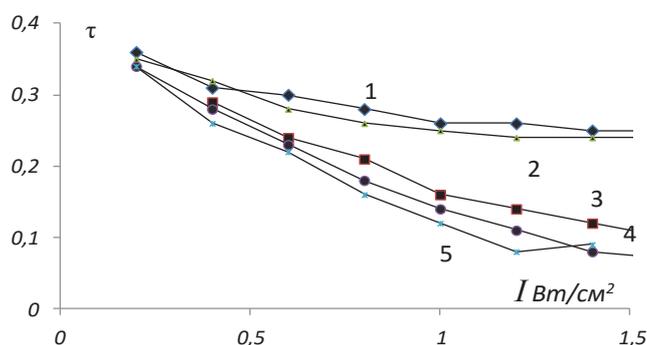


## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ В СВЧ-ОБЛАСТИ

Возможность управления потоками СВЧ-излучения через полупроводниковые пластины с помощью поверхностно-рекомбинационных и плазменно-резонансных эффектов теоретически рассмотрена в работе [1]. Коэффициент пропускания в миллиметровой и субмиллиметровой области сильно зависит от таких факторов, как скорость рекомбинации при воздействии внешней подсветки, соотношения между частотой излучения, плазменной и циклотронной частотами. К процессам, определяющим проводимость поверхности, являются рекомбинация и диффузия. В данной работе исследовалось влияние ориентации внешнего магнитного поля и интенсивности облучения поверхности полупроводника на коэффициент пропускания миллиметровых волн.

В эксперименте применялись образцы n-Si толщиной 60 (напыление на кварцевое стекло) и 450 мкм. В области образцов создавалось постоянное магнитное поле, направление которого совпадало с направлением СВЧ-излучения (продольная геометрия), или было перпендикулярно ему. Для фотовозбуждения образца применялось излучение лазерного диода с длиной волны 0,835 мкм, длительность которого составляла 5 с.

Измерения коэффициента пропускания зондирующего излучения для образцов в продольной геометрии проводились на частотах 75 и 160 ГГц при выключенном магнитном поле и в поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл (рис. 1).



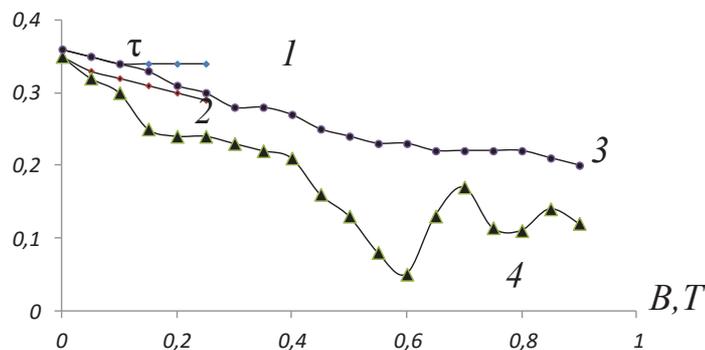
1 – образец  $d = 450$  мкм, 75 ГГц,  $B = 0$ ; 2 – образец  $d = 60$  мкм, 75 ГГц,  $B = 0$ ; 3 –  $d = 60$  мкм, 75 ГГц,  $B = 0,2$  Тл; 4 –  $d = 60$  мкм, 160 ГГц,  $B = 0,2$  Тл; 5 – поперечное поле  $B = 0,2$  Тл,  $d = 60$  мкм, 160 ГГц

**Рисунок 1 – Зависимости коэффициента пропускания образцов от интенсивности облучения**

В продольной геометрии включение магнитного поля приводит к заметному уменьшению пропускания. Для образца с меньшей толщиной наблюдается также снижение пропускания на зондирующей частоте 160 ГГц. Влияния магнитного поля на пропускание образца с большей толщиной не наблюдалось на обеих частотах при интенсивностях фотовозбуждения до 1,5 Вт/см<sup>2</sup>.

Наблюдаемая зависимость пропускания от толщины образца указывает на существенную роль процесса поверхностной рекомбинации на формирование проводимости образца. Наряду с диффузией этот процесс вносит основной вклад в избыточную концентрацию носителей в приповерхностной области. Оценка диффузионной длины для используемого образца дает значение около 50 мкм, сравнимое с его толщиной. Вследствие диффузии в тонком образце вклад в проводимость вносит рекомбинация на обеих его поверхностях. Этот процесс обладает более высокой скоростью по сравнению с рекомбинацией в объеме. В результате вследствие уменьшения избыточной концентрации носителей на поверхности изменяется диэлектрическая проницаемость всего образца и уменьшается пропускание. Влияние рекомбинации, определяющей концентрацию в образце и плазменную частоту, объясняет минимум на кривой 5.

На рис. 2 сопоставлены зависимости коэффициента пропускания образцов от магнитной индукции на разных частотах зондирования в продольной и поперечной геометрии.



1 – продольная геометрия,  $d = 450$  мкм, 75 ГГц; 2 – продольное поле,  $d = 60$  мкм, 160 ГГц; 3 – поперечное поле,  $d = 450$  мкм, 160 ГГц; 4 – поперечное поле,  $d = 60$  мкм, 160 ГГц

**Рисунок 2 – Зависимости коэффициента пропускания образцов от индукции магнитного поля ( $I = 0,5$  Вт/см<sup>2</sup>)**

В поперечном поле для тонкого образца на частоте 160 ГГц наблюдается сложная зависимость от магнитной индукции. Для образца с  $d = 450$  мкм на той же частоте наблюдалась монотонно спада-

ющая зависимость с ростом магнитного поля, как в продольной, так и в поперечной геометрии.

В продольной геометрии резонансная частота определяется сдвигом края плазменного отражения, примерно равным половине циклотронной частоты,  $\omega_c = eB/m$  [2]. Оценки показывают, что резонанс диэлектрической проницаемости в этой геометрии на зондирующей частоте 75 ГГц достигается при индукции около 2 Тл, технически трудно реализуемой в продольном поле. Этим объясняется монотонное снижение пропускания в максимально достижимом поле 0,2 Тл. В поперечном поле (достижимая индукция  $\sim 0,9$  Тл) наблюдаемые минимум и максимум пропускания соответствуют частотам полного и минимального отражения. Частота полного отражения  $\omega^*$  определяется плазменной  $\omega_p$  и циклотронной частотами [2]:  $\omega^* = \omega_p + \omega_c/2$ . Расчет при  $B^* = 0,52$  Тл и  $\omega^* = 160$  ГГц дает значение концентрации электронов  $5 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$ .

Полученные данные показывают, что на прохождение излучения через образец Si может существенно влиять достаточно сильное магнитное поле в области частот  $\sim 150$  ГГц. Наряду с этим, поверхностная рекомбинация также влияет на прозрачность полупроводника, так как приводит к установлению концентрации носителей, соответствующей частоте плазменного резонанса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов В. В., Иванов С. В., Царев В. П., Чупис В. Н. Сверхбыстродействующие фотоприемники на основе эффектов взаимодействия микроволнового электромагнитного излучения с фотовозбужденной плазмой в полупроводниках // Журнал технической физики. 1998. Том 68, № 11. С. 94–99.
2. Зеегер К. Физика полупроводников. М.: Мир. 1977. 615 с.