скважности $4 \cdot 10^3$ с несущей частотой 35.5 ГГц. Изменение проводимости полупроводника в ионизирующем импульсном поле определялось по амплитуде видеоимпульса при протекании через полупроводник малого постоянного тока при заведомо омических контактах. Напряженность порогового поля определялась в точке перегиба графика зависимости $\sigma(E)$ по методике, описанной в [5].

На рис. 1, а приведены графики зависимости напряженности порогового поля от толщины полупроводникового образца. Видно, что с уменьшением толщины при $d < L_D$ (L_D — характерная диффузионная длина) резко возрастает напряженность порогового поля, что связано с диффузией носителей из области разогрева к поверхности и поверхностной рекомбинации. “Включение” внешнего магнитного поля (в геометрии Фарадея $\mathbf{B} \parallel \mathbf{E} \perp \mathbf{K}$, см. рис. 1, б) позволяет компенсировать влияние поверхности на процесс ударной ионизации в тонких полупроводниках. В данном случае при $B > 60$ мТл горячие электроны “закручиваются” вокруг силовых линий магнитного поля, что эквивалентно уменьшению во внешнем магнитном поле L_D (ионизированная плазма “отжимается” от поверхности полупроводниковой пластины).

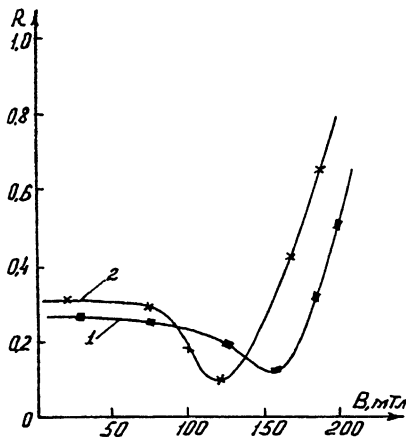


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения СВЧ волны от индукции внешнего магнитного поля для тонких образцов n -InSb: 1 — $d = 0.08$ м; 2 — $d = 0.05$ мм.

Это явление приводит к тому, что при $B \sim 250$ мТл процесс ударной ионизации в полупроводниковых пленках протекает так же, как и в неограниченном (или с $d \gg L_D$) полупроводнике (пороговое поле для образцов n -InSb составляет 150–200 В/см).

Полученный результат указывает на возможность управления внешним магнитным полем коэффициентом прозрачности полупроводниковых пленок в КВЧ диапазоне. На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость модуля коэффициента отражения от индукции магнитного поля в рассмотренной выше геометрии. Из приведенных зависимостей следует, что при $B \geq 120$ мТл наблюдался резкий рост коэффициента отражения, связанный с развитием в тонкой полупроводниковой пластине процесса ударной ионизации.

Новый физический результат в данном случае заключается в том, что постоянное магнитное поле инициирует процесс ударной ионизации в “слабых” (предпороговых) электрических СВЧ полях ($E_n(1) = 190$ В/см, $E_n(2) = 230$ В/см, напряженность поля в полупроводнике $E_{\text{СВЧ}} = 160$ В/см).

Рассмотренные выше особенности эффекта СВЧ ударной ионизации в тонких полупроводниках указывают на возможность использования для управления параметрами электромагнитного поля в коротковолновой части СВЧ диапазона полупроводниковых пленок с управляемым порогом включения.

Список литературы

- [1] Чупис В.Н., Черкасов В.Е., Калашников А.В., Царев В.П. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 21. С. 4-7.
- [2] Чупис В.Н., Косыгин О.А., Дутовников Н.А., Семенова Е.М. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 23. С. 69-73.
- [3] Басс Ф.Г., Гуревич Ю.Г. Горячие электроны и сильные электромагнитные волны в плазме полупроводников и газового разряда. М.: Наука, 1975. 368 с.
- [4] Гаручава Д.И., Карбушев Н.И., Рухадзе А.А. // Радиотехника и электроника. 1980. № 12. С. 2601-2611.
- [5] Кац Л.И., Сомов А.Ю., Чупис В.Н., Сафонов А.А. // Физика и техника полупроводников. 1983. Т. 17. В. 8. С. 1537-1539.

Научно-исследовательский
институт механики и физики
Саратовского государственного
университета им. Н.Г. Чернышевского

Поступило в Редакцию
13 февраля 1995 г.