



Влияние имплантации ионов кислорода

на дислокационную фотолюминесценцию в кремнии



А.Е. Калядин*, К.Ф. Штельмах, Е.И. Шек, Н.А. Соболев
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
e-mail: ios_h_q@mail.ru

Введение

Важным направлением развития кремниевой оптоэлектроники является создание светоизлучающих структур на длину волны ~ 1.5 мкм с электролюминесценцией работающих при комнатной температуре [1]. Одним из способов реализации таких структур являются кремниевые светодиоды (СД) с дислокационной люминесценцией (ДЛ). Хотя ДЛ была открыта в 1976 г. [2], и было предложено множество различных методов ее реализации [3], однако большинство из них плохо совместимы с технологией изготовления интегральных схем. Метод основанный на формировании кислородных преципитатов в процессе многоступенчатых отжига при температурах 650-800°C достаточно часто используется в технологии интегральных схем для геттерирования быстро диффундирующих примесей. В работах [4,5] были представлены светоизлучающие структуры с ДЛ изготовленные подобным методом с применением дополнительного заключительного отжига при 1000°C в потоке аргона, что приводило к образованию кислородных преципитатов и других структурных дефектов в том числе и люминесцентных центров. Мы для увеличения интенсивности ДЛ в своей работе предлагаем дополнительно использовать предварительную имплантацию ионов O^+ а заключительный отжиг проводить в хлорсодержащей атмосфере.

- [1] Near Margalit, Chao Xiang, Steven M. Bowers, Alexis Bjorlin, Robert Blum, John E. Bowers. Appl. Phys. Lett. **118**, 220501 (2021).
[2] Н.А. Дроздов, А.А. Патрин, В.Д. Ткачев. Письма ЖЭТФ, **23**, 651 (1976).
[3] Н.А. Соболев. ФТП, **44**(1), 3 (2010).
[4] S. Pizzini, E. Leonti, S. Binetti, M. Acciarri, A. Le Donne, B. Pichaud. Sol. St. Phenomena, **95-96**, 273 (2004).
[5] K. Bothe, R.J. Falster, J.D. Murphy. Appl. Phys. Lett., **101**, 032107 (2012).

В одну из половин исходной пластины кремния толщиной 480 мкм, р-типа КДБ-12 (100), выращенного методом Чохральского (Cz-Si) с концентрация кислорода $8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ была проведена множественная имплантация O^+ (Импантированный образец). Вторая половина оставалась без изменений (Не импантированный образец). В результате имплантации на глубине 0,3-0,8 мкм обеспечивается однородное распределение кислорода с концентрацией $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, что на два порядка больше исходного значения.

Затем обе половины проходили стандартный многостадийный отжиг для формирования внутреннего геттера и дополнительный отжиг 1000°C хлорсодержащей атмосфере, представляющей собой поток кислорода, насыщенный парами четыреххлористого углерода с молярной концентрацией 1 %.

Отжики:

1000°C/ Ar 15 min	Растворение ростовых преципитатов кислорода (гомогенизация пластины)
650°C/ Ar 7 час	Образование зародышей преципитатов кислорода с заданной плотностью
800°C/ Ar 4 час	Трансформация "рост" преципитатов до больших размеров
1000°C/ ХСА 6 час	Формирование дислокаций и люминесцентных центров

Методика эксперимента

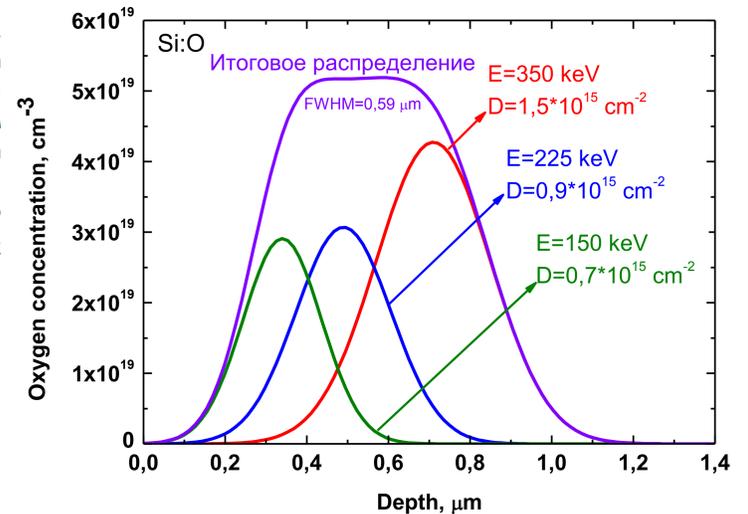


Рис. 1 Итоговое распределение кислорода после множественной имплантации. Расчет для каждой энергии проводился в программе TRIM.

Не импантированный образец

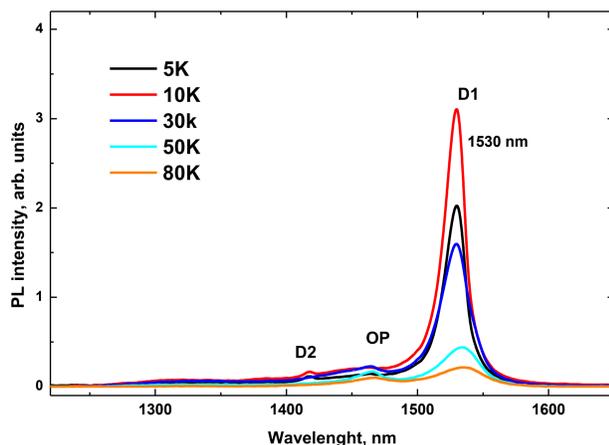


Рис. 2. Спектры ФЛ не импантированного образца после заключительного отжига при 1000°C, измеренные при разных температурах. (Лазер 532 нм, 36 мВ)

Импантированный образец

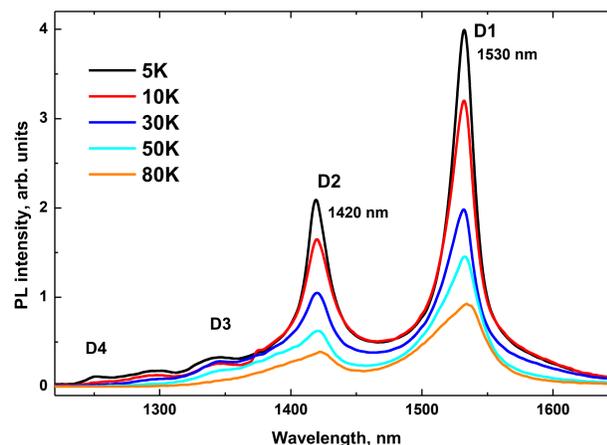


Рис. 3. Спектры ФЛ импантированного образца после заключительного отжига при 1000°C, измеренные при разных температурах. (Лазер 532 нм, 36 мВ)

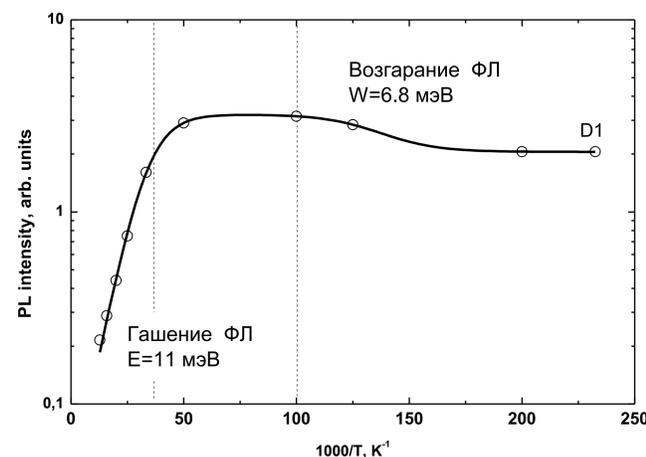


Рис. 4. Температурная зависимость интенсивности ФЛ D1 линии для не импантированного образца после заключительного отжига при 1000°C.

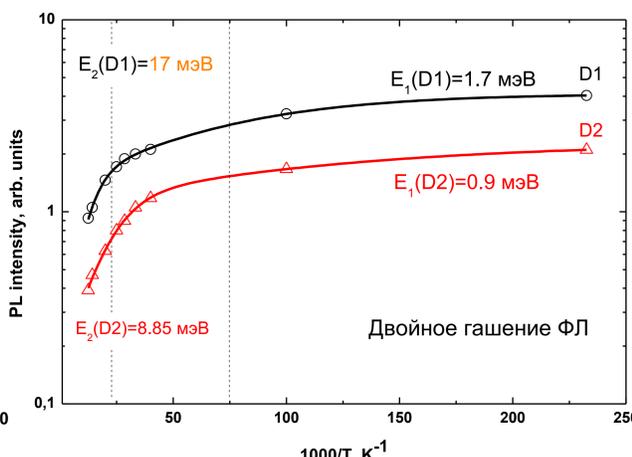


Рис. 5. Температурные зависимости интенсивности ФЛ D1 (1) и D2 (2) линий для импантированного образца после заключительного отжига при

На рисунке 4,5 экспериментальные данные хорошо аппроксимируются формулами [8]:

Возгорание и гашение

$$I = \frac{I(0)}{\left[1 + \frac{C}{1 + B \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)}\right] \cdot \left[1 + D \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)\right]}$$

Двойное гашение

$$I = \frac{I(0)}{1 + B1 \cdot \exp\left(-\frac{E1}{kT}\right) + B2 \cdot \exp\left(-\frac{E2}{kT}\right)}$$

Где:

C — величина, включающая отношение сечений захвата экситона на люминесцентные центры и ловушки,
 B и D — константы связи для данного центра,
 $B2$ и $B3$ — константы связи для данного центра,
 k — постоянная Больцмана

[8] G. Davies. Phys. Reports, **176**, 83 (1989).

Заключение

- Использование ХСА вместо аргона на стадии заключительного отжига не импантированного образца при 1000°C приводит к формированию D1 линии ДЛ, при этом наблюдается увеличение интенсивности ее ФЛ с ростом температуры измерения.
- Дополнительная имплантация кислорода повышает концентрацию кислорода в пластине на 2 порядка и позволяет увеличить интенсивность D1 линии в два раза по сравнению с не импантированным образцом при гелиевой температуре.
- Получены аналитические зависимости гашения и возгорания интенсивностей ФЛ D1 и D2 линий от температуры не импантированного и импантированного образцов.
- Совокупность имплантации и заключительного 1000°C отжига в ХСА увеличивает энергию гашения с 11 мэВ (не импантированный образец) до 17 мэВ (импантированный образец).

Таким образом, данные технологические приемы позволили нам увеличить интенсивность D1 линии и изготовить светоизлучающие диоды с дислокационной люминесценции в кремнии работающие при комнатной температуре. [Физика и техника полупроводников, 2022, том 56, вып. 9]