

スピントロニクスから宇宙創生論まで
—スピンの揃った高性能電子源の開発に成功—

名古屋大学工学研究科 竹田美和、名古屋大学理学研究科 中西 彊、大阪電気通信大学 越川孝範

名古屋大学は大阪電気通信大学、大同工業大学、大阪府立大学、大同特殊鋼との共同研究でスピンの向きが揃った世界で最も明るい電子源の開発に成功しました。従来値を4桁越える超高輝度です。

スピンの揃った明るい電子源はありますが、スピントロニクスの材料開発用電子顕微鏡 (SPEEM) や、宇宙の創生・新素粒子の発見に計画されている人類最大の加速器 (ILC) には、スピンの揃い、明るく、パルス応答のできる電子源がなくてはなりません。

歪み超格子構造の電子源

スピンの揃った電子を発生させるには、半導体の超格子構造 (江崎先生の発明) を歪ませ、特殊なバンド構造を持たせます。そこに有る電子の内、スピンの向きが揃った電子のみをレーザー光で選択して取り出しますが、その際半導体の表面のエネルギーを下げて電子を飛び出しやすくさせます。

このような構造を持った半導体の超格子構造は、半導体の結晶成長を熟知したグループでなければ作製不可能で、2000年には**世界最高記録**を樹立し (図1。参考文献1)、5年間トップの座を空け渡しませんでした。(参考文献2)

我々は、更に明るい電子源を目指して研究を続けてきました。

GaAs/GaAsP歪み超格子構造

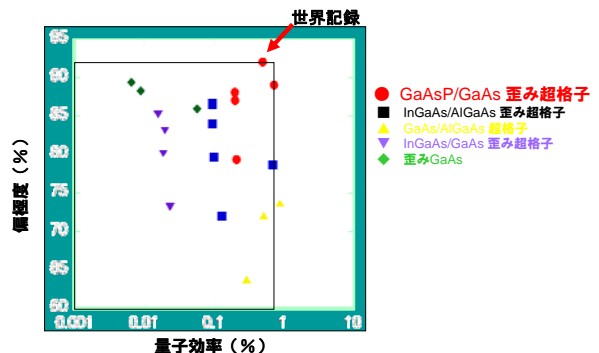


図1 歪み超格子構造をもつ半導体から取り出されるスピンの揃い方の度合い (偏極度) と量子効率。2000年に偏極度92%、量子効率0.5%の世界記録を達成 (名古屋大学)。2005年までこの座を空け渡さず。

高輝度 (小さい点から広がらずに出ること)

レーザー光が半導体に当たった点から電子が飛び出すため、レーザー光を小さく絞り、同時に電子が広がらないように平行な光を当てる必要があります。

従来は、電子が飛び出す面とレーザー光が当たる面が同じであったため、レンズの位置が遠く、レーザー光を絞ることが不可能でした (図2)。

レンズを近づけるためには、裏面からレーザー光を当てればよいのですが、そのためにはレーザー光に対して透明な半導体を

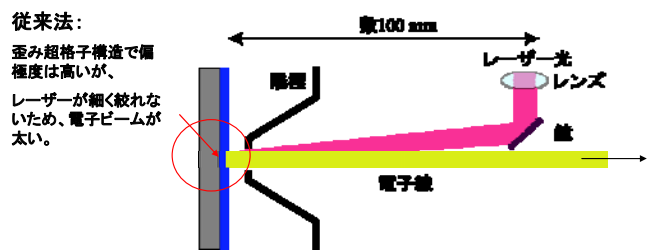


図2 従来法。偏極度は高いが輝度は $10^3 \sim 10^4$ [$\text{Acm}^{-2}\text{sr}^{-1}$] 程度。

下地結晶に用いる必要があり、その選択と結晶成長の工夫が必要で、ここでも結晶成長を熟知したグループの寄与が重大です。

GaP を下地結晶に選び、適切な「中間層」を挟む事で、高品質の歪み超格子構造の成長に成功しました。レーザー光を GaP 側から照射し、細く絞り、歪み超格子構造の位置では平行光となるようにします。これにより細く広がり少ない電子線を発生できました。その結果、高偏極度 (90%) と超高輝度 (10^7 [Acm⁻²sr⁻¹]) を達成。従来法の 1,000 から 10,000 倍です。(参考文献 3, 4)

何に使える？

① スピン偏極電子顕微鏡：

スピントロニクス、高集積度磁気記憶素子の開発では、磁区構造を高いコントラスト・実時間で観察可能な「高性能スピン偏極電子顕微鏡 (SPLEEM)」が待ち望まれています。

現在の 25% 程度の偏極度が 90% になることで電子顕微鏡像の取得時間が 3~4 倍速くなります。電子線の径が現在 500 μm 程度から 1~2 μm

となることで明るく損失のない光学系が可能で、この効果は 1,000 倍以上、合わせて数千倍の効果があります。そのため像取得が現在 3~30 秒/枚かかるところを 0.0001 秒/枚が可能となります。スピントロニクス材料の作製過程や磁区構造の動作を実時間で観察可能となります。大阪電気通信大学の SPLEEM の電子源を本研究で開発したものに置き換え、実証試験に取りかかる予定です。

② 宇宙創生論：

宇宙の創生・新素粒子の発見に計画されている人類最大の加速器 (ILC : 500GeV から 1TeV の高エネルギー電子陽電子線型コライダー加速器) の電子源にはスピン偏極電子源が必要不可欠です。高い効率で大電流の発生が今後求められて来ます。我が国は、名古屋大学と高エネルギー加速器研究機構がこの原子源の開発責任があり、ここでの成果は、この分野でも世界にアピールできる成果です。

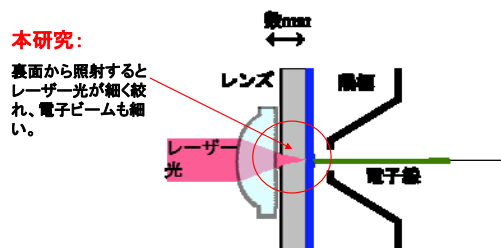


図3 レーザー光が細く絞れ、電子ビームも細い。また、レーザー光が平行になる部分と歪み超格子構造の位置を合わせることができると、電子線は細く平行である。

「GaAs/GaAsP歪み超格子構造電子源による超高輝度・高スピン偏極度の実現」

応用物理学会 3月27日ZN会場午後2番目の講演 (27p-ZN-2) にて発表

参考文献

- 1) T. Nakanishi 他, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A, Vol. 455, p. 109 (2000).
- 2) A.V. Subashiev 他, Applied Physics Letters, Vol. 86, Art. #171911 (2005).
- 3) N. Yamamoto, T. Nakanishi, Y. Takeda 他, Journal of Applied Physics, Vol. 102, Art. #024904 (2007).
- 4) X.-J. Jin, Y. Takeda, T. Nakanishi, T. Koshikawa, Applied Physics Express (出版予定) (2008).

問い合わせ先：名古屋大学工学研究科 竹田美和 (よしかず)、

電話：052-789-3363、FAX：052-789-3239、電子メール：takeda@numse.nagoya-u.ac.jp