

06.3;10;12

©1995

ПИКОСЕКУНДНЫЕ InP ФОТОПРИЕМНИКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ГЛУБОКОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

*М.Оччай, Э.У.Рафаилов, А.Г.Дерягин, В.И.Кучинский,
Е.Л.Портной, А.Мужуд, Г.С.Соколовский, Х.Темкин*

Генерация и детектирование коротких оптических импульсов большой мощности представляют большой интерес с точки зрения получения высокоскоростных переключателей и оптически контролируемых микроволновых генераторов. Особенно перспективным представляется изготовление таких приборов на основе полупроводниковой технологии.

В качестве источника оптического излучения предлагается использовать AlGaAs/GaAs лазеры, способные генерировать оптические импульсы, мощность которых составляет несколько ватт, при частоте повторения 10 ГГц [1]. Приемником излучения могут служить металл-полупроводник-металл фоторезистивные детекторы, изготовленные на основе GaAs, выращенного при низкой температуре, которые продемонстрировали высокие значения рабочего напряжения [2] и пикосекундные длительности процесса переключения [3]. Повышение чувствительности таких приборов можно ожидать при их изготовлении на основе фосфида индия, за счет более высокой подвижности носителей заряда [4]. Скорость срабатывания таких фоторезистивных ключей в основном ограничивается временем жизни носителей заряда. В полуизолирующем InP, легированном Fe, время жизни значительно понижается при концентрации легирующей примеси выше $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ [5]. Дальнейшее понижение времени жизни может быть достигнуто протонной бомбардировкой [4], которая вызывает образование точечных дефектов. В то же время имплантация тяжелых ионов вызывает образование треков аморфизированного материала и вследствие этого еще более высокие скорости рекомбинации [6]. В этой статье мы представляем результаты по улучшению разрешающей способности фоторезисторов, изготовленных из объемного полуизолирующего InP с использованием метода имплантации тяжелых ионов N^{+3} .

Фоторезистивные ключи в данной работе имели одну приемную щель, материалом для их изготовления служил полуизолирующий InP, легированный Fe в концентрации

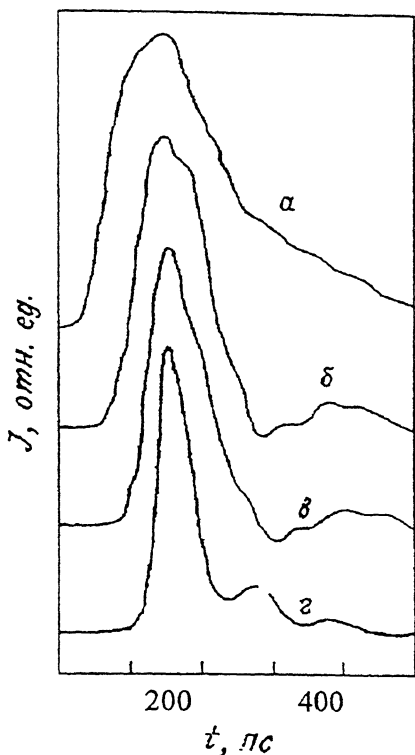


Рис. 1. Фотоответ переключателей с приемной щелью 9 мкм при различных дозах имплантации: а — не имплантирован, б — $7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, в — $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, г — $3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

$4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Поверхность материала подвергалась химической полировке раствором Вг в метаноле, после чего методом электронно-лучевого напыления наносились Au и Au:Ge страйп-контакты. Ширины приемных щелей составляли 20, 9, 6 и 4.5 мкм. Подложки образцов утоньшались до толщины, обеспечивающей получение согласующего сопротивления 50 Ом. Вжигание контактов проводилось при температуре 420°C в течение минуты. Энергия ионов N^{+3} при имплантации составляла 16.8 МэВ при дозах от $1 \cdot 10^{11}$ до $8 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Для измерения фотоответа ключей использовались импульсы AlGaAs/GaAs ($\lambda = 850 \text{ нм}$) лазера, мощность которых составляла 500 мВт [1]. Лазер, имеющий область насыщающегося поглотителя, созданного ионной имплантацией при импульсном токе накачки вблизи порога генерации, испускал одиночный световой импульс, длительность которо-

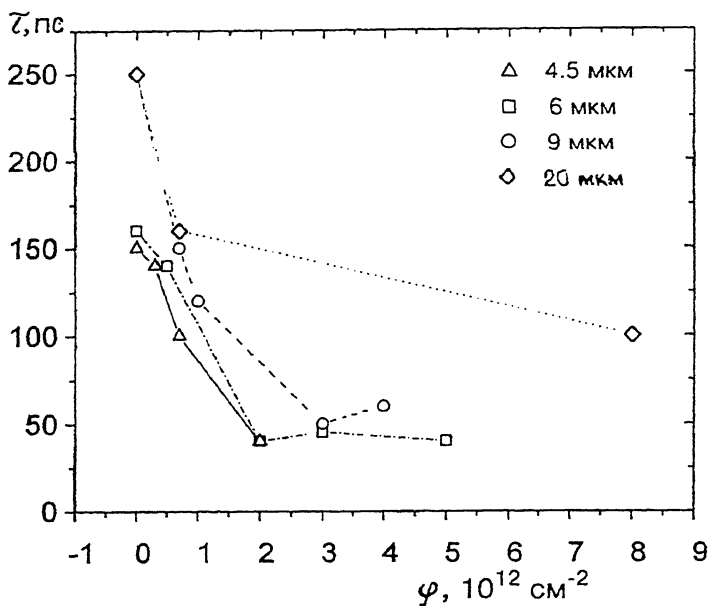


Рис. 2. Полуширина импульса фотосовета (τ) как функция дозы имплантации (φ) для фотосоветников с различной шириной приемной щели.

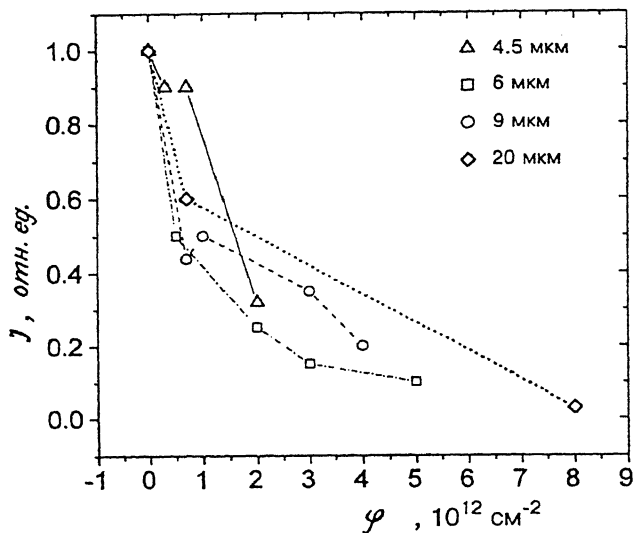


Рис. 3. Зависимость интенсивности фотосовета от дозы имплантации для фотосоветников с различной шириной приемной щели.

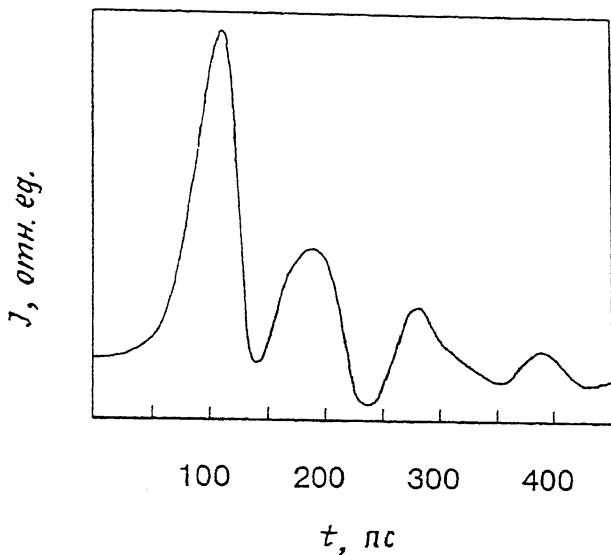


Рис. 4. Фотоответ переключателя с шириной щели 4.5 мкм при дозе имплантации $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ и рабочем напряжении 18 В.

го, определенная на стрик-камере, равнялась 16 пс. Напряжение фотоответа ключей измерялось при помощи стробоскопического осциллографа.

Напряжение пробоя образцов было не менее 40 кВ/см и не обнаруживало заметного уменьшения после имплантации. Темновое сопротивление неимплантированных ключей достигало нескольких сотен МОм, но при дозах имплантации более $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ уменьшалось до типичного значения 400 кОм, что объясняется образованием мелких электронных уровней вблизи границы зоны проводимости [7].

На рис. 1 показан фотоответ неимплантированного фотоприемника и фотоприемников, дозы имплантации для которых составили $7 \cdot 10^{11}$, $1 \cdot 10^{12}$ и $3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Приемная щель этих ключей имела ширину 9 мкм, напряжение смещения составляло 20 В. На рисунке хорошо видно уменьшение "хвоста" импульса фотоответа с увеличением дозы имплантации. При этом также наблюдается улучшение переднего фронта импульса. Уменьшение полуширины импульса для образцов с различными ширинами приемных щелей как функция дозы имплантации показано на рис. 2. Для доз, больших $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, нами не наблюдалось уменьшения полуширины импульса менее 40 пс, что связано, по нашему мнению, с ограниченным временным разрешением стробоскопического осциллографа.

Как показано на рис. 3, для ключей с различной шириной приемной щели с увеличением дозы имплантации наблюдается также падение чувствительности. Это можно объяснить уменьшением времени жизни и подвижности носителей, что, в свою очередь, связано с повышением концентрации центров рассеяния.

Для некоторых образцов с шириной приемной щели 4.5 и 6 мкм при дозах имплантации в диапазоне $2 - 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ были получены полуширины импульсов фотоответа, ограниченные разрешением измерительных приборов. На рис. 4 показан фотоответ ключа с приемной щелью 4.5 мкм при дозе имплантации $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Как видно, импульс фотоответа симметричен. Такие результаты выглядят более предпочтительными в сравнении с полученными недавно на Si, легированном Fe [8]. Осцилляции, наблюдаемые на рис. 4 после основного импульса фотответа, объясняются, по нашему мнению, электрическими отражениями в цепи приемника.

Таким образом, в настоящей работе достигнуто существенное улучшение фотоответа металл-полупроводник-металл фоторезистивных ключей, изготовленных на основе имплантированного ионами N^{+3} фосфида индия, легированного Fe. Минимизация длительности заднего фронта импульса фотоответа позволила уменьшить полуширину импульса до 40 пс. Нами не наблюдалось сколько-нибудь значительного понижения напряжения пробоя имплантированных образцов.

С использованием мощных лазеров, описанных выше, и при должной оптимизации электрической цепи приемника мы предполагаем возможность генерации микроволновых сигналов на частотах до 20 ГГц при амплитуде в несколько вольт.

Проведение настоящего исследования стало возможным частично благодаря гранту № R4U000 Международного научного фонда.

Список литературы

- [1] Portnoi E.L., Stel'makh N.M., Chelnokov A.V. // Sov. Tech. Phys. Lett. 1989. V. 15 (2). P. 44-48.
- [2] Motet T., Nees J., Williamson S., Mourou G. // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 241. 1992. P. 223-226.
- [3] Chen Y., Williamson S., Brock T., Smith F.W., Calawa A.R. Appl. Phys. Lett. 1991. V. 5 (16). P. 1984-1986.
- [4] Foyt A.G., Leonberger F.J., Williamson R.C. // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 40 (6). P. 447-449.
- [5] Hammond R., Paulter N., Wagner R.S., Springer T.E., Mac Roberts M.D.J. // IEEE Trans. Electr. Devices. 1982. V. 30. (4). P. 412-415.

- [6] *Alferov Zh.I., Zhuravlev A.V., Portnoi E.L., Stel'makh N.M.* // *Sov. Tech. Phys. Lett.* 1986. V. 12 (9). P. 452-453.
- [7] *Sze S.M.* *Physics of Semiconductor Devices*, John Wiley and Sons, 1981.
- [8] *Sharma A.K., Scott K.A.M., Brueck S.R.J., Zopler J.C., Myers D.R.* // *Photon. Tech. Lett.* 1994. V. 6 (5). P. 635-636.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург
Кафедра электротехники
Университет Штата Колорадо
США

Поступило в Редакцию
21 сентября 1995 г.
